

Comportamento ambiental do glifosato

MORAES, P.V.D.^{1*}; ROSSI, P²

^{1*}Eng^o. Agr^o. DSc. Pós-doutorando da University of Kentucky/Lexington/KY/USA. e-mail: pvdmoaes@gmail.com.

²Zootecnista DSc. Pós-doutoranda da University of Kentucky/Lexington/KY/USA.

RESUMO

O desenvolvimento da agricultura tem aumentado a necessidade do uso de herbicidas. Entretanto, algumas mudanças, tais como o advento de plantas transgênicas, têm favorecido o uso do herbicida glifosato, assim como aspectos relacionados à toxicologia, ecotoxicologia, facilidade de manuseio, eficácia de controle e principalmente a relação custo benefício. Esta revisão tem por objetivo descrever brevemente o comportamento do herbicida glifosato quando presente no ambiente, levando em consideração sua presença no ar, água, solo e aos organismos a ele associado. A atividade tanto do glifosato, quanto dos seus metabólitos podem afetar diretamente ou indiretamente organismos do solo e água. Porém, adjuvantes ou surfactantes podem ter efeito mais danoso do que o próprio glifosato. Embora o uso do herbicida glifosato tenha crescido muito nos últimos anos, estudos mais detalhados deste herbicida em diferentes condições ambientais são importantes para um uso correto, diminuindo assim, possíveis danos ambientais que este produto possa causar quando usado de forma indiscriminada.

Palavras-chave: glyphosate, resíduo, ambiente, água, solo.

ABSTRACT

The development of agriculture has increased the need for herbicides. However, some changes have favored the use of glyphosate, such as the advent of transgenic crops and aspects related to toxicology, ecotoxicology, ease of handling, effectiveness of control and, especially, the cost-benefit. This review aims to briefly describe the behavior of glyphosate when present in the environment. The activity of both glyphosate and its metabolites may directly or indirectly affect soil organisms and water. Although the use of glyphosate has increased in recent years, more detailed studies of this herbicide under different environmental conditions are important for correct use, minimizing possible environmental damage in case of indiscriminate use of this product.

Keywords: glyphosate, residue, environment, water, soil.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento acelerado da agricultura tem aumentado a necessidade do uso de herbicidas. Na última década, os herbicidas formulados a base de glifosato têm ganhado expressão e importância, em virtude do crescimento na área semeada com culturas geneticamente modificadas. Além disso, por ser tratar de um herbicida sistêmico e de amplo espectro de ação, podendo ser aplicado em baixos volumes de calda comparado à herbicidas convencionais (RODRIGUES & ALMEIDA, 2005).

A ampla utilização do glifosato em várias culturas tem-se mostrado vantajosa em relação a vários métodos de controle de plantas daninhas. Aspectos relacionados à

toxicologia, ecotoxicologia, facilidade de manuseio, eficácia de controle, ganhos de produtividade, entre outros, tornaram esse herbicida, líder mundial de vendas (HARTZLER, 2006).

O glifosato é a molécula herbicida de maior participação no mercado mundial, com mais de 150 marcas comerciais sendo comercializado em mais de 119 países, com registro para mais de uma centena de culturas (HARTZLER, 2006; TONI et al., 2006). No entanto, todas elas apresentam o mesmo mecanismo de ação, inibindo a enzima enol-piruvil-shiquimato-fosfato-sintase (EPSPs), independente dos sais utilizados na formulação do produto. No Brasil, esse herbicida é formulado com diferentes sais, como o sal potássico, sal de isopropilamina e o sal de amônio (RODRIGUES & ALMEIDA, 2005).

O glifosato é um importante herbicida por apresentar grande capacidade de translocação na planta (SHANER, 2009) e efetivo controle, rápida inativação no solo, baixa toxicidade a animais e a quem manipula o produto (FRANZ et al., 1997; AMARANTE JÚNIOR et al., 2002).

Quando o glifosato é aplicado, parte do produto é diretamente absorvida, ficando nas plantas daninhas, e parte é encaminhado para o solo. Quando presente nos tecidos vegetais, contribui para reduzir sua disponibilidade no ambiente. Quando no solo, é biodegradado por organismos heterotróficos (ANDRÉA et al., 2004).

A sorção de herbicidas no solo é um processo importante, uma vez que determina quanto do herbicida ficará retido no solo e quanto estará disponível na solução do solo (KRAEMER et al., 2009). Para estes autores, esta proporção vem afetar a sorção pelas plantas, a degradação microbiana, fotólise, lixiviação e transporte. A sorção de glifosato no solo é um fator chave, contribuindo para a vulnerabilidade deste durante a degradação e o transporte (LOCKE et al., 2008).

Há registros mundiais que tanto águas superficiais quanto subterrâneas são contaminadas por agrotóxicos utilizados na agricultura. O herbicida glifosato, embora seja o mais amplamente utilizado na agricultura, também é utilizado no controle de plantas daninhas aquáticas emergentes em águas superficiais ou margens de corpos d'água (SALOMON & THOMPSON, 2003).

O herbicida glifosato e o ácido aminometilfosfônico (AMPA), que é seu principal metabólito, são assuntos bastante discutidos por estudiosos no mundo (FRANZ et al., 1997), portanto, o conhecimento da toxicidade e comportamento no ambiente de forma mais detalhada em diferentes condições ambientais ainda são necessários, visando diminuir os riscos à biota e a possível contaminação de água, ar, solo e alimentos (ANDRÉA et al., 2004).

O objetivo desta revisão é descrever brevemente o comportamento do herbicida glifosato quando presente no ambiente, levando em consideração sua presença no solo, água e ar.

REVISÃO DE LITERATURA

Comportamento no ambiente

Quando um herbicida é utilizado, se espera que apresente um tempo determinado de ação, após o qual deverá desaparecer rapidamente no ambiente (GEBLER & SPADOTTO, 2004). No momento da aplicação, parte deste herbicida não atinge o alvo, sendo depositado no ambiente, a partir daí ocorre processos que determinam seu destino. Destes processos, para o glifosato, os mais importantes incluem a formação de complexos em água com íons metálicos de Ca^{2+} , Mg^{2+} , sorção com sedimentos ou partículas suspensas

em água e solo, absorção e metabolismo por plantas e biodegradação por microorganismos (PRATA, 2002).

Presença no solo

O solo é um sistema aberto e de grande complexidade, constituído por minerais, matéria orgânica, microrganismos, água e ar, sendo que a variação de um desses componentes pode provocar alterações nos demais (TONI et al., 2006).

Sorção é um processo dinâmico físico-químico da interação herbicida-sedimento-água, correlacionado com a natureza dos sólidos no sistema (tamanho e distribuição da partícula, tipo de argila e matéria orgânica, capacidade de troca de cátions e ânions), e a característica do herbicida (solubilidade em água, coeficiente de partição octanol-água).

A sorção do glifosato no solo ocorre em duas fases, sendo a primeira delas praticamente instantânea, contribuindo com a retenção de mais de 90% do total aplicado, e a segunda um pouco mais lenta. Todavia, a fase lenta foi quantificada por Prata (2002) em aproximadamente 10 minutos, tanto no solo sob plantio direto como sob plantio convencional.

Devido as suas propriedades físico-químicas específicas, o glifosato é imóvel ou ligeiramente móvel no solo (MANY & BARRIUSO, 2005). O glifosato, na maioria dos solos, é essencialmente imóvel, mas a mobilidade varia conforme o pH do solo. O AMPA se decompõe rapidamente, e resulta na lixiviação de quantidades mínimas nos solos (SOLOMON & THOMPSON, 2003).

A persistência do glifosato no solo varia substancialmente. Quando a molécula de um herbicida chega ao solo, pode sofrer os processos de degradação e/ou adsorção. Segundo Locke et al. (2009), a fotodegradação e degradação química não são significativas na dissipação de glifosato em solos. O glifosato no solo apresenta alta capacidade de adsorção e devido a isto, muitos são os estudos que tentam explicar os mecanismos de ligação entre glifosato e solo (TONI et al., 2006). Os mecanismos mais comuns são a troca de ligantes com os óxidos de ferro e alumínio e as pontes de hidrogênio formadas entre o glifosato e as substâncias húmicas presentes no solo (FENG & THOMPSON, 1990). O glifosato é grandemente adsorvido ao solo por ligar-se a silicatos, óxidos, materiais não cristalinos ou matéria orgânica (VEIGA et al., 2001).

O glifosato é fortemente adsorvido pela maioria dos solos, ocorrendo rapidamente, nas primeiras quatro horas após a aplicação (FRANZ et al., 1997). A adsorção reduz a concentração dos herbicidas na fração solubilizada do solo, removendo parte de sua ação potencial. O resultado é observado pelo decréscimo da disponibilidade biológica, na aceleração da velocidade de degradação química ou, simplesmente, devido ao retardamento do movimento de lixiviação (TONI et al., 2006).

Uma vez adsorvido, o glifosato pode ficar como resíduo ligado permanecendo no ambiente até sua completa mineralização, que pode durar dias ou meses, dependendo das características do solo (textura, pH, conteúdo de carbono orgânico, entre outras) (TONI et al., 2006), mas a adsorção pode ser reversível apresentando atividade residual para algumas espécies como *Agrostis tenuis*, *Medicago sativa*, *Trifolium pratense* (SALAZAR & APPLIEDY, 1982; VEIGA et al., 2001).

A meia-vida do glifosato no solo varia de menos de uma semana até alguns meses, dependendo dos teores de argila e matéria orgânica e do nível de atividade microbiana (TONI et al., 2006). Já Wauchope et al. (1992), relatam que a meia-vida pode chegar a 174 dias. Enquanto que Giesy et al. (2000), relatam que a meia-vida do glifosato em solo varia de dois a 197 dias e AMPA 76 a 240 dias. Em outro estudo do destino do glifosato nos

solos, demonstrou uma dissipação rápida, na qual era quase total um mês depois da aplicação (VEIGA et al., 2001).

Outro fator importante que determina a presença deste produto no solo é a atividade microbiana. As taxas de metabolismo do glifosato podem variar consideravelmente entre diferentes solos, que podem ser relacionados com o nível de atividade microbiológica (FRANZ et al., 1997).

Os microorganismos são os principais responsáveis pela degradação do glifosato (MATTOS et al., 2002). Aproximadamente 50% da molécula original pode ser metabolizada em 28 dias chegando a 90% em 90 dias (RODRIGUES & ALMEIDA, 1995). Por essa razão, metabólitos ou produtos da degradação do herbicida têm sido identificados. O primeiro metabólito da degradação do glifosato no solo é o AMPA, sendo formado pela ação microbiana (FRANZ et al., 1997, MATTOS et al., 2002).

A degradação do glifosato no solo é muito rápida e realizada por grande variedade de microrganismos que usam o produto como fonte de energia, fósforo, nitrogênio e carbono, por meio de duas rotas catabólicas, produzindo o AMPA como o principal metabólito, e sarcosina como metabólito intermediário na rota alternativa (DICK & QUINN, 1995). O AMPA é o produto da biodegradação do glifosato em sistemas naturais antes da mineralização final e a quebra do produto em complexos fosfonados (BARJA & AFONSO, 2005). O AMPA por sua vez é degradado em dióxido de carbono e amônia (RUEPPEL et al., 1977).

Em solos de florestas, Veiga et al. (2001), observaram que a concentração de glifosato e AMPA na fase líquida e sólida do solo diminuíram ao longo de 8 semanas de monitoramento, mas apresentaram concentrações muito baixa um mês após tratamento. Observaram também, que a concentração do herbicida foi maior nos horizontes mais profundos do solo, e nas camadas mais superficiais a concentração na solução foi menor devido a degradação pelos microorganismos presentes na superfície.

A degradação do glifosato para AMPA em plantas ainda é pouco conhecido (DUKE et al., 2003). O glifosato tem sido metabolizado por plantas via duas rotas semelhantes e presentes em microorganismos. Uma destas rotas envolve a divisão oxidativa da união carbono-nitrogênio (C-N) para produção de AMPA e a outra, quebra a união do (C-P) por uma C-P liase para gerar sarcosina (REDDY et al., 2004).

Efeito em macro e microorganismos do solo

O metabolismo do glifosato pelos microorganismos é a maior rota de degradação no solo, ocorrendo tanto em condições aeróbicas e anaeróbicas no perfil do solo (FRANZ et al., 1997). Horizontes superficiais do solo rico em matéria orgânica apresentam atividade biológica mais ativa, promovendo a decomposição rápida do herbicida, enquanto que em horizontes mais profundos a degradação da molécula é mais lenta em função da menor atividade microbiológica nas camadas mais profundas do solo (VEIGA et al., 2001).

Os agrotóxicos são compostos biologicamente ativos, sua persistência no solo pode afetar a viabilidade da microbiota, estimulando ou inibindo seu crescimento de algumas espécies (ANDRÉA et al., 2004). Estes autores verificaram que a presença de minhocas no solo não influenciou na dissipação do herbicida glifosato no solo, mas houve bioacumulação nas minhocas, conforme maior foi o período de permanência das mesmas em solo tratado. Entretanto, em outro estudo com minhocas, observou-se que o glifosato não foi diretamente tóxico para as minhocas (VERRELL & VAN, 2004).

Grande parte dos organismos vivos, excluindo as plantas, não apresentam a rota do ácido shiquímico e estes não são afetados diretamente pelo glifosato (BUSSE et al., 2001).

O glifosato tem pouco efeito nos microorganismos do solo, mesmo que estes se encontrem associado a planta de forma simbiótica (GIESY et al., 2000). O efeito do glifosato sobre a atividade microbiológica do solo, têm demonstrado um incremento da atividade microbiológica, principalmente em fungos, que utilizam o glifosato como fonte de carbono, nitrogênio e fósforo (HANEY et al., 2002; ARAÚJO et al., 2003).

Em outro estudo, a biodegradação do glifosato foi avaliada em dois tipos de solo (Podzólico vermelho-amarelo e Latossolo vermelho) durante 32 dias, Araújo (2002) observou aumento da atividade microbiana após a aplicação do herbicida. Para este autor, os fungos e actinomicetos apresentaram aumento de população, enquanto as bactérias permaneceram em número constante durante todo período de incubação.

Porém, estudos recentes, demonstram que glifosato reduz os microorganismos presentes em solo cultivado com soja geneticamente resistente ao herbicida, refletindo consequentemente na produtividade da cultura (ZOBIOLE et al., 2010). Arantes et al. (2007) constataram que o glifosato reduziu a atividade microbiana em dois tipos de solo avaliados (Neossolo quartzarênico e Latossolo vermelho), independente ou não do uso de calagem. Resultado semelhante foi encontrado por Andréa et al. (2003), onde a biomineralização do glifosato diminuiu com o aumento de aplicações, indicando efeito do herbicida sobre a atividade microbiológica do solo. Em estudos realizados com fungos e bactérias do solo, Busse et al. (2001) verificaram que ocorreu efeito tóxico no crescimento populacional e na diversidade metabólica pelo uso contínuo (9 – 13 anos) do herbicida glifosato na mesma área.

Determinando os efeitos da atividade residual pelo uso repetido por longo período (9-13 anos) do herbicida glifosato no solo, Busse et al. (2001) verificaram mudanças significativas no crescimento e na composição da vegetação espontânea em plantações de pinus, assim como para microorganismos do solo (bactérias e fungos). A presença do herbicida nos solos florestais pode favorecer a microbiota, que consegue degradar o glifosato ou AMPA e, por outro lado, suprimir outros microrganismos, inclusive os benéficos, alterando assim o equilíbrio da microfauna desses ambientes (SANTOS et al., 2005).

Já outros estudos com glifosato afirmam que este, reduz a atividade de bactérias que fixam nitrogênio. Estas bactérias transformam o nitrogênio, nutriente essencial para as plantas, em uma forma que planta utiliza. Além disso, também aumenta a suscetibilidade de plantas a doenças, inclusive rizoctonia e antracnose (COX, 1995). Entretanto, Giesy et al. (2000) verificaram que o glifosato quando utilizado nas doses recomendadas não causa alterações sobre a microbiologia do solo.

Efeito sobre organismos terrestres

O glifosato é considerado ligeiramente tóxico, mas não apresenta bioconcentração (BATTAGLIN et al., 2005). Já o AMPA é considerado um produto de toxicidade menor que o glifosato (GIESY et al., 2000).

Vários estudos relatam que os organismos terrestres são mais afetados pelos efeitos indiretos causados ao habitat natural, do que pelos efeitos diretos pela aplicação do herbicida.

Gomez & Sagardoy (1985), observaram que a aplicação de glifosato no dobro da dose recomendada, não apresentou nenhum efeito direto nos microartrópodos do solo. Porém, as composições e as densidades das espécies de plantas daninhas foram diretamente afetadas pelo glifosato, enquanto os microartrópodes tiveram efeitos indiretos.

Segundo Jackson & Pitre (2004a), algumas populações de insetos adultos como *Cerotona trifurcata*, *Spissistilus festinus* e larvas de *Plathypena scabra* e *Anticarsia gemmatalis*, não foram afetadas pelo uso de glifosato. Em outro estudo, foi verificado que a fecundidade e mortalidade de *Geocoris punctipes*, exposto ao glifosato na soja, não mostram efeito no período de 10 dias depois do tratamento (JACKSON & PITRE, 2004b). Este autores relatam ainda que alguma redução no número desta espécie, três semanas depois do tratamento, provavelmente consequência na remoção das plantas daninhas, isto é, alteração do habitat.

Em outro estudo semelhante, pode-se observar que aplicações de glifosato somente apresentam efeito indireto sobre o habitat de *Lepthyphantes tenuis*, em amostras coletadas no campo, 16 meses depois de uma aplicação do herbicida glyphosate (HAUGHTON et al., 2001; BELL et al., 2002).

Populações de *Hypena scabra* foram avaliadas na cultura da soja resistente ao glifosato, com e sem exposição ao mesmo, e não foi detectado nenhuma diferença entre os tratamentos quanto ao tempo de desenvolvimento e sobrevivência deste inseto (MORJAN & PEDIGO, 2002). Contudo, segundo Cox (1995) a exposição ao glyphosate danifica ou reduz a população de muitos animais terrestres, incluindo insetos benéficos, pássaros, e minhocas. Para este mesmo autor, em alguns casos o glifosato é diretamente tóxico, mesmo em concentrações baixas, podendo matar peixes e causar desenvolvimento retardado em minhocas. Em outros casos, como mamíferos pequenos e pássaros, o glifosato atua indiretamente reduzindo a vegetação que provê comida e abriga animais (COX, 1995).

Presença na água

Os herbicidas podem causar riscos ao meio ambiente quando são transportados para a superfície das águas, porque são tóxicos a flora e prejudiciais a fauna (SIIMES et al., 2006).

Para o glifosato as principais vias de dissipação na água são por degradação microbiológica e a união com sedimentos. O glifosato não se degrada rapidamente na água, mas em presença da microflora da água o glifosato se decompõem em AMPA (GIESY et al., 2000) e eventualmente em dióxido de carbono (RUEPPEL et al., 1977). Tem-se observado outras vias metabólicas, inclusive degradação posterior do AMPA em fosfato inorgânico e $\text{CH}_3\text{-NH}_3$, e pela via das sarcosina a glicina (LIU et al., 1991).

O glifosato é frequentemente classificado como um composto de baixa mobilidade no solo, pela alta sorção. Em estudo com resíduos de três herbicidas na superfície de água parada, Siimes et al. (2006), verificaram que 302 dias após aplicação, o glifosato teve a menor concentração nas amostras coletadas (0,1%), quando comparado a Ethofumesate (1%) e glufosinato de amônio (0,2%).

Para Solomom & Thompson (2003), a grande solubilidade do glifosato e seus sais na água, sugerem que estes sejam considerados de elevada mobilidade em água, sendo que a união forte e rápida dos sedimentos e partículas do herbicida, especialmente nas águas pouco profundas e turbulentas, ou naquelas que levam grandes cargas de partículas, removem o glifosato da solução do solo.

A persistência de glifosato em água é mais curta que sua persistência em solo. As formulações de glifosato são completamente solúveis em água por se dispersar rapidamente e não se acumular em altas concentrações no perfil hídrico. O glifosato se dissipa em águas superficiais rapidamente por ser adsorvido pelos sedimentos e degradado por microorganismos (PATERSON, 2007). Para este mesmo autor, a persistência no meio

aquático do glifosato pode se encontrar com valores de meia-vida de 7 a 21 dias. Giesy et al. (2000) relatam que, a meia vida do glifosato e AMPA em ambientes aquáticos varia de 7 a 14 dias.

Para detectar a presença de glifosato e do metabólito AMPA nas águas dos canais de irrigação, um estudo foi realizado por Mattos et al. (2002), onde verificaram que em até 120 dias após aplicação, havia a presença do herbicida, concluindo que determinado nível de segurança só será alcançado 120 dias após a aplicação da formulação de glifosato.

Em estudo realizado nos Estados Unidos, foram coletadas amostras de solo, água de superfície, subterrâneas e água da chuva durante seis anos 2001-2006, para investigar a ocorrência, destino e transporte do herbicida glifosato, AMPA e glufosinato. O AMPA foi detectado com mais frequência, ocorrendo de forma similar ou em maior concentração que o glifosato no ambiente, sendo que ambos podem persistir no solo, de um ano para outro. Glifosato e AMPA foram encontrados com maior frequência em águas de superfície do que em águas subterrâneas (SCRIBNER et al., 2010),

A presença de resíduos de glifosato em águas superficiais na Europa foi verificada pela frequência de detecção, que não foi grande (SKARK et al., 2004). Os autores sugerem que a contaminação se deu pela aplicação do herbicida nas vias férreas. Este estudo recebeu apoio de outras pesquisas sobre a dissipação dos herbicidas aplicados nas vias férreas e estradas (RAMWELL et al., 2004), que são locais de dissipação do herbicida.

O contrário foi verificado na Argentina, onde o cultivo de soja resistente ao glyphosate é regularizado, não sendo observados resíduos do herbicida glifosato e de seu metabólito AMPA nas águas daquele país (ARREGUI et al., 2004).

Com relação ao extensivo uso urbano de glifosato nos Estados Unidos, um estudo verificou que amostras de água coletadas em diferentes locais, continham resíduos de glifosato e AMPA, e apresentavam-se na frequência de 17,5% e 67,5% respectivamente (KOLPIN et al., 2006). Este estudo foi realizado em virtude de um outro que mostra que baixos níveis de glifosato e foi detectado na urina de trabalhadores rurais após a aplicação deste herbicida (ACQUAVELLA et al., 2004).

Com relação ao efeito de glifosato em organismos aquáticos, um estudo realizado por Tate et al. (2000), verificou que caramujos aquáticos (*Pseudosuccinae columella*) quando exposto ao herbicida tiveram um incremento na postura de ovos e no teor de aminoácidos nos tecidos, tendo o herbicida efeito mais estimulante na reprodução, em vez de prejudicial.

O efeito de glifosato sobre *Daphnia pulex* um crustáceo aquático e algas *Scenedesmus* spp., demonstrou que o glifosato não apresentou nenhum efeito adverso, e ainda parecia estimular o crescimento das algas (BENGTSSON et al., 2004). Estes autores relatam que o estímulo para o crescimento das algas era devido a liberação de nitrogênio e fósforo do metabolismo de glifosato pela *Daphnia pulex*. Resultados contrários foram verificados por Tsui e Chu (2003), onde algas fotossintéticas, por possuírem rota metabólica similar as plantas superiores, são mais sensíveis ao efeito do herbicida com base em sal de isopropilamina do que organismos não fotossintéticos.

Um estudo em condições de campo, realizado por Relyea (2005) para verificar o efeito da aplicação direta de glifosato sobre anfíbios aquáticos e terrestres, observou que após três semanas da aplicação do produto houve morte de 96-100% das larvas dos anfíbios. Este autor quando realizou a aplicação em período pós metamorfose (juvenil), onde foi verificado morte de 68-86% dos anfíbios juvenis um dia após tratamento. O autor conclui que o produto proporciona elevadas taxas de mortalidade de anfíbios.

Presença no ar

A presença de glifosato no ar é pouco provável, já que, os diferentes sais de glifosato não têm pressão de vapor significativa e perdas na superfície tratada para atmosfera são pequenas (BATTAGLIN et al., 2005). Entretanto, gotículas podem estar presentes no ar e é a razão mais provável de que se detecte glifosato junto com outros agrotóxicos, na água da chuva, como ocorreu na União Européia (QUAGHEBEUR et al., 2004). Estes autores também observaram que, durante o período compreendido entre 1997 e 2001 se detectou glifosato unicamente na água da chuva na Bélgica em 2001, com uma frequência de 10% e uma concentração máxima de 6,2 µg/L.

Nos Estados Unidos, foram coletadas amostras de água da chuva em diferentes regiões entre os anos 2001-2006, para investigar a ocorrência de glifosato, AMPA e glufosinato. Neste estudo foi possível verificar que glifosato e AMPA estavam presentes na água da chuva em uma das regiões avaliadas, enquanto que glufosinato não teve presença significativa (SCRIBNER et al., 2010).

CONCLUSÃO

O glifosato apresenta meia-vida maior em solo que em água, porém varia conforme características do solo e da água. Dependendo das características físicas, químicas e biológicas do solo ao qual foi depositado e ao número de aplicações, influência de forma direta ou indireta na população da macro e microfauna do solo. Em condições aquáticas pode ter efeito estimulante ou não a organismos aquáticos. Estudos mais detalhados deste herbicida em diferentes condições ambientais são importantes para um correto uso, diminuindo assim os danos ambientais diretos ou indiretos que este produto possa causar, visto que embora ocorra em menor intensidade, que outros herbicidas.

REFERÊNCIAS

ACQUAVELLA, J. F.; ALEXANDERS, B. H.; MANDEL, J. S.; GUSTIN, C.; BAKER, B.; CHAPMAN, P. Glyphosate biomonitoring for farmers and their families: results from the farm family exposure study. **Environmental Health Perspective**, Morrisville, v.112, n.3, p.321-326, 2004.

AMARANTE JÚNIOR, O. P.; SANTOS, T. C. R.; BRITO, N. M.; RIBEIRO, M. L. Métodos de extração e determinação do herbicida glyphosate: breve revisão. **Química Nova**, São Paulo, v.25, n.3, p. 420-428, 2002.

ANDRÉA, M. M.; PERES, T. B.; LUCHINI, L. C.; BAZZARIN, S.; PAPINI, S.; MATALLO, M. B.; SAVOY, V. L. T. Influence of repeated applications of glyphosate in its persistence and soil bioactivity. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.11, p.1329-1335, 2003.

ANDRÉA, M. M.; PAPINI, S.; PERES, T. B.; BAZARIN, S.; SAVOY, V. L. T.; MATALLO, M. B. Glyphosate: influência na biota do solo e ação de minhocas sobre sua dissipação em terra agrícola. **Planta Daninha**, Viçosa, v.22, n.1, p.95-100, 2004.

ARANTES, S. A. C. M.; LOVORENTI, A.; TORNISIELO, V. L. Efeito da calagem e do glyphosate na atividade microbiana de diferentes classes de solos. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v.17, n.0, p.19-28, 2007.

ARAÚJO, A. S. F. Biodegradação, extração e análise de glyphosate em dois tipos de solos. Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002. 72 p.

ARAUJO, A. S.; MONTEIRO, R. T.; ABARKELI, R. B. Effect of glyphosate on the microbial activity of two Brazilian soils. **Chemosphere**, Oxford, v.52, n.52, p.799-804, 2003.

ARREGUI, M. C.; LENARDON, A.; SANCHEZ, D.; MAITRE, M. I.; SCOTTA, R.; ENRIQUE, S. Monitoring glyphosate residues in transgenic glyphosate-resistant soybean. **Pest Management Science**, New York, v.60, n.2, p.163-166, 2004.

BARJA, B. C.; AFONSO, M. S. Aminomethylphosphonic acid and glyphosate adsorption onto goethite: a comparative study. **Environmental Science & Technology**, Iowa, v.39, n.2, p.585-592, 2005.

BATTAGLIN, W. A.; KOLPIN, D. W.; SCRIBNER, E. A.; KUIVILA, K. M.; SANDSTROM, M. W. Glyphosate, other herbicides, and transformation products in Midwestern streams, 2002. **Journal of the American Water Resources Association**, v.41, n.2, p.323-332, 2005.

BELL, J. R.; JOHNSON, P. J.; HAMBLER, C.; HAUGHTON, A. J.; SMITH, H.; FEBER, R. E.; TATTERSALL, F. H.; HART, B. H.; MANLEY, W.; MACDONALD, D. W. Manipulating the abundance of *Lepthyphantes tenuis* (Araneae: Linyphiidae) by field margin management. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Switzerland, v.93, n.1-3, p.295-304, 2002.

BENGTSSON, G.; HANSSON, L. A.; MONTENEGRO, K. Reduced grazing rates in *Daphnia pulex* caused by contaminants: Implications for trophic cascades. **Environmental Toxicology and Chemistry**, Houston, v.23, n.11, p.2641-2648, 2004.

BUSSE, M. D.; RATCLIFF, A. W.; SHESTAK, C. J.; POWERS, R. F. Glyphosate toxicity and the effects of long-term vegetation control on soil microbial communities. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.33, p.1777-1789, 2001.

COX, C. Human exposure and ecological effects. **Journal of Pesticide Reform**, v.15, n.4, 1995.

DICK, R. E.; QUINN, J. P. Glyphosate-degrading isolates from environmental samples: occurrence and pathways of degradation. **Applied Microbiology Biotechnology**, Berlin, v.43, n.3, p.545-550, 1995.

DUKE, S. O.; RIMANDO, A. M.; PACE, P. F.; REDDY, K. N.; SMEDA, R. Isoflavone, glyphosate, and aminomethylphosphonic acid, levels in seed of glyphosate-treated, glyphosate-resistant soybean. **Journal Agricultural Food chemical**, California, v.51, n.1, p.340-344, 2003.

FENG, J. C.; THOMPSON, D. G. Fate of glyphosate in a Canadian forest Watershed. 2: persistence in foliage and soil. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, California, v.38, n.4, p.1118-1125, 1990.

FRANZ, J. E.; MAO, M. K.; SIKORSKI, J. A. Glyphosate: **A Unique Global Herbicide**. American Chemical Society, Washington DC, 1997, p.653.

GEBLER, L.; SPADOTTO, C. A. Comportamento ambiental dos herbicidas. In: Vargas, L. & Roman, E.S. (ed.). **Manual de Manejo e Controle de Plantas Daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. 652p.

GIESY, J. P.; DOBSON, S.; SOLOMON, K. R. Ecotoxicological risk assessment for roundup herbicide. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v.167, n.1, p.35-120, 2000.

GOMEZ, M. A.; SAGARDOY, M. A. Effect of glyphosate herbicide on the microflora and mesofauna of a sandy soil in a semiarid region. **Revista Latinoamericana de Microbiologia**, Marelos, v.27, n.4, p.351-357, 1985.

HANEY, R. L.; SENSEMAN, S. A.; HONS, F.M. Effect of Roundup ultra on microbial activity and biomass from selected soils. **Journal of Environmental Quality**, Texas, v.31, n.3, p.730-735, 2002.

HARTZLER, B. Which glyphosate product is best?. Disponível em: <http://www.weeds.iastate.edu/mgmt/qtr01-1/glyphosateformulations.htm>. Acesso em: 05 nov. 2006.

HAUGHTON, A .J.; BELL, J. R.; WILCOX, A.; BOATMAN, N. D. The effect of the herbicide glyphosate on non-target spiders: Part I. Direct effects on *Lepthyphantes tenuis*

under laboratory conditions. **Pest Management Science**, New York, v.57, n.11, p.1033-1036, 2001.

JACKSON, R. E.; PITRE, H. N. Influence of Roundup Ready soybean production systems and glyphosate application on pest and beneficial insects in narrow-row soybean. **Journal of Entomological Science**, Kyoto, v.39, n.1, p.62-70, 2004a.

JACKSON, R. E.; PITRE, H. N. Influence of Roundup Ready soybean and roundup ultra herbicide on *Geocoris punctipes* (Say) (Heteroptera: Lygaeidae) in the laboratory. **Journal of Entomological Science**, Kyoto, v.39, n.1, p.56-61, 2004b.

KOLPIN, D. W.; THURMAN, E. M.; LEE, E. A.; MEYER, M. T.; FURLONG, E.T.; GLASSMEYER, S.T. Urban contributions of glyphosate and its degradate AMPA to streams in the United States. **Science of the Total Environment**, Michigan, v.354, n.2-3, p.191-197, 2006.

KRAEMER, A. F.; MARCHESAN, E.; AVILA, L. A.; MACHADO, S. L. O; GROHS, M. Destino ambiental dos herbicidas do grupo das imidazolinonas. **Planta Daninha**, Viçosa, v.27, n.3, p.629-639, 2009.

LIU, C-M.; MCLEAN, P. A.; SOOKDEO, C. C.; CANNON, F. C. Degradation of the herbicide glyphosate by members of family *Rhizobiaceae*. **Applied Environmental Microbiology**, Washington DC, v.57, n.6, p.1799-1840, 1991.

LOCKE, M. A.; ZABLOTOWICZ, R. M.; REDDY, K. N. Integrating soil conservation practices and glyphosate-resistant crops: impacts on soil. **Pest Management Science**, New York, v.64, n. 4, p.457-469, 2008.

MANY, L.; BARRIUSO, E. Glyphosate adsorption in soil compared to herbicides replaced with the introduction of glyphosate resistant crops. **Chemosphere**, Oxford, v.61, n. 6, p.844-855, 2005.

MATTOS, M. L. T.; PERALBA, M. C. R.; DIAS, S. L. P. PRATA, F.; CAMARGO, L. Monitoramento ambiental do glyphosate e do seu metabólito (ácido aminometilfosfônico) na água de lavoura de arroz irrigado. Pesticidas: **Revista Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v.12, n. 1, p.145-154, 2002.

MORJAN, W. E; PEDIGO, L. P. Suitability of transgenic glyphosate-resistant soybeans to green cloverworm (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, California, v.95, n.6, p.1275-1280, 2002.

PATERSON, M. Glyphosate Análisis of Risks to Endangered and Threatened Salmon and Steelhead. Disponível em: <http://www.epa.gov/oppfead1/endanger/effects/glyphosate-analysis.pdf>, acesso: 12 out. 2007.

PRATA, F. Comportamento do glifosato no solo e deslocamento miscível de atrazina. Tese de doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002. 149 p.

QUAGHEBEUR, D.; SMET, B.; WULF, E.; STEURBAUT, W. Pesticides in rainwater in Flanders, Belgium: results from the monitoring program 1997-2001. **Journal of Environmental Monitoring**, Cambridge, v.6, n.3, p.182-190, 2004.

RAMWELL, C. T; HEATHER, A. I; SHEPHERD, A. J. Herbicide loss following application to a railway. **Pesticide Management Science**, New York, v.60, n. 6, p.556-564, 2004.

REDDY, K. N.; RIMANDO, A. M.; DUKE, S. O. Aminomethylphosphonic acid, a metabolite of glyphosate, causes injury in glyphosate-treated, glyphosate-resistant soybean. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, California, v.52, n. 16, p.5139-5143, 2004.

RELYEA, R. A. The lethal impact of Roundup on aquatic and terrestrial amphibians. **Ecological Applications**, Ithaca, v.15, n.4, p.1118-1124, 2005.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F. S. de. **Guia de herbicidas**. 3. ed. Londrina: IAPAR, 1995. 696 p.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 5. ed., Londrina, 2005, 592p.

RUEPPEL, M. L.; BRIGHTWELL, B. B.; SCHAEFER, J.; MARVEL, T. T. Metabolism and degradation of glyphosate in soil and water. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, California, v.25, n. 3, p.517-528, 1977.

SALAZAR, L. C.; APPLIEDY, A. P. Herbicidal activity of glyphosate in soil. **Weed Science**, Lawrence, v.30, n.5, p.463-466, 1982.

SANTOS, T. L. D.; FERREIRA, F. A.; BARROS, N. F.; SIQUEIRA, C. H.; SANTOS, I. C.; MACHADO, A. F. L. Exsudação radicular do glyphosate por *Brachiaria decumbens* e

seus efeitos em plantas de eucalipto e na respiração microbiana do solo. **Planta Daninha**, Viçosa, v.23, n. 1, p.143-152, 2005.

SCRIBNER, E. A.; BATTAGLIN, W. A.; GILLIOM, R. J.; MEYER, M. T. 2007. Concentration of glyphosate, its degradation product, aminomethylphosphonic acid and glufosinat in ground and surface water, rainfall, and soil samples collected in the United States, 2001-2006. Disponível em: www.usgs.gov. Acesso em 14 jan. 2010.

SIIMES, K.; RÄMÖ, S.; WELLING, L.; NIKUNEN, U.; LAITINEN, P. Comparison of the behaviour of three herbicides in a field experiment under bare soil conditions. **Agricultural Water Management**, Ohio, v.84, n.1-2, p.53-64, 2006.

SHANER, D. L. Role of translocation as a mechanism of resistance to glyphosate. **Weed Science**, Lawrence, v.57, n. 1, p.118-123, 2009.

SKARK, C.; ZULLEI-SEIBERT, N.; WILLME, U.; GATZEMANN, U.; SCHLETT C. Contribution of non-agricultural pesticides to pesticide load in surface water. **Pesticide Management Science**, New York, v.60, n. 6, p.525-530, 2004.

SOLOMON, K. R.; THOMPSON, D. G. Ecological risk assessment for aquatic organisms from over-water uses of glyphosate. **Journal of Toxicology and Environmental Health B**, Philadelphia, v.6, n.3, p.211-246, 2003.

TATE, T. M.; JACKSON, R. N; CHRISTIAN, F. A. Effects of glyphosate and dalpon on total free amino acids profiles of *Pseudosuccinae columella* snails. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v.64, n.1, p.258-262, 2000.

TSUI, M. T. K.; CHU, T. L. M. Aquatic toxicity of glyphosate-based formulations: comparison between different organisms and the effects of environmental factors. **Chemosphere**, Oxford, v.52, n. 7, p.1189-1197, 2003.

TONI, L. R. M.; SANTANA, H.; ZAIA, D. A. M. Adsorção de glyphosate sobre solos e minerais. **Química Nova**, São Paulo, v.29, n.4, p.829-833, 2006.

VEIGA, F.; ZAPATTA, J. M.; MARCOS, F.; ALVAREZ, E. Dynamics of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in a forest soil in Galicia, north-west Spain. **The Science of the Total Environment**, v. 271, n.1-3, p.135-144, 2001.

VERRELL, P.; VAN, B. E. As the worm turns: *Eisenia fetida* avoids soil contaminated by a glyphosate-based herbicide. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v.72, n.2, p.219-224, 2004.

WAUCHOPE, R. D.; BUTLER, T. M.; HORNSBY, A.G.; AUGUSTIJN-BECKERS, P.W.M.; BURT, J.P. The SCS/ARS/CES pesticide properties database: select values for environmental decision making. **Reviews of environmental contamination & toxicology**, New York, v.123, n.1, p.1-164, 1992.

ZOBIOLE, L., KREMER, R., OLIVEIRA, R. AND CONSTANTIN, J. Glyphosate affects micro-organisms in rhizospheres of glyphosate-resistant soybeans. **Journal of Applied Microbiology**, no. doi: 10.1111/j.1365-2672.2010.04864.