

# MOBILIDADE DO SULFENTRAZONE EM NITOSSOLO VERMELHO E EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO<sup>1</sup>

*Mobility of Sulfentrazone in Red Nitosol and Quartzarenic Neosol*

ROSSI, C.V.S.<sup>2</sup>, ALVES, P.L.C.A.<sup>3</sup> e MARQUES JÚNIOR, J.<sup>4</sup>

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi determinar a mobilidade do herbicida sulfentrazone em duas classes de solos (Nitossolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico), em função de índices pluviométricos crescentes, sendo, portanto, influenciado pelas propriedades químicas e físicas dos solos com diferentes teores de ferro. Em tubos de PVC de 10 cm de diâmetro por 50 cm de comprimento, preenchidos com os solos e saturados com água a 65% (p/p), foi aplicado o sulfentrazone (800 g há). Na seqüência, foram simuladas chuvas diárias de 10 mm até atingir os índices pluviométricos de 30, 60 e 90 mm. Os tubos de PVC foram então desmontados – semeando-se *Sorghum bicolor* nas profundidades correspondentes de 2,5; 7,5; 12,5; 17,5; 22,5; e 30,0 cm da superfície do tubo – e mantidos em casa de vegetação por 15 dias, para avaliação da germinação e do crescimento inicial das plântulas. No final do experimento foram avaliadas as alterações morfofisiológicas que caracterizavam os efeitos tóxicos do produto, além de se medir o comprimento da parte aérea até a última lígula visível e a fitomassa seca das plantas. Quando sob precipitação de 90 mm no Neossolo Quartzarênico, o sulfentrazone formou uma banda de arraste de até 12,5 cm e, no Nitossolo Vermelho, até os 7,5 cm.

**Palavras-chave:** chuva, herbicida, lixiviação, óxido de ferro.

ABSTRACT - The objective of this work was to determine the mobility of sulfentrazone in two soil classes (Red Nitosol and Quartzarenic Neosol), as a function of increasing rainfall indices, being the herbicide was influenced by the chemical and physical properties of the soils with different iron contents. Sulfentrazone (800 g ha<sup>-1</sup>) was applied on 10 cm diameter x 50 cm long PVC tubes, filled with the soils and saturated with water at 65% (w/w). Subsequently, 10 mm rainfall events were simulated daily until 30, 60 and 90 mm rainfall indices were reached. The PVC tubes were then disassembled and ***Sorghum bicolor*** seeds were sowed on soil at depths of 2.5; 7.5; 12.5; 17.5; 22.5 and 30.0 cm from the tube surface and maintained in a greenhouse for 15 days for germination and initial growth evaluation. In the end of the experiment the morphophysiological changes, which characterized the toxic effects of the product, were evaluated. The length of the shoot, up to the last visible ligule and the plant dry biomass were also measured. When submitted to a 90 mm rainfall in the Quartzarenic Neosol, sulfentrazone formed a band that percolated down to 12,5 cm and in the Red Nitosol, down to 7,5 cm.

**Key words:** rain, herbicide, leaching, iron oxide.

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 6.9.2002 e na forma revisada em 2.4.2003.

Parte do trabalho de graduação apresentado à FCAV/UNESP - Jaboticabal, para graduação em Agronomia do primeiro autor.

<sup>2</sup> Pós-Graduando em Proteção de Plantas. FCAV/UNESP – Botucatu. Faz. Experimental Lageado, s/n. Dep. de Produção Vegetal, Defesa Fitossanitária. 18603-970 Jaboticabal-SP, <cavragro@msn.com>, Tel.: (14) 6802 7105; <sup>3</sup> Professor Doutor. Dep. de Biologia Aplicada à Agropecuária, FCAV/UNESP – Jaboticabal.; <sup>4</sup> Professor Doutor. Dep. de Solos e Adubos, FCAV/UNESP – Jaboticabal.



## INTRODUÇÃO

O herbicida pode sofrer adsorção, lixiviação e/ou degradação por processos físicos, químicos e biológicos, além de ser absorvido pelas plantas daninhas e/ou cultivadas quando aplicado ao solo, sendo esses fatores dependentes do tipo de solo e das condições climáticas. Conhecer esses aspectos é importante para previsão do comportamento do herbicida nas classes de solo e para seleção de dosagens adequadas e, ainda, evitar efeitos prejudiciais dos herbicidas sobre o ambiente e as culturas subsequentes (Brady, 1974; Velini, 1992; Resende et al., 1995).

Os atributos do solo que mais influenciam o movimento descendente dos herbicidas são: conteúdo e tipo de matéria orgânica, composição e distribuição do tamanho das partículas do solo, pH, densidade do solo, tamanho e distribuição dos poros. Para os herbicidas de elevada capacidade adsorptiva, o conteúdo de matéria orgânica é geralmente um fator importante, pois, quanto mais alto, menor a lixiviação (Sprankle et al., 1975; Mandhun et al., 1986; Senesi et al., 1994; Rodrigues et al., 2000).

Os teores de argila não contribuem significativamente para o processo de adsorção de herbicidas ácidos pelos solos, porém a caulinita e os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio contribuem para a adsorção, uma vez que a carga superficial destes minerais de argila é dependente do pH, e a adsorção é resultado da lixiviação iônica entre os minerais e o ânion de herbicida em níveis relativamente baixos de pH (Green, 1974; Loux et al., 1989).

A lixiviação apresenta dois aspectos importantes: é fundamental para a incorporação superficial da maioria dos herbicidas, atingindo sementes ou plantas em germinação, mas, quando excessiva, pode carregá-los para camadas do solo mais profundas, limitando sua ação e podendo, inclusive, promover contaminação do lençol freático (Velini, 1992).

Os Nitossolos Vermelhos da região de Ribeirão Preto são originários de rochas máficas, notadamente dos basaltos, as quais influem na coloração vermelho-escuro destes solos, nas reservas de bases e micronutrientes, com alto teor de argila e reconhecidas pelos

elevados teores de  $Fe_2O_3$ . Elevados teores de magnetita revelam, quando secos, forte atração pelo ímã, sendo utilizados para diferenciá-lo, no campo, de solos de coloração semelhante, como o Latossolo Vermelho. A fração argila é basicamente constituída de caulinita, gibsitita, goethita e hematita.

O Neossolo Quartzarênico é um solo com seqüência de horizonte A-C, sem contato lítico dentro de 50 cm de profundidade, apresentando-se com textura areia ou areia franca nos horizontes até, no mínimo, a profundidade de 150 cm a partir da superfície do solo. São essencialmente quartzosos, com 95% ou mais de quartzo nas frações areia grossa e fina (EMBRAPA, 1999). Tem caráter distrófico, com valor máximo de saturação por bases de 63%, relatado em áreas de cana-de-açúcar. Para a retenção de cátions não se observam valores abaixo de 15 mmol  $kg^{-1}g$  de TFSA (Oliveira & Prado, 1987).

As áreas de reflorestamento da região de Ribeirão Preto, em grande parte, são de Neossolo Quartzarênico, e o sulfentrazone é usado no controle de plantas invasoras.

O sulfentrazone (N - [2,4-dicloro-5-[4-(difluorometil)-4,5-diidro-3 metil -5-oxo-1H-1,2,4-triazol-1-il] metanosulfonamida), do grupo químico aril triazolinonas, é um herbicida desenvolvido para aplicação preferencialmente em pré-emergência, controlando plantas daninhas infestantes, mono e dicotiledôneas, das culturas da cana-de-açúcar e soja, e em pátios industriais (Rodrigues & Almeida, 1998). Segundo esses autores, o sulfentrazone apresenta solubilidade em água de 490 ppm e pressão de vapor de  $1 \times 10^{-9}$  mm Hg a 25 °C. No solo, a mobilidade é moderada, com baixa adsorção com Koc desconhecido, pKa de 6,6, sendo a decomposição microbiana a principal via de degradação e sua meia-vida de 180 dias (FMC, 1997).

Dessa forma, o conhecimento da relação sulfentrazone - solo é muito importante. Portanto, o trabalho teve o objetivo de observar a percolação do sulfentrazone em função de índices pluviométricos, bem como possíveis influências das propriedades químicas e físicas de solos de duas classes com diferente teor de ferro sobre o sulfentrazone.

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em casa de vegetação na FCAV/UNESP-Jaboticabal/SP. Como substrato foram utilizados solos coletados na camada arável (0-30 cm) de um Nitossolo Vermelho (NV) textura média, solo da Usina São Martinho, do município de Pradópolis-SP, e um Neossolo Quartzarênico (RQ) textura arenosa, situado no município de São Simão-SP; ambos foram coletados em área cujo histórico não constava aplicação de herbicida.

Após a coleta, os solos secaram à sombra por um período de 48 horas, quando foram peneirados, sendo retiradas amostras para serem submetidas às análises química (Tabela 1) e granulométrica.

A análise granulométrica da terra fina foi realizada pelo método da pipeta, utilizando-se NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> como dispersante químico e agitação de baixa rotação (EMBRAPA, 1979). O pH foi determinado potenciometricamente, com relação 1:2,5 de solo:CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>. O Ca, Mg e K trocáveis, bem como o P disponível, foram extraídos pelo método da resina trocadora de íons (Rajj & Quaggio, 1983), e a matéria orgânica, com o método da EMBRAPA (1979).

A determinação da densidade e da capacidade de saturação dos solos foi feita pelo método gravimétrico (EMBRAPA, 1979), para o preenchimento uniforme dos tubos de PVC (recipientes) com os materiais de solos.

Como recipientes foram utilizados 36 tubos de PVC de 10 cm de diâmetro por 50 cm de comprimento. Estes tubos foram seccionados longitudinalmente, sendo as metades fixadas com fita adesiva, reconstituindo o original. As bases dos tubos foram fechadas por meio de uma tela do tipo mosquiteiro.

Após a montagem dos tubos preenchidos com os solos e umedecidos até 65% da capacidade de saturação (EMBRAPA, 1979), realizou-se a aplicação do sulfentrazone (800 g ha<sup>-1</sup>) na área exposta dos solos nos tubos de PVC. As condições climáticas durante a aplicação foram: temperatura do ar de 26,0 °C e do solo de 31,0 °C (RQ) e 30,9 °C (NV), umidade relativa de 70%, com ausência de vento e 60% de nuvens no céu. As aplicações do produto foram feitas com pulverizador costal mantido a pressão constante (ar comprimido), munido de barra com quatro bicos XR 11002 e regulado para uma vazão de 200 L ha<sup>-1</sup>.

Foram simuladas chuvas diárias de 10 mm e, à medida que se atingia o índice pluviométrico desejado (30, 60 ou 90 mm), eram desmontados seis tubos de cada solo, separando-se as partes e deitando-os onde foram postas para germinar cinco sementes de sorgo (*Sorghum bicolor*) a 2,5; 7,5; 12,5; 17,5; 22,5; e 30,0 cm da superfície na qual se aplicou o produto ou não. O ensaio de germinação e crescimento inicial foi conduzido por 15 dias.

O delineamento experimental utilizado para cada classe de solo foi em blocos casualizados, com seis tratamentos constituindo as parcelas e a interação entre os fatores principais (três índices pluviométricos com ou sem herbicida) e as seis profundidades de semeadura as subparcelas, em três repetições para cada classe de solo. Cada parcela experimental constou de um tubo de 50 cm, composto por duas metades.

Aos 15 dias após a semeadura, foi realizada uma avaliação visual de possíveis alterações morfofisiológicas nas plântulas de sorgo que pudessem ser caracterizadas como efeitos tóxicos do produto. Esta avaliação foi baseada

Tabela 1 - Resultados da análise\* química dos solos utilizados. Jaboticabal-SP, 1999/2000

| Solo | pH<br>(CaCl <sub>2</sub> ) | M.O.<br>(g dm <sup>-3</sup> ) | P res.<br>(g dm <sup>-3</sup> ) | mmolc dm <sup>-3</sup> |    |    |      |     |      | V<br>(%) | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>(%) |
|------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------------------|----|----|------|-----|------|----------|---------------------------------------|
|      |                            |                               |                                 | K                      | Ca | Mg | H+AL | SB  | T    |          |                                       |
| NV   | 5,4                        | 21                            | 35                              | 9                      | 54 | 18 | 38   | 81  | 119  | 68       | 21,90                                 |
| RQ   | 4,3                        | 6                             | 5                               | 0,5                    | 7  | 1  | 28   | 8,5 | 36,5 | 23       | 1,10                                  |

\* Realizada pelo Departamento de Solos e Adubos - FCAV/UNESP - Jaboticabal.



em critérios qualitativos, segundo a escala de notas da EWRC (1964), e foi feita para cada linha de semeadura, que representou uma profundidade. Na seqüência, realizou-se medição do comprimento da parte aérea das plântulas, as quais foram cortadas e postas para secar em estufa com circulação forçada de ar (70 °C por 96 horas), para obtenção da biomassa seca. A partir do número de plântulas medidas, pôde-se atribuir a porcentagem de sobrevivência para cada linha de semeadura.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados de biomassa seca e altura do sorgo não sofreram transformação; os dados de porcentagem obtidos foram transformados para  $\text{arc sen } \sqrt{(x+1)/100}$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na escala da EWRC (1964), foram atribuídas notas de intoxicação nas plântulas para cada linha de semeadura. Nas testemunhas referentes às classes de solo, a intoxicação nas plântulas de sorgo foi nula, ou seja, a nota foi 1 para todas.

### Nitossolo Vermelho (NV)

Com a simulação da chuva de 30 mm, o sulfentrazone provocou sintomas quase fortes (nota 6, Tabela 2) nas plântulas encontradas a 2,5 cm superficiais, causando o encarquilhamento e amarelecimento das folhas. Já nos 7,5 cm de profundidade a fitotoxicidade foi muito leve (nota 2), sendo nula (nota 1) nas demais profundidades.

Na simulação da chuva de 60 mm, o sulfentrazone provocou sintomas quase fortes (nota 6) nas plântulas que emergiram a 2,5 cm superficiais e leve (nota 3) a 7,5 cm de profundidade, as quais apresentaram encarquilhamento e amarelecimento das folhas e diminuição da altura. Nas plântulas que se encontravam nas demais profundidades a intoxicação foi nula (nota 1).

Com a precipitação simulada de 90 mm, o sulfentrazone provocou injúrias muito severas nas plântulas de sorgo, com sintoma muito forte (nota 8) aos 2,5 cm superficiais e médio

nos 7,5 cm de profundidade, provocando o encarquilhamento e amarelecimento das folhas, com diminuição da altura. Nas plântulas das demais profundidades a intoxicação foi nula (nota 1).

Com os resultados visuais de toxicidade do sulfentrazone das plântulas nas profundidades, observou-se que, à medida que o índice pluviométrico aumentava, a profundidade era a mesma, porém parecia que o sulfentrazone se disponibilizava mais, ocorrendo sintomas mais severos.

**Tabela 2** - Notas de toxicidade do sulfentrazone nas plântulas de sorgo, para as classes de solo submetidas a índices pluviométricos crescentes (segundo a escala de notas da EWRC, 1964). Jaboticabal-SP, 1999/2000 (média de três repetições)

| Profundidade (cm) | Classe de solo/precipitação |    |    |    |    |    |
|-------------------|-----------------------------|----|----|----|----|----|
|                   | RQ                          |    |    | NV |    |    |
|                   | 30                          | 60 | 90 | 30 | 60 | 90 |
| 0-2,5             | 8                           | 9  | 9  | 6  | 6  | 8  |
| 2,5-7,5           | 7                           | 8  | 9  | 2  | 3  | 5  |
| 7,5-12,5          | 5                           | 8  | 9  | 1  | 1  | 1  |
| 12,5-17,5         | 4                           | 6  | 7  | 1  | 1  | 1  |
| 17,5-22,5         | 3                           | 4  | 5  | 1  | 1  | 1  |
| 22,5-30,0         | 1                           | 3  | 3  | 1  | 1  | 1  |

Obs.: Nas testemunhas referentes às classes de solo, a intoxicação nas plântulas de sorgo foi nula, ou seja, a nota foi 1 para todas.

O efeito do sulfentrazone, nas diferentes precipitações, sobre a altura das plantas de sorgo não diferiu significativamente daquele da testemunha, mas diferiu a 1% de probabilidade pelo teste F para a sobrevivência e a biomassa do sorgo, sem apresentar tendência consistente. Quando o efeito da profundidade é isolado, pode-se observar que as plantas oriundas da semeadura até 7,5 cm de profundidade mostraram-se menores e com menor biomassa que as das demais profundidades, enquanto para a sobrevivência esse efeito se limitou aos 2,5 cm superficiais (Tabela 3).

Nesta classe de solo foi verificado efeito significativo da interação entre os fatores principais sobre as três características analisadas.

**Tabela 3** - Efeito do sulfentrazone no Nitossolo Vermelho (NV), em diferentes precipitações, sobre a altura (cm), sobrevivência (%) e biomassa (g) do sorgo nas profundidades (média de três repetições). Jaboticabal-SP, 1999/2000

| Herbicida x Precipitação (HP) |                      |                      |                   |              |
|-------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------|--------------|
| Tratamento                    | Precipitação (mm)    | Altura (cm)          | Sobrevivência (%) | Biomassa (g) |
| Sulfentrazone                 | 30                   | 4,97 A <sup>1/</sup> | 77,90 A           | 0,0456 A     |
|                               | 60                   | 4,72 A               | 68,54 AB          | 0,0402 AB    |
|                               | 90                   | 4,36 A               | 54,05 B           | 0,0324 B     |
| Testemunha                    | 30                   | 4,35 A               | 77,39 A           | 0,0392 AB    |
|                               | 60                   | 5,33 A               | 70,28 AB          | 0,0465 A     |
|                               | 90                   | 4,55 A               | 69,64 AB          | 0,0358 AB    |
|                               | Profundidade (cm)    | Profundidade (P)     |                   |              |
|                               | 2,5                  | 2,10 C               | 52,22 B           | 0,0167 C     |
|                               | 7,5                  | 4,49 B               | 70,77 A           | 0,0369 B     |
|                               | 12,5                 | 5,22 A               | 69,09 A           | 0,0449 A     |
|                               | 17,5                 | 5,40 A               | 76,05 A           | 0,0471 A     |
|                               | 22,5                 | 5,48 A               | 75,22 A           | 0,0457 A     |
|                               | 30,0                 | 5,48 A               | 74,45 A           | 0,0486 A     |
|                               | F <sub>HP</sub>      | 1,89 NS              | 5,96 **           | 6,04 **      |
|                               | F <sub>P</sub>       | 176,24 **            | 11,63 **          | 124,17 **    |
|                               | HP x P               | 7,06 **              | 3,30 **           | 4,18 **      |
|                               | CV <sub>HP</sub> (%) | 25,05                | 21,56             | 23,57        |
|                               | CV <sub>P</sub> (%)  | 8,72                 | 15,99             | 11,54        |

<sup>1/</sup> Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\*\* e \*: Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. NS: Não-significativo pelo teste F.

Pode-se observar, na Tabela 4, que as plantas de sorgo oriundas da semeadura aos 2,5 e 7,5 cm de profundidade no solo tratado com sulfentrazone apresentaram-se menores que as das demais, nos três índices pluviométricos. Na testemunha, esse efeito foi observado

nas plantas correspondentes a 2,5 cm, também nos três índices pluviométricos. Quando se analisou o efeito da profundidade de semeadura, verificou-se apenas efeito aos 2,5 cm de profundidade, em que as plantas do solo com sulfentrazone e submetido à precipitação de 90 mm eram menores que as das demais precipitações. Esse resultado deve-se, provavelmente, a uma possível liberação (dessorção) do produto na camada superficial do solo, pela saturação deste. Nas demais profundidades não foi constatado efeito significativo da precipitação no solo tratado com sulfentrazone ou não.

Com relação à sobrevivência das plantas de sorgo, verificou-se que essa foi menor apenas no solo tratado com sulfentrazone e exposto a precipitações de 60 e 90 mm, novamente aumentando a possível liberação do produto em resposta à umidade do substrato (Tabela 5).

Quanto à biomassa seca das plantas de sorgo (Tabela 6), verificou-se, assim como ocorreu com a altura, que as plantas que se encontravam a 2,5 cm de profundidade no solo tratado com sulfentrazone e submetido a 90 mm de precipitação apresentaram menor biomassa que as das outras precipitações, incluindo as da testemunha. Esse efeito também foi observado nas plantas nos 30 cm, porém não diferindo das testemunhas. Dentro de cada precipitação, verificou-se que as plantas oriundas da semeadura aos 2,5 cm acumularam menos biomassa seca que as das demais profundidades, tanto no solo tratado com sulfentrazone como no não tratado.

**Tabela 4** - Altura das plantas de sorgo (cm), no Nitossolo Vermelho (NV), obtida no desdobramento da interação entre as profundidades e os tratamentos com e sem aplicação do sulfentrazone sob diferentes precipitações (média de três repetições)

| Profundidade (cm) | Sulfentrazone         |          |          | Testemunha |          |          |
|-------------------|-----------------------|----------|----------|------------|----------|----------|
|                   | 30                    | 60       | 90       | 30         | 60       | 90       |
| 2,5               | 1,79 Cb <sup>1/</sup> | 1,63 Cb  | 0,00 Cc  | 2,80 Bab   | 4,13 Ca  | 2,87 Bab |
| 7,5               | 4,66 Ba               | 4,45 Ba  | 4,41 Ba  | 4,30 Aa    | 4,87 BCa | 4,27 Aa  |
| 12,5              | 5,58 ABa              | 5,20 ABa | 5,47 Aa  | 4,63 Aa    | 5,41 ABa | 5,00 Aa  |
| 17,5              | 5,86 Aa               | 5,55 Aa  | 5,66 Aa  | 4,77 Aa    | 5,56 ABa | 5,03 Aa  |
| 22,5              | 5,84 Aa               | 5,75 Aa  | 5,53 Aa  | 4,79 Aa    | 5,83 ABa | 5,14 Aa  |
| 30,0              | 6,07 Aa               | 5,72 Aa  | 5,10 ABa | 4,83 Aa    | 6,21 Aa  | 4,97 Aa  |

<sup>1/</sup> Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Prof. (cm): diferentes profundidades. Letras maiúsculas, na coluna, comparam os efeitos das diferentes profundidades. Letras minúsculas, na linha, comparam os efeitos das precipitações sem e com aplicação do sulfentrazone.



**Tabela 5** - Sobrevivência das plantas de sorgo (%), no Nitossolo Vermelho (NV), obtida no desdobramento da interação entre as profundidades e os tratamentos com e sem aplicação do sulfentrazone em diferentes precipitações (média de três repetições)

| Profundidade (cm) | Sulfentrazone          |          |          | Testemunha |          |          |
|-------------------|------------------------|----------|----------|------------|----------|----------|
|                   | 30                     | 60       | 90       | 30         | 60       | 90       |
| 2,5               | 72,55 Aa <sup>1/</sup> | 29,01 Bb | 5,74 Bb  | 68,51 Aa   | 72,77 Aa | 64,71 Aa |
| 7,5               | 72,55 Aa               | 81,39 Aa | 62,69 Aa | 75,57 Aa   | 65,48 Aa | 66,96 Aa |
| 12,5              | 78,36 Aa               | 61,91 Aa | 61,91 Aa | 81,39 Aa   | 66,26 Aa | 64,71 Aa |
| 17,5              | 75,57 Aa               | 84,18 Aa | 59,89 Aa | 84,18 Aa   | 73,32 Aa | 79,14 Aa |
| 22,5              | 90,00 Aa               | 84,18 Aa | 66,58 Aa | 73,32 Aa   | 64,71 Aa | 72,55 Aa |
| 30,0              | 78,36 Aa               | 70,53 Aa | 67,50 Aa | 81,39 Aa   | 79,14 Aa | 69,75 Aa |

<sup>1/</sup> Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Prof. (cm): diferentes profundidades. Letras maiúsculas, na coluna, comparam os efeitos das diferentes profundidades. Letras minúsculas, na linha, comparam os efeitos das precipitações sem e com aplicação do sulfentrazone.

**Tabela 6** - Biomassa das plantas de sorgo (g), no Nitossolo Vermelho (NV), obtida no desdobramento da interação entre as profundidades e os tratamentos com e sem aplicação do sulfentrazone em diferentes precipitações (média de três repetições)

| Profundidade (cm) | Sulfentrazone           |             |           | Testemunha |            |           |
|-------------------|-------------------------|-------------|-----------|------------|------------|-----------|
|                   | 30                      | 60          | 90        | 30         | 60         | 90        |
| 2,5               | 0,0157 Ca <sup>1/</sup> | 0,0160 Ca   | 0,0000 Bb | 0,0263 Ba  | 0,0257 Ca  | 0,0163 Ba |
| 7,5               | 0,0403 Ba               | 0,0380 Ba   | 0,0343 Aa | 0,0387 Aa  | 0,0347 Ca  | 0,0353 Aa |
| 12,5              | 0,0517 Aa               | 0,0447 ABa  | 0,0430 Aa | 0,0390 Aa  | 0,0487 Ba  | 0,0423 Aa |
| 17,5              | 0,0577 Aa               | 0,0493 Aab  | 0,0417 Ab | 0,0427 Ab  | 0,0497 Bab | 0,0417 Ab |
| 22,5              | 0,0510 ABa              | 0,0453 ABa  | 0,0410 Aa | 0,0423 Aa  | 0,0540 Ba  | 0,0403 Aa |
| 30,0              | 0,0573 Aab              | 0,0480 ABbc | 0,0347 Ac | 0,0460 Abc | 0,0663 Aa  | 0,0390 Ac |

<sup>1/</sup> Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Prof. (cm): diferentes profundidades. Letras maiúsculas, na coluna, comparam os efeitos das diferentes profundidades. Letras minúsculas, na linha, comparam os efeitos das precipitações sem e com aplicação do sulfentrazone.

### Neossolo Quartzarênico (RQ)

Para a chuva simulada de 30 mm sobre esse substrato, observou-se que o sulfentrazone provocou injúrias severas, resultando em sintomas muito forte (nota 8, Tabela 2) e forte (nota 7) nas plântulas de sorgo provenientes de sementes que foram postas para germinar a 2,5 e 7,5 cm, respectivamente, as quais apresentaram necrose e encarquilhamento das folhas, com algumas amarelecidas ou totalmente mortas. Já aos 12,5 e 17,5 cm de profundidade a intoxicação foi média (nota 5) e regular (nota 4), respectivamente, com pouco amarelecimento das folhas, além de redução na altura das plântulas. Dos 17,5 aos 30,0 cm de profundidade a intoxicação das plântulas foi de leve (nota 3) a nula (nota 1).

Com a precipitação simulada de 60 mm, o sulfentrazone proporcionou sintomas muito severos de intoxicação, com destruição total (nota 9) das plântulas nos 2,5 cm superficiais. Dos 7,5 aos 12,5 cm de profundidade os sintomas nas plântulas foram muito fortes (nota 8), com amarelecimento e encarquilhamento das folhas. Aos 17,5 cm de profundidade o sintoma foi quase forte, ocorrendo diminuição na intoxicação dos 22,5 aos 30 cm, que foi de regular a muito leve, respectivamente, mas com plântulas apresentando diminuição da altura.

Na precipitação de 90 mm, o sulfentrazone proporcionou destruição total (nota 9) das plântulas de sorgo que se encontravam dos 2,5 aos 12,5 cm de profundidade. Nos 17,5 cm de profundidade os sintomas de intoxicação foram

fortes (nota 7), com amarelecimento e encarquilhamento das folhas, e aos 22,5 e 30 cm de profundidade a intoxicação foi média (nota 5) e leve (nota 3), respectivamente, ocorrendo diminuição da altura das plantas e pouco amarelecimento das folhas.

Com base nesses resultados visuais de intoxicação do sulfentrazone das plântulas de sorgo nas diferentes profundidades, observou-se uma tendência de arraste e acúmulo desse herbicida no perfil do solo, de acordo com os índices pluviométricos.

A aplicação do sulfentrazone no Neossolo Quartzarênico resultou em plantas de sorgo menores e com menor biomassa seca que as da testemunha, principalmente quando esta foi submetida a uma precipitação de 60 ou 90 mm, independentemente da profundidade de semeadura. Por outro lado, observou-se que a sobrevivência das plantas no solo tratado com sulfentrazone e submetido às precipitações de 60 e 90 mm foi menor que a das testemunhas, enquanto o de 30 mm não diferiu destas. Com relação à profundidade, independentemente se o solo foi tratado ou não com sulfentrazone e do índice pluviométrico simulado, verificou-se que a sobrevivência, a altura e a biomassa seca das plantas de sorgo foram menores até 12,5 cm quando comparados com as demais profundidades, sendo mais intensos aos 2,5 cm (Tabela 7).

Nesta classe de solo foi constatado efeito significativo da interação dos fatores principais sobre as três características estudadas.

**Tabela 7** - Efeito do sulfentrazone no Neossolo Quartzarênico (RQ), em diferentes precipitações, sobre a altura (cm), sobrevivência (%) e biomassa (g) do sorgo nas profundidades (média de três repetições). Jaboticabal-SP, 1999/2000

| Herbicida x Precipitação (HP) |                      |                      |                   |              |
|-------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------|--------------|
| Tratamento                    | Precipitação (mm)    | Altura (cm)          | Sobrevivência (%) | Biomassa (g) |
| Sulfentrazone                 | 30                   | 1,28 B <sup>1/</sup> | 57,68 AB          | 0,0161 B     |
|                               | 60                   | 1,25 B               | 45,99 BC          | 0,0112 C     |
|                               | 90                   | 0,88 C               | 39,70 C           | 0,0084 C     |
| Testemunha                    | 30                   | 1,58 B               | 70,76 A           | 0,0194 AB    |
|                               | 60                   | 1,95 A               | 68,20 A           | 0,0227 A     |
|                               | 90                   | 2,19 A               | 67,78 A           | 0,0196 AB    |
|                               | Profundidade (cm)    | Profundidade (P)     |                   |              |
|                               | 2,5                  | 0,90 D               | 37,76 C           | 0,0087 C     |
|                               | 7,5                  | 1,22 C               | 48,50 B           | 0,0125 B     |
|                               | 12,5                 | 1,59 B               | 52,50 B           | 0,0156 B     |
|                               | 17,5                 | 1,83 A               | 68,81 A           | 0,0198 A     |
|                               | 22,5                 | 1,84 A               | 73,35 A           | 0,0202 A     |
|                               | 30,0                 | 1,75 AB              | 69,20 A           | 0,0207 A     |
|                               | F <sub>HP</sub>      | 43,74 **             | 15,22 **          | 57,04 **     |
|                               | F <sub>P</sub>       | 70,36 **             | 31,13 **          | 39,43 **     |
|                               | HP x P               | 23,31 **             | 11,90 **          | 8,83 **      |
|                               | CV <sub>HP</sub> (%) | 20,51                | 24,17             | 18,98        |
|                               | CV <sub>P</sub> (%)  | 12,81                | 18,50             | 20,29        |

<sup>1/</sup> Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\* e \*: Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. NS: Não-significativo pelo teste F.

Com o aumento do índice pluviométrico, houve redução gradual na altura das plantas do solo tratado com sulfentrazone; com 90 mm de precipitação nenhuma planta de sorgo resistiu até 12,5 cm de profundidade (Tabela 8). Com 60 mm, esse efeito foi observado até os

**Tabela 8** - Altura das plantas de sorgo (cm), no Neossolo Quartzarênico (RQ), obtida no desdobramento da interação entre as profundidades e os tratamentos com e sem aplicação do sulfentrazone sob diferentes precipitações (média de três repetições)

| Profundidade (cm) | Sulfentrazone         |           |           | Testemunha |          |         |
|-------------------|-----------------------|-----------|-----------|------------|----------|---------|
|                   | 30                    | 60        | 90        | 30         | 60       | 90      |
| 2,5               | 0,00 Cc <sup>1/</sup> | 0,00 Bc   | 0,00 Bc   | 1,49 Ab    | 1,87 Aab | 2,02 Aa |
| 7,5               | 1,14 Bc               | 0,00 Bd   | 0,00 Bd   | 1,76 Ab    | 1,99 Aab | 2,38 Aa |
| 12,5              | 1,79 Aab              | 1,80 Aab  | 0,00 Bc   | 1,66 Ab    | 2,03 Aab | 2,28 Aa |
| 17,5              | 1,73 Aab              | 1,92 Aab  | 1,55 Ab   | 1,68 Aab   | 2,00 Aab | 2,13 Aa |
| 22,5              | 1,58 ABb              | 1,98 Aab  | 1,88 Aab  | 1,53 Ab    | 1,93 Aab | 2,16 Aa |
| 30,0              | 1,43 ABbc             | 1,80 Aabc | 1,83 Aabc | 1,36 Ac    | 1,90 Aab | 2,15 Aa |

<sup>1/</sup> Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Prof. (cm): diferentes profundidades. Letras maiúsculas, na coluna, comparam os efeitos das diferentes profundidades. Letras minúsculas, na linha, comparam os efeitos das precipitações sem e com aplicação do sulfentrazone.



7,5 cm, e com 30 mm, somente nos 2,5 cm superficiais. No que se refere à profundidade, observou-se que até os 7,5 cm de profundidade as plantas de sorgo, em todas as precipitações, mostraram-se menores que as respectivas testemunhas. Com 90 mm, esse efeito se estendeu até os 7,5 cm.

A sobrevivência das plantas de sorgo no solo tratado com sulfentrazone diminui com o aumento da profundidade, conforme se aumentou o índice pluviométrico, ou seja, houve arraste do produto (Tabela 9). Sob precipitação de 30 mm esse efeito se manifestou até 7,5 cm, e sob 60 e 90 mm, até 12,5 cm. Em cada profundidade, verificou-se que até 7,5 cm todas as precipitações simuladas resultaram em menor sobrevivência das plantas de sorgo, quando comparadas às respectivas testemunhas. Aos 12,5 cm esse efeito só foi significativo quando sob precipitação de 60 e 90 mm. A partir desta profundidade não mais se constatou

efeito da precipitação sobre a sobrevivência das plantas.

Para a biomassa seca das plantas de sorgo, o efeito observado foi semelhante ao relatado para altura e sobrevivência (Tabela 10). O Neossolo Quartzarênico tratado com sulfentrazone e exposto à precipitação de 30 mm resultou, até 7,5 cm de profundidade, em plantas com menor biomassa que as das demais profundidades. Com 60 e 90 mm, esse efeito se estendeu até 12,5 cm. Dentro de cada profundidade, verificou-se que até os 7,5 cm todas as precipitações simuladas resultaram em menor biomassa seca das plantas no solo tratado, quando comparadas às respectivas testemunhas. Aos 12,5 cm de profundidade esse efeito se manifestou com as precipitações de 60 e 90 mm. Nas demais profundidades não se constatou efeito das precipitações, à exceção dos 30 cm, porém sem que os dados se mostrassem consistentes.

**Tabela 9** - Sobrevivência das plantas de sorgo (%), no Neossolo Quartzarênico (RQ), obtida no desdobramento da interação entre as profundidades e os tratamentos com e sem aplicação do sulfentrazone sob diferentes precipitações (média de três repetições)

| Profundidade (cm) | Sulfentrazone         |          |          | Testemunha |           |           |
|-------------------|-----------------------|----------|----------|------------|-----------|-----------|
|                   | 30                    | 60       | 90       | 30         | 60        | 90        |
| 2,5               | 5,74 Cb <sup>1/</sup> | 5,74 Cb  | 5,74 Bb  | 78,37 Aa   | 64,71 Aa  | 66,26 Aa  |
| 7,5               | 47,61 Bb              | 5,74 Cc  | 5,74 Bc  | 84,18 Aa   | 78,36 Aa  | 69,38 Aab |
| 12,5              | 79,14 Aa              | 40,79 Bb | 5,74 Bc  | 62,69 Aab  | 66,96 Aab | 59,67 Aab |
| 17,5              | 70,53 ABa             | 72,55 Aa | 58,42 Aa | 67,50 Aa   | 72,55 Aa  | 71,30 Aa  |
| 22,5              | 78,36 Aa              | 75,57 Aa | 84,18 Aa | 67,50 Aa   | 66,96 Aa  | 67,50 Aa  |
| 30,0              | 64,71 ABa             | 75,57 Aa | 78,36 Aa | 64,33 Aa   | 59,67 Aa  | 72,55 Aa  |

<sup>1/</sup> Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Prof. (cm): diferentes profundidades. Letras maiúsculas, na coluna, comparam os efeitos das diferentes profundidades. Letras minúsculas, na linha, comparam os efeitos das precipitações sem e com aplicação do sulfentrazone.

**Tabela 10** - Biomassa de plantas de sorgo (g), no Neossolo Quartzarênico (RQ), obtida no desdobramento da interação entre as profundidades e os tratamentos com e sem aplicação do sulfentrazone sob diferentes precipitações (média de três repetições)

| Profundidade (cm) | Sulfentrazone           |            |           | Testemunha |             |             |
|-------------------|-------------------------|------------|-----------|------------|-------------|-------------|
|                   | 30                      | 60         | 90        | 30         | 60          | 90          |
| 2,5               | 0,0000 Cb <sup>1/</sup> | 0,0000 Cb  | 0,0000 Bb | 0,0180 Aa  | 0,0197 Ba   | 0,0147 Ba   |
| 7,5               | 0,0107 Bb               | 0,0000 Cc  | 0,0000 Bc | 0,0233 Aa  | 0,0203 Ba   | 0,0207 ABa  |
| 12,5              | 0,0250 Aa               | 0,0080 Bc  | 0,0000 Bd | 0,0170 Ab  | 0,0240 ABab | 0,0193 ABab |
| 17,5              | 0,0213 Aa               | 0,0187 Aab | 0,0130 Ab | 0,0197 Aab | 0,0237 ABa  | 0,0227 Aa   |
| 22,5              | 0,0210 Aa               | 0,0220 Aa  | 0,0200 Aa | 0,0213 Aa  | 0,0203 Ba   | 0,0163 ABa  |
| 30,0              | 0,0183 ABb              | 0,0187 Ab  | 0,0173 Ab | 0,0173 Ab  | 0,0283 Aa   | 0,0240 Aab  |

<sup>1/</sup> Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Prof. (cm): diferentes profundidades. Letras maiúsculas, na coluna, comparam os efeitos das diferentes profundidades. Letras minúsculas, na linha, comparam os efeitos das precipitações sem e com aplicação do sulfentrazone.

Algumas propriedades dos solos, como pH, teor de argila, ferro total, matéria orgânica e cristalinidade dos óxidos de ferro, podem influenciar as perdas por lixiviação, reduzindo a eficiência dos herbicidas (Upchurch, 1966). Paula Neto (1999), estudando a influência de atributos de diferentes classes de solos (LVA, LV, LVdf e NV) na eficiência do sulfentrazone no controle da tiririca (*Cyperus rotundus*), observou que esta eficiência diminuiu com o aumento no teor de óxidos de ferro e os teores de argila e de matéria orgânica não afetaram a eficiência do produto, sendo o LVdf e o NV os solos mais limitantes ao uso desse herbicida.

Neste trabalho, um dos fatores que influenciaram a ação do herbicida foi a saturação do solo, visto que, quanto maior foi o índice pluviométrico, maior foi a intensidade de injúria nas plantas, principalmente quando se comparou o efeito de 90 mm de precipitação com os de 30 e 60 mm. Alves et al. (1999) verificaram que em um LV o sulfentrazone proporcionou excelente controle da tiririca independentemente da umidade, enquanto em um NV o herbicida somente controlou a planta daninha quando a umidade do substrato era ou foi elevada para 90% (p/p).

Com o aumento da saturação do solo, houve aumento na percolação do produto no perfil do solo somente no RQ, no qual se observou atividade do herbicida ao longo do perfil. No NV ocorreu o contrário: houve adsorção do produto nas camadas superficiais do solo, mas com pouco efeito sobre as plantas; com a precipitação de 90 mm, observou-se que ocorreu liberação do produto.

Oppong & Sagar (1992), analisando o movimento do triasulfuron em um perfil de solo, através de bioensaio, observaram que o conteúdo de matéria orgânica no solo e a quantidade e frequência de chuva têm relação inversa, os quais influenciaram diretamente a lixiviação do produto. Pool & Du-Toit (1995), estudando a lixiviação dos herbicidas imazamethabenzetil e chlorsulfuron + metsulfuron metil em estufa em oito diferentes tipos de solos, observaram que os herbicidas lixiviaram somente 60 mm em um solo de baixo pH e mais de 240 mm em um solo de alto pH.

O solo NV, que tinha pH de 5,4 e teor de óxido de ferro de 21,9%, apresentou ação do herbicida concentrada na camada superficial

do solo, provavelmente em decorrência dos elevados teores do óxido. No RQ, que tinha pH de 4,3 e 1,10% de óxido de ferro, a ação superficial do herbicida foi mais intensa, porém com percolação acentuada, praticamente até a última profundidade estudada.

Paes et al. (1999) observaram a mobilidade do dimethenamid aplicado em solos e sob precipitação simulada de chuva de 45 e 90 mm: no solo arenoso ele foi fortemente arrastado; no de textura areia-franca, com 45 mm de chuva, permaneceu aos 10 a 15 cm de profundidade; com 90 mm, permaneceu dos 20 a 30 cm; já no argiloso e no franco-argilo-arenoso o comportamento foi similar, permanecendo nos 5 cm superficiais.

Oliveira et al. (1999) constataram, aplicando flumioxazin e metribuzin em um solo Podzólico Vermelho-Amarelo câmbico (PVC) e um Latossolo Vermelho-Amarelo textura média (LVm), com simulação de chuva de 45 e 90 mm, que o flumioxazin no PVC não ultrapassou 5 cm superficiais; já o LVm atingiu 10 cm superficiais, e o metribuzin mostrou maior mobilidade em ambos os solos e condições, aos 20 cm no PVC úmido e 45 cm no LVm seco.

## CONCLUSÕES

A mobilidade do sulfentrazone tem comportamento diferenciado entre as classes de solos estudados, sendo pouco móvel no NV e móvel no RQ.

A atividade do sulfentrazone aumenta com o teor de umidade do solo. Uma precipitação de 90 mm ativa o produto, mesmo nos solos em que é baixa a mobilidade desse herbicida.

## LITERATURA CITADA

ALVES, P. L. C. A. et al. Efeitos do teor de umidade do solo sobre a eficiência do herbicida sulfentrazone no controle da tiririca (*Cyperus rotundus* L.). In: CONGRESSO ALAM, 14., CONGRESSO ANUAL COMALFI, 29., 1999, Cartagena. **Resúmenes...** Cartagena: 1999. p. 74.

BRADY, N. C. **The nature and properties of soils**. 8.ed. New York: Macmillan, 1974. 639 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de solo**. Rio de Janeiro: 1979. 412 p.



EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: 1999. não paginado.

EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL – EWRC. Cite of methods in Weed Research. **Weed Res.**, v. 4, p. 88, 1964.

FMC do Brasil Ltda. **Manual de produtos**. Campinas, 1997. p. 77.

GREEN, R. E. Pesticide-clay-water interactions. In: GUELZI, W. D. (Ed.) **Pesticides in soil and water**. Madison: SSSA, 1974. p. 3-37.

LOUX, M. M.; LIEBL, R. A.; SLIFE, F. W. Adsorption of imazaquin and imazethapyr on soils, sediments, and selected adsorbents. **Weed Sci.**, v. 37, p. 712-718, 1989.

MANDHUN, Y. A.; YOUNG, J. L.; FREED, V. H. Binding of herbicides by water-soluble organic materials from soil. **J. Environ. Quality**, v. 15, n. 1, p. 64-68, 1986.

OLIVEIRA, J. B.; PRADO, H. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo**: quadrícula de Ribeirão Preto. Campinas: Instituto Agrônomo, 1987. 133 p. (Boletim Científico, 7).

OLIVEIRA, M. F. et al. Lixiviação de flumioxazin e metribuzin em dois solos em condições de laboratório. **Planta Daninha**, v. 17, n. 2, p. 207-215, 1999.

OPPONG, F. K.; SAGAR, G. R. The activity and mobility of triasulfuron in soil as influenced by organic matter, duration, amount and frequency of rain. **Weed Res.**, v. 32, n. 3, p. 157-165, 1992.

PAES, J. M. V. et al. Mobilidade do dimethenamid em diferentes solos. **Planta Daninha**, v. 17, n. 1, p. 31-39, 1999.

PAULA NETO, J. F. **Influência de atributos de solos na eficiência do sulfentrazone no controle de tiririca (*Cyperus rotundus* L.)**. 1999. 80 f. Monografia (Trabalho de graduação em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1999.

POOL, C. F.; DU-TOIT, D. Leaching depth of imazamethabenz methyl and chlorsulfuron + metsulfuron methyl in different soils. **Applied Plant Sci.**, v. 9, n. 2, p. 43-47, 1995.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. (Boletim Técnico, 81).

RESENDE, M. et al. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. Viçosa: NEPUT, 1995. p. 304.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 4.ed. Londrina: Edição dos Autores, 1998. p. 518-521.

RODRIGUES, B. N. et al. Comportamento de herbicidas pré-emergentes aplicados sobre cobertura morta em plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22., 2000, Foz do Iguaçu. **Resumos...** Foz do Iguaçu: 2000. p. 380.

SENESI, N.; BRUNETTI, G.; LA CAVA, P. Adsorption of alachlor by humic acids from sewage and amended and non-amended soils. **Soil Sci.**, v. 157, n. 3, p. 176-184, 1994.

SPRANKLE, P.; MEGGITT, W. F.; PENNER, D. Adsorption, mobility, and microbial degradation of glyphosate in the soil. **Weed Sci.**, v. 23, n. 3, p. 229-234, 1975.

UPCHURCH, R. P. Behavior of herbicides in soil. **Res. Rev.**, v. 16, p. 45-85, 1966.

VELINI, E. D. Comportamento de herbicidas no solo. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE MANEJO DE PLANTAS DANINHAS EM HORTALIÇAS, 1992, Botucatu. **Resumos...** Botucatu: 1992. p. 44-64.