

Produção de massa seca e teores de nutrientes do feijoeiro comum submetido à deriva de glyphosate em duas classes de solo¹

Wanderson Souza Rabello^{2*}, Pedro Henrique Monnerat³, Marcela Campanharo⁴, Guilherme Ribeiro⁵, José Francisco Sá Vasconcelos Junior⁶

<http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201562040008>

RESUMO

O glyphosate é o principal herbicida em utilização no mundo, sendo recomendado para o controle de plantas daninhas em diversas culturas. Em pulverizações com ventos de 2 m s⁻¹, a deriva de glyphosate pode atingir até 160 m além do local considerado alvo colocando em risco as culturas vizinhas. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a matéria seca e os teores de nutrientes do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola submetido à deriva de glyphosate. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Campos dos Goytacazes - RJ, utilizando o feijoeiro comum. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 4 x 2 com quatro repetições, sendo o primeiro fator constituído pelas subdoses de 0; 14,4; 43,2 e 86,4g ha⁻¹ de equivalente ácido (e.a.) de glyphosate na forma de sal de amônio aplicado aos 25 dias após a sementeira (estádio V4) e o segundo fator constituído por dois tipos de solos: Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb. A deriva de glyphosate reduziu a massa seca de ramos e da parte aérea aos 20 dias após a aplicação (DAA), os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg) e enxofre (S) aos 10 DAA e de N, P, Ca e Mg aos 20 DAA do feijoeiro cv. Pérola.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., herbicida, subdose, diagnose nutricional.

ABSTRACT

Dry matter yield and common bean nutrient content submitted to glyphosate drift in two soil classes

Glyphosate is the main herbicide used worldwide and is recommended for the control of weeds in various crops. In spraying with winds of 2 m s⁻¹, glyphosate drift can reach up to 160 m beyond the target site, which is considered as harmful to the neighboring crops. The objective of this study was to evaluate the dry matter and nutrient content of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola subjected to glyphosate drift. The experiment was conducted in a greenhouse at the State University of North Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes - RJ using the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola, on a Quartzipsamment and a Paleudalf Tb. The experiment was arranged in a randomized block design in a 4 x 2 factorial scheme with four replications, with the first factor comprising the subdoses of 0, 14.4, 43.2 and 86.4 g ha⁻¹ acid equivalent (e.a) of glyphosate in the form of ammonium salt applied 25 days after sowing (V4 stage) and the second factor consisting of the two soils. Glyphosate drift reduced dry mass of branches and shoots at 20 days after application (DAA), the content of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), magnesium (Mg) and sulfur (S) at 10 DAA and N, P, Ca and Mg at 20 DAA of common bean cv. Pearl.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., herbicide, subdose, nutritional diagnose.

Submetido em 15/05/2014 e aprovado em 14/07/2015.

¹ Este trabalho é parte da dissertação de mestrado do primeiro autor.

² Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Laboratório de Engenharia Agrícola, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil. rabellosouza@hotmail.com

³ Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Laboratório de Fitotecnia, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil. phmonnerat@yahoo.com.br

⁴ Faculdades Integradas Aparício Carvalho, Porto Velho, Rondônia, Brasil. marcelacampanharo@gmail.com

⁵ Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Laboratório de Fitotecnia, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil. guilherme.uenf@gmail.com

⁶ Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Laboratório de Engenharia Agrícola, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil. juniorferrete@yahoo.com.br

*Autor para correspondência: rabellosouza@hotmail.com

INTRODUÇÃO

O feijoeiro tem especial importância para a agricultura brasileira, por sua relevância na dieta da população, e por ser o país um dos maiores produtores e consumidores de feijão do mundo (Barbosa *et al.*, 2010). Entretanto, a produtividade nacional média da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é baixa, aproximadamente 913 kg ha⁻¹ de grãos na safra 2012/2013 (Conab, 2014).

Devido à crescente demanda por maior produção de alimentos, surge a necessidade de maior tecnificação das lavouras para aumentar a produtividade nas áreas agricultáveis. Na busca de maior eficiência produtiva, o uso dos defensivos agrícolas, e mais precisamente os herbicidas, vem sendo uma ferramenta fundamental (Figueredo *et al.*, 2007), dentre os quais destaca-se o glyphosate.

O glyphosate (N-phosphonomethyl-glycine) é o principal herbicida em utilização no mundo (Service, 2007), sendo recomendado para o controle de plantas daninhas em diversas culturas. Seu mecanismo de ação baseia-se na inibição da enzima 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato-sintase (EPSPs). Essa enzima é crítica na via do ácido chiquímico, e sua inibição resulta em redução na produção de aminoácidos aromáticos, prejudicando assim processos metabólicos como a síntese de proteínas e o processo fotossintético (Eker *et al.*, 2006).

Aproximadamente 35% da massa seca de uma planta é representada por derivados da via do ácido chiquímico e 20% do carbono fixado pela fotossíntese segue por essa rota metabólica (Kruse *et al.*, 2000). Assim, a interferência nessa importante via pode implicar em efeitos depressivos no crescimento das plantas. Contudo, a espécie (Velini *et al.*, 2008), as condições edafoclimáticas (Zanatta *et al.*, 2007), a dose (Tuffi Santos *et al.*, 2007), o estágio de desenvolvimento (Lunkes *et al.*, 1998) e o tipo de formulação (Santos *et al.*, 2007) podem interferir no efeito do glyphosate sobre as culturas.

A utilização intensa do glyphosate pode produzir quantidades detectáveis de resíduos em áreas que não receberam a aplicação direta do herbicida (Laitinen *et al.*, 2007). Em pulverizações com ventos de 2 m s⁻¹, a deriva de glyphosate pode atingir até 160 m além do local considerado alvo podendo se tornar um grande problema em muitas áreas de cultivo, pois além de reduzir a eficiência de aplicação, coloca em risco as culturas vizinhas (Schroder *et al.* 2000), proporcionando a ocorrência de efeitos negativos sobre o desenvolvimento das plantas não-alvo.

O efeito da deriva está diretamente relacionado à quantidade do princípio ativo que chega às culturas, que por sua vez está associado às doses recomendadas para

controle das plantas daninhas, assim como pelas condições climáticas e o tamanho das gotas pulverizadas (Pereira *et al.*, 2010). Trabalhos realizados com feijão (Lunkes *et al.*, 1998), soja (Bellaloui *et al.*, 2006; Zablutowicz & Reddy, 2007; Cakmak *et al.*, 2009), eucalipto (Tuffi Santos *et al.*, 2007) e café (França *et al.*, 2010) reportaram efeitos negativos como redução no crescimento, produtividade e na assimilação e fixação de nitrogênio.

O glyphosate tem a habilidade de formar complexos com nutrientes minerais catiônicos como cálcio, magnésio, manganês e ferro (Lundager-Madsen *et al.*, 1978; Motekaitis & Martell, 1985; Barja *et al.*, 2001). Esses nutrientes minerais facilmente se ligam à molécula do glyphosate via grupamentos carboxilato, fosfonato e amino do herbicida formando complexos metálicos (Barja *et al.*, 2001; Cakmak *et al.*, 2009), que podem reduzir a disponibilidade de nutrientes para absorção das plantas (Eker *et al.*, 2006; Cakmak *et al.*, 2009).

A possibilidade de ocorrência de deriva de agrotóxicos é uma realidade presente em muitas áreas agrícolas e este fato pode influenciar negativamente as culturas adjacentes às áreas aplicadas. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de matéria seca e os teores de macronutrientes do feijoeiro comum cv. Pérola submetido à deriva de glyphosate.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Campos dos Goytacazes - RJ, utilizando como planta teste o feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola. Foram utilizados solos de classe textural e características químicas diferentes (Tabelas 1 e 2), Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb, ambos coletados em profundidade de 0 a 20 cm. Não foram feitas aplicações de corretivos e fertilizantes.

O experimento foi conduzido em esquema fatorial 4 x 2 utilizando-se o delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, sendo o primeiro fator constituído pelas subdoses de 0; 14,4; 43,2 e 86,4g ha⁻¹ de equivalente ácido (e.a.) de glyphosate, correspondentes a 0; 1; 3 e 6% da dose de 1440 g ha⁻¹ na forma de sal de amônio do produto comercial Roundup WG® e o segundo fator constituído pelos dois solos descritos acima. As subdoses utilizadas foram estabelecidas baseando-se no trabalho de Eker *et al.*, (2006).

As plantas foram cultivadas em vasos com capacidade de 5 dm³. Foram semeadas doze sementes de feijão por vaso, sendo posteriormente realizado o desbaste das plântulas, mantendo-se quatro plantas por vaso. Os va-

sos foram irrigados diariamente com água desionizada de modo a atingir a capacidade de campo.

A aplicação do glyphosate foi realizada quando as plantas estavam no estágio V4 (fase vegetativa em que a terceira folha trifoliada estava totalmente expandida, motivo que levou à aplicação), a qual ocorreu 25 dias após a semeadura (DAS). Para a aplicação do glyphosate utilizou-se um pulverizador costal, pressurizado a gás carbônico, com pressão constante de 3,0 kgf cm⁻², equipado com ponta Turbo Teejet 100.015, calibrado para aplicar o equivalente a 230 L ha⁻¹ de calda. Foi adicionado à calda do herbicida o espalhante adesivo Adesil®. No momento da aplicação as condições climáticas foram: 27 C° de temperatura do ar, 83% umidade relativa e 4 km h⁻¹ de velocidade do vento. As aplicações foram feitas fora da casa de vegetação.

Aos 10 e 20 dias após a aplicação (DAA) do herbicida, duas plantas por vaso, em cada época de coleta, foram coletadas e separadas em folhas (com pecíolo) e ramos. Não houve lavagem das plantas coletadas, assim como as folhas caídas foram descartadas. Folhas e ramos foram colocados em sacos de papel identificados, secos em estufa de circulação forçada de ar a 72°C por 48 horas e pesados para determinação da massa seca. Folhas e ramos secos foram moídos em moinho de facas tipo Willey com peneiras de 20 mesh e armazenados em frascos plásticos herméticos para posterior determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S, nas folhas.

Os teores de N, P e K foram determinados, numa primeira etapa, a partir do extrato da digestão sulfúrica. Em seguida foram determinados o N-orgânico, pelo método colorimétrico com reagente de Nessler (Jackson, 1965); o P por colorimetria, utilizando-se molibdato de amônio e o K por emissão em fotômetro de chama. Os demais nutrientes foram determinados a partir do extrato da digestão nítrico-perclórica, em que o Ca e Mg fo-

ram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica e o S foi quantificado por turbidimetria, utilizando-se BaCl₂ e goma arábica (Embrapa, 2009).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade utilizando-se o programa Sisvar (Ferreira, 2011). As médias do fator solo foram comparadas pelo teste F a 5% de probabilidade e as subdoses de glyphosate por meio de regressão, sendo a escolha dos modelos baseada na sua significância, no fenômeno biológico e no coeficiente de determinação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características de crescimento massa seca de ramos, folhas e parte aérea foram influenciadas significativamente pelas subdoses de glyphosate (Figura 1) e pelas classes de solos utilizados (Tabela 3), não havendo interação entre os fatores estudados. Aos 10 DAA, as subdoses de glyphosate aplicadas não interferiram no crescimento do feijoeiro. Porém, aos 20 DAA observou-se que as subdoses de glyphosate reduziram a massa de seca de ramos e da parte aérea (folhas e ramos) do feijoeiro Pérola (Figura 1), indicando que a deriva de glyphosate pode prejudicar o crescimento do feijoeiro. Com isso, os produtores devem reforçar os cuidados com relação à aplicação deste herbicida em áreas vizinhas. Além do mais, considerando as respostas aos 10 DAA e aos 20 DAA verifica-se a necessidade de mais que 10

Tabela 2: Características físicas do Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb e do Neossolo Quartzarênico Órtico típico utilizados no experimento

Solos	Areia	Silte	Argila
	g kg ⁻¹		
Argissolo	552	68	380
Neossolo	937	20	43

Tabela 1: Características químicas do Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb e do Neossolo Quartzarênico Órtico típico utilizados no experimento

	pH	CE	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al
	H ₂ O (1:2,5)	µS	mg kg ⁻¹		mmol _c kg ⁻¹			
Argissolo	5,62	119,71	19	180	98,6	13,4	0,5	35,06
Neossolo	5,03	78,77	136	67	39,4	3,9	1,5	36,71
mg kg ⁻¹								
	Na	B	Mo	Mn	Zn	Cu	Fe	Ni
Argissolo	0,41	0,51	0,021	38,1	3,8	0,59	86,9	0,23
Neossolo	0,04	0,1	0,027	13,9	1,2	0,73	47,1	0,12
mmol _c kg ⁻¹								
	S	C	MO	T	t	SB	V	m
	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹		mmol _c kg ⁻¹			%	
Argissolo	4,60	13,51	23,59	152,08	117,52	117,02	77	0,42
Neossolo	3,77	8,65	14,91	81,76	46,55	45,05	55	3,22

dias para que possam ser observados os efeitos deletérios do glyphosate sobre o feijoeiro Pérola. França *et al.*, (2010) também observaram interferência negativa de subdoses de glyphosate na altura de plantas e produção de massa seca de raízes, folhas e caule do cafeeiro. Por outro lado, Silva *et al.* (2012) não observaram influência de subdoses de glyphosate de até 40 g ha⁻¹ do e.a. na altura de plantas e comprimento de vagens das cultivares feijão Carioca, Juriti e Pérola.

O glyphosate é um composto inibidor da enzima 5-enolpiruvil-shikimato-3- fosfato sintase (EPSPs), que atua na via do ácido chiquímico. Aproximadamente 35% da massa seca de uma planta é representada por derivados da via do ácido chiquímico e 20% do carbono fixado pela fotossíntese segue por essa rota metabólica (Kruse *et al.*, 2000). Assim, a interferência nessa importante via pode implicar em efeitos depressivos no crescimento das plantas. Contudo, a espécie (Velini *et al.*, 2008), as condições edafoclimáticas (Zanatta *et al.*, 2007), a dose (Tuffi Santos *et al.*, 2007), o estágio de desenvolvimento (Lunkes *et al.*, 1998) e o tipo de formulação (Santos *et al.*, 2007) podem interferir no efeito do glyphosate sobre as culturas.

Quanto ao efeito do fator solo sobre as características de crescimento, observou-se que aos 10 DAA as plan-

tas cultivadas no Neossolo apresentaram maior massa seca de folhas, ao passo que as plantas cultivadas no Argissolo apresentaram maior massa seca de ramos independentemente da época de avaliação. Não houve diferenças entre os tipos de solos utilizados para a produção de massa seca da parte aérea (Tabela 3).

Com relação aos teores de nutrientes, observou-se efeito significativo das subdoses de glyphosate (Figuras 2, 3, 4 e 5) e dos tipos de solo (Tabela 4), não havendo efeito de interação (dados não apresentados). Quanto ao efeito de solo, observou-se que aos 10 DAA as plantas cultivadas no Argissolo apresentaram maiores teores de nutrientes do que aquelas cultivadas em Neossolo, com exceção de N, cujo teor não diferiu entre os dois solos (Tabela 4). Aos 20 DAA os teores de K e Ca mantiveram-se maiores no Argissolo, não havendo diferenças entre os solos para os teores de N, P, Mg e S (Tabela 4). Os maiores teores de nutrientes em plantas cultivadas no Argissolo (Tabela 4) se devem à maior disponibilidade da maioria dos nutrientes nesse solo (Tabela 1). Além disso, neossolos por vezes apresentam baixo teor de matéria orgânica, saturação de bases e fertilidade natural devido ao material de origem que os originou.

Apesar de o Neossolo possuir maior teor de P do que o Argissolo (Tabela 1), o teor foliar desse nutriente

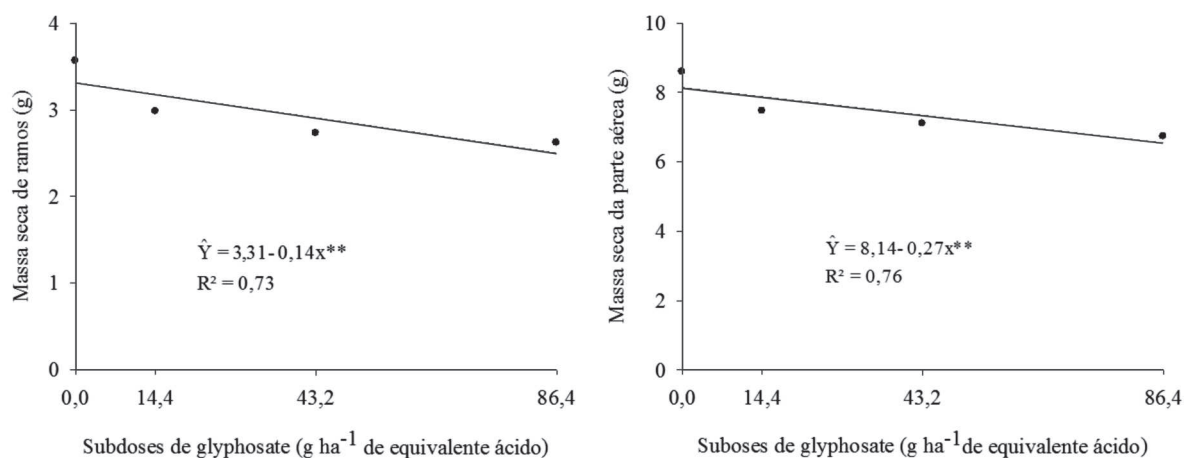


Figura 1: Média de massa seca de ramos e da parte aérea do feijoeiro comum cv. Pérola submetido à deriva de subdoses de glyphosate aos 20 DAA. (Média de 2 solos).

Tabela 3: Média de massa seca de folhas (MSF), ramos (MSR) e da parte aérea (MSPA) de duas plantas de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Pérola, cultivado em um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb e um Neossolo Quartizarênico Órtico típico

Solo	MSF (g)		MSR (g)		MSPA (g)	
	10DAA	20DAA	10DAA	20DAA	10DAA	20DAA
Argissolo	2,72 b	4,46 a	1,67 a	3,25 a	4,38 a	7,71 a
Neossolo	3,28 a	4,54 a	1,48 b	2,69 b	4,77 a	7,23 a
Média	3,00	4,50	1,57	2,97	4,57	7,47
CV (%)	15,0	15,2	12,9	11,2	11,7	12,7

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

nas plantas cultivadas no Argissolo foi superior aos 10 DAA (Tabela 4). Para nutrientes com baixas taxas de difusão no solo, como os fosfatos, a proximidade entre a superfície absorviva da raiz e a fonte de recurso é muito importante (Harper *et al.*, 1991). Acredita-se que houve maior crescimento radicular e possivelmente maior eficiência de exploração do solo pelo feijoeiro cultivado no Argissolo, e que tais fatores tenham contribuído para uma maior absorção desses nutrientes. Teruel *et al.* (2001) constataram que plantas de soja apresentaram maior eficiência de exploração do solo quando cultivadas em condição de menor teor de P.

Quanto ao efeito das subdoses de glyphosate sobre os teores de nutrientes do feijoeiro observou-se que os efeitos mais prejudiciais foram observados para o N, independentemente da época de amostragem foliar. A maior subdose aplicada (86,4 g ha⁻¹) reduziu o teor foliar de N em 27,91% aos 10 DAA e em 38,37% aos

20 DAA comparando-se com a dose zero. Aos 10 DAA, para todas as subdoses, o teor de N se encontrava abaixo da faixa adequada (30 a 50 g kg⁻¹) proposta por Malavolta *et al.* (1997). Aos 20 DAA, o teor de N (Figura 2) foi inferior à faixa adequada proposta por Malavolta *et al.*, (1997) nas subdoses 43,2 e 86,4 g ha⁻¹ de glyphosate. Vale ressaltar que a faixa proposta por Malavolta *et al.*, (1997) refere-se à época de florescimento do feijoeiro.

Bellaloui *et al.*, (2006) também observaram que o glyphosate reduziu em 20,65% o teor de N da soja aos 14 DAA com a aplicação de 105 g ha⁻¹. De forma semelhante, Zablutowicz & Reddy (2007) verificaram que os teores foliares de N da soja foram reduzidos por subdoses inferiores a 84,5 g ha⁻¹ de glyphosate, em simulação de deriva. Em estudos com café, França *et al.*, (2010) também relataram que, dentre os nutrientes reduzidos pelas subdoses de glyphosate, o N foi o que apresentou o mai-

Tabela 4: Teores de macronutrientes em folhas de feijoeiro comum cv. Pérola, cultivado em um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb e um Neossolo Quartzarênico Órtico típico

Solo	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
10 DAA						
Argissolo	26,3a	2,63a	28,0a	15,5a	5,83a	1,25a
Neossolo	25,0a	1,82b	17,3b	10,7b	4,58b	1,01b
Média	25,6	2,22	22,6	13,1	5,20	1,13
CV(%)	12,8	9,75	21,4	22,0	14,0	10,2
20 DAA						
Argissolo	27,5a	2,99a	23,4a	14,5a	6,28a	1,46a
Neossolo	28,0a	2,89a	16,0b	12,4b	5,97a	1,32a
Média	28,6	2,94	19,7	13,5	6,13	1,39
CV(%)	21,1	15,3	17,0	9,1	12,5	13,2

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

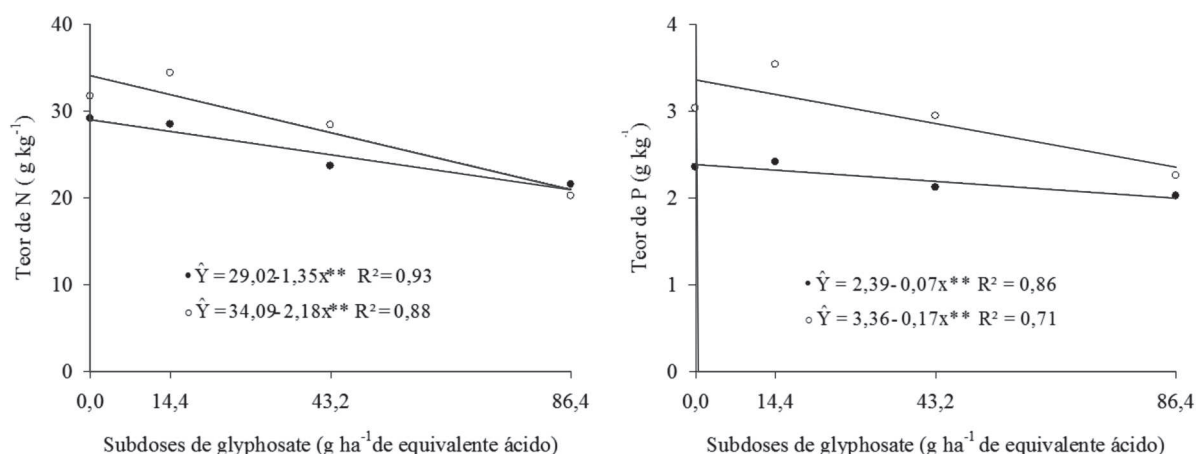


Figura 2: Teor de nitrogênio (N) e fósforo (P) na folha do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L) cv. Pérola aos 10 dias após a aplicação (DAA) (●) e aos 20 DAA (○), submetido à deriva de subdoses de glyphosate.

or percentual de redução, com decréscimo de 35,51% para a subdose de 460,8 g ha⁻¹ aos 45 DAA.

Os herbicidas são conhecidos por influenciar o metabolismo do nitrogênio (Bellaloui *et al.*, 2008). Acredita-se que as plantas tratadas com glyphosate tenham apresentado menor capacidade de fixação e assimilação do nitrogênio, o que pode ter contribuído para redução no teor desse nutriente, uma vez que o herbicida pode reduzir a nodulação em leguminosas (Dvorane *et al.*, 2008), a atividade da nitrogenase, enzima central no processo de fixação biológica do nitrogênio e a atividade da redutase do nitrato, enzima envolvida no processo de assimilação do nitrogênio (Bellaloui *et al.*, 2006). Além disso, de acordo com Fuchs *et al.*, (2002) e Reddy *et al.*, (2008), o glyphosate pode reduzir indiretamente a síntese de clorofila, por meio da inibição da porfirina, precursora do ácido aminolevulínico, ou também estimulando sua degradação pela luz solar.

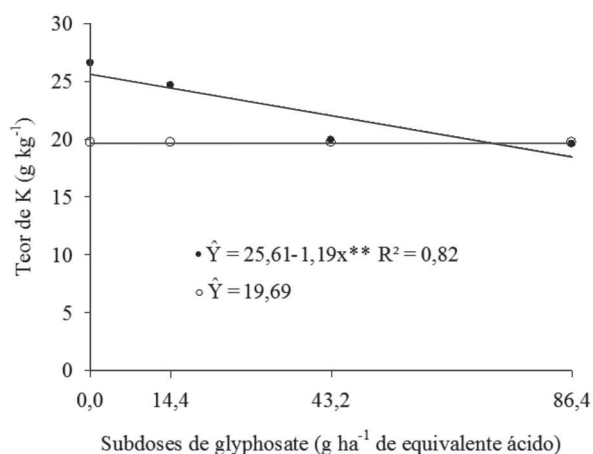
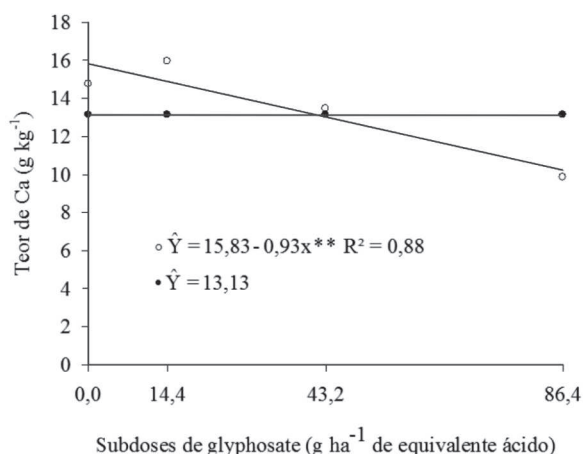


Figura 3: Teor de potássio (K) na folha do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L) cv. Pérola aos 10 dias após a aplicação (DAA) (●) e aos 20 DAA (○), submetido à deriva de subdoses de glyphosate.



O teor de P foi reduzido em 17,57% aos 10 DAA e em 30,36% aos 20 DAA pela maior subdose de glyphosate aplicada quando comparado à dose zero. Nessa condição, o teor foliar de P observado foi de 1,97 g kg⁻¹ aos 10 DAA e 2,34 g kg⁻¹ aos 20 DAA, ou seja, estão próximos do limite inferior da faixa adequada (2 a 3 g kg⁻¹) considerada por Malavolta *et al.*, (1997). França *et al.* (2010) também constataram que as subdoses de 57,6; 115,2; 230,4 e 460,8 g ha⁻¹ de glyphosate reduziram o teor de P dos cultivares de café arábica Topázio, Oeiras e Catucaí Amarelo aos 45 DAA. Por outro lado, Cakmak *et al.*, (2009) em folhas maduras da soja e Tuffi Santos *et al.*, (2007) no eucalipto não observaram efeito de subdoses de glyphosate sobre o teor de P.

O teor de K foi reduzido linearmente pelas subdoses empregadas, atingindo 27,88% de redução para a maior subdose aplicada aos 10 DAA em relação à testemunha. Entretanto não houve efeito do glyphosate aos 20 DAA. Aos 10 DAA na maior subdose de glyphosate o teor foliar de K se encontrava abaixo da faixa adequada (20 a 25 g kg⁻¹) proposta por Malavolta *et al.*, (1997). França *et al.*, (2010) verificaram que plantas de café submetidas a subdoses entre 57,6 g ha⁻¹ e 460,8 g ha⁻¹ de glyphosate apresentaram também menores teores de K quando comparadas à testemunha. Resultado semelhante foi obtido por Zobiolo *et al.*, (2010) na soja. Contudo, o teor médio observado de K no presente trabalho foi novamente inferior ao da faixa adequada proposta por Malavolta *et al.*, (1997).

O teor de Ca nas folhas não foi influenciado pelas subdoses de glyphosate aos 10 DAA. Aos 20 DAA houve redução linear com o aumento das subdoses de glyphosate. A maior subdose aplicada reduziu em 35,25% o teor de Ca foliar aos 20 DAA em relação à dose zero. Provavelmente o tempo necessário para a ação do herbicida sobre esse nutriente seja retardado compara-

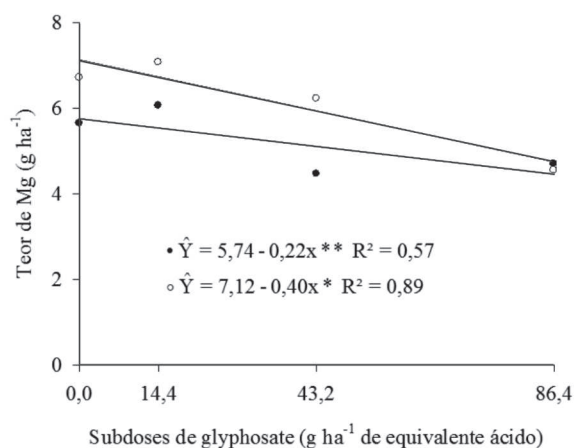


Figura 4: Teor de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na folha do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L) cv. Pérola aos 10 dias após a aplicação (DAA) (●) e aos 20 DAA (○), submetido à deriva de subdoses de glyphosate.

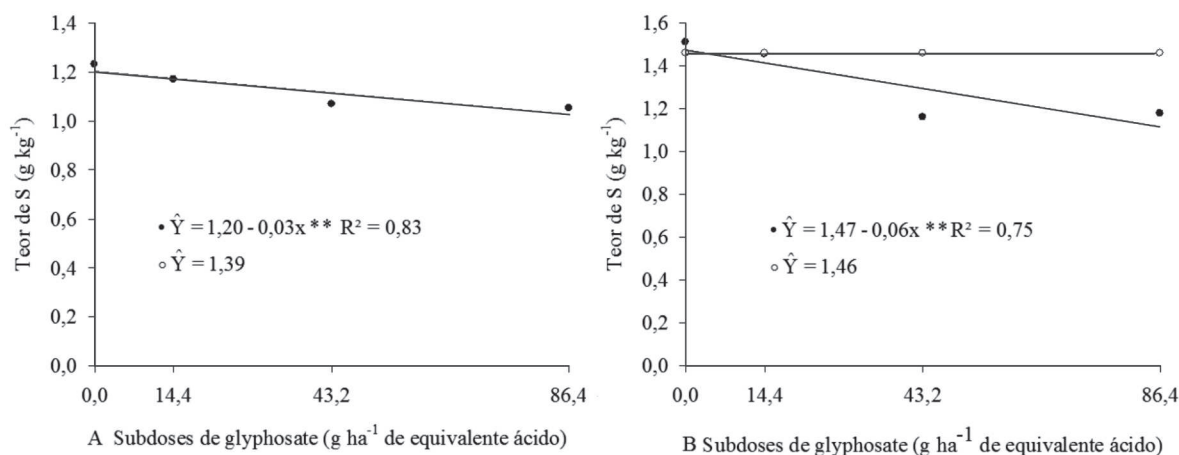


Figura 5: Teor de enxofre (S) na folha do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L) cv. Pérola aos 10 dias após a aplicação (DAA) (●) e aos 20 DAA (○), submetido à deriva de subdoses de glyphosate. Média de 2 solos (A) e Neossolo (B).

tivamente aos demais. O teor de Ca (10,25 g kg⁻¹) nessa subdose foi inferior a faixa relatada por Malavolta *et al.*, (1997).

O teor foliar de Mg foi reduzido pelas subdoses de glyphosate aos 10 DAA e 20 DAA. A maior redução foi observada para a maior subdose aplicada aos 20 DAA, em que houve redução de 33,71% no teor de Mg. No entanto, mesmo nessa condição, o teor de Mg se encontrava dentro da faixa adequada de 4 a 7 g kg⁻¹ descrita por Malavolta *et al.*, (1997).

Cakmak *et al.*, (2009) observaram que o glyphosate mesmo em subdoses muito pequenas influenciou a nutrição mineral da soja. Os autores observaram que subdoses de 0,864; 2,88; 8,64 g ha⁻¹ de glyphosate reduziram os teores de Ca em folhas novas e de Mg em folhas novas e maduras da soja. Segundo esses autores, o efeito antagônico entre glyphosate e o Ca e Mg se deve à formação de complexos estáveis insolúveis entre o glyphosate e esses cátions. Isto pode ocorrer, porque, o glyphosate possui grupos químicos com elevada afinidade por metais (Barja *et al.*, 2001; Undabeytia *et al.*, 2002), o que possibilita a formação desses complexos que também podem ser formados nos tecidos vegetais (De Ruiter *et al.*, 1996). Assim, o acúmulo do glyphosate em raízes e partes jovens das plantas poderia limitar a translocação de nutrientes metálicos para a parte aérea, devido à formação de tais complexos (Eker *et al.*, 2006) imobilizando-os nesses tecidos (Cakmak *et al.*, 2009).

O teor foliar de S foi reduzido pelas subdoses de glyphosate aos 10 DAA independentemente do tipo de solo utilizado. Aos 20 DAA as subdoses de glyphosate somente influenciaram negativamente o teor de S nas folhas do feijoeiro quando cultivado no Neossolo. A maior subdose aplicada reduziu em 15% o teor de S no Argissolo e em 25% no Neossolo aos 10 DAA.

Partindo do pressuposto de que a aquisição de nutrientes depende da eficiência dos mecanismos de absorção e do volume de solo explorado pelas raízes, acredita-se que parte dos efeitos negativos causados pelo glyphosate na nutrição mineral do feijoeiro seja consequência de um possível menor crescimento radicular proporcionado pelo herbicida, pois o glyphosate é rapidamente translocado às raízes, onde inibe fortemente o crescimento e outros processos. Nesse sentido, trabalhos devem ser realizados para se investigar a influência do glyphosate no sistema radicular das culturas.

CONCLUSÕES

A massa seca de ramo e da parte aérea do feijão Pérola foram reduzidas pela deriva de glyphosate aos 20 DAA.

No feijoeiro cv. Pérola a deriva de glyphosate reduziu os teores foliares de N, P, K, Mg e S aos 10 DAA e de N, P, Ca e Mg aos 20 DAA.

REFERÊNCIAS

- Barbosa GF, Arf O, Nascimento MS, Buzetti S & Freddi OS (2010) Nitrogênio em cobertura e molibdênio foliar no feijoeiro de inverno. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 32:117-123.
- Barja BC, Herszage J & Afonso MS (2001) Iron (III) – phosphonate complexes. *Polyhedron*, 20:1821-1830.
- Bellaloui N, Reddy KN, Zablutowicz RM & Mengistu A (2006) Simulated glyphosate drift influences nitrate assimilation and nitrogen fixation in non-glyphosate-resistant soybean. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54:3357-3364.
- Bellaloui N, Zablutowicz RM, Reddy KN & Abel CA (2008) Nitrogen metabolism and seed composition as influenced by glyphosate application in glyphosate-resistant soybean. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56:2765-2772.
- Cakmak I, Yazici A, Tutus Y & Ozturk L (2009) Glyphosate reduced seed and leaf concentrations of calcium, manganese, magnesium, and iron in non-glyphosate resistant soybean. *European Journal of Agronomy*, 31:114-119.

- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento (2014) Observatório Agrícola. Indicadores da agropecuária, 1:17-29.
- De Ruiter H, Uffing A & Meinen E (1996) Influence of surfactants and ammonium sulphate on glyphosate phytotoxicity to quackgrass (*Elytrigia repens*). Weed Technology, 10:803-808.
- Dvoranen EC, Oliveira JR RS, Constatin J, Cavalieri SD & Blainski E (2008) Nodulação e crescimento de variedades de soja RR sob aplicação de glyphosate, fluasifop-p-butyl e fomesafen. Planta Daninha, 26:619-625.
- Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2009) Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2ª ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 627p.
- Eker S, Levent O, Yazici A, Erenoglu B, Römheld V & Cakmak I (2006) Foliar-applied glyphosate substantially reduced uptake and transport of iron and manganese in sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54:10019-10025.
- Ferreira DF (2011) Sisvar: a computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia, 35:1039-1042.
- Figueredo SS, Loeck AE, Rosenthal MD, Agostinetto D, Fontana LC & Rigoli RP (2007) Influência de doses reduzidas do glyphosate no tomateiro (*Lycopersicon esculentum*). Planta Daninha, 25:849-857.
- França AC, Freitas MAM, D'Antonino L, Fialho CMT, Silva AA, Reis MR & Ronchi CP (2010) Teores de nutrientes em cultivares de café arábica submetidos à deriva de glyphosate. Planta Daninha, 28:877-885.
- Fuchs MA, Geiger DR, Reynolds TL & Bourque JE (2002) Mechanisms of glyphosate toxicity in velvetleaf (*Abutilon theophrasti Medikus*). Pesticide Biochemistry and Physiology, 74:27-39.
- Harper JL, Jones M & Sackville-Hamilton NR (1991) The evolution of roots and the problems of analysing their behaviour. In: Atkinson D (Ed.) Plant root growth: an ecological perspective. Oxford, Blackwell, p. 03-22.
- Jackson ML (1965) Soil chemical analysis. New Jersey, Prentice Hall, 498p.
- Kruse ND, Michelangelo MT & Vidal AV (2000) Herbicidas Inibidores da EPSPs: Revisão de literatura. Revista Brasileira de Herbicidas, 1:139-146.
- Laitinen P, Ramo S & Siimes K (2007) Glyphosate translocation from plants to soil - does this constitute a significant proportion of residues in soil? Plant Soil, 300:51-60.
- Lundager Madsen HE, Christensen HH & Gottlieb-Petersen C (1978) Stability Constants of Copper(II), Zinc, Manganese(II), Calcium, and Magnesium Complexes of N-(Phosphonomethyl) glycine (Glyphosate). Acta Chemica Scandinavica A, 32:79-83.
- Lunkes JA, Silva JB, Andrade MJB & Karam D (1998) Efeito de subdoses de Glyphosate simulando Deriva sobre a cultura do feijão. Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente, 8:127-148.
- Malavolta E, Vitti GC & Oliveira SA (1997) Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações. 2ª ed. Piracicaba, Potafos, 319p.
- Motekaitis RJ & Martell AE (1985) Metal chelate formation by N-phosphonomethylglycine and related ligands. Journal of Coordination Chemistry, 14:2:139-14.
- Pereira MRR, Rodrigues ACP, Costa NV, Martins D, Klar AE & Silva MR (2010) Efeito da deriva de glyphosate sobre algumas características fisiológicas em plantas de eucalipto. Intersciencia, 35:279-283.
- Reddy KN, Rimando AM, Duke SO & Nandula VK (2008) Aminomethylphosphonic Acid Accumulation in Plant Species Treated with Glyphosate. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56:2125-2130.
- Santos JB, Ferreira EA, Reis MR, Silva AA, Fialho CMT & Freitas MAM (2007) Avaliação de formulações de glyphosate sobre soja Roundup Ready. Planta Daninha, 25:165-171.
- Schroder EP, Pinto JJO & Baptista da Silva J (2000) Avaliação de pulverizações aéreas dos herbicidas sulfosate e glyphosate. In: 22º Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, Foz do Iguaçu. Resumos, Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas daninhas. p.478.
- Service RF (2007) A growing threat down on the farm. Science, 316:1114-1117.
- Silva JC, Art O, Gerlach GAX, Kuryiama CS & Rodrigues RAF (2012) Efeito hormese de glyphosate em feijoeiro. Pesquisa Agropecuária Tropical, 42:295-302.
- Teruel DA, Neto DD, Hopmans JW & Reichardt K (2001) Alterações estruturais do sistema radicular de soja em resposta à disponibilidade de fósforo no solo. Scientia Agricola, 58:55-60.
- Tuffi Santos LD, Siqueira CH, Barros NF, Ferreira FA, Ferreira LR & Machado AFL (2007) Crescimento e concentração de nutrientes na parte aérea de eucalipto sob efeito de deriva do glyphosate. Cerne, 13:347-352.
- Undabeytia T, Morillo E & Maqueda C (2002) FTIR study of glyphosate-copper complexes. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 50:1918:1921.
- Velini ED, Alves E, Godoy MC, Meschede DK, Souza RT & Duke SO (2008) Glyphosate applied at low subdoses can stimulate plant growth. Pest Management Science, 64:489-496.
- Zanatta JF, Procópio SO, Manica R, Pauleto EA, Cargnelutti Filho A, Vargas L, Sganzerla DC, Rosenthal MDA & Pinto JJO (2007) Teores de água no solo e eficácia do herbicida glyphosate no controle de *Euphorbia heterophylla*. Planta Daninha, 25:799-811.
- Zablotowicz RM & Reddy KN (2007) Nitrogenase activity, nitrogen content, and yield responses to glyphosate in glyphosate-resistant soybean. Crop Protection, 26:370-376.
- Zobiolo LHS, Oliveira RS, Huber DM, Constantim J, Castro C, Oliveira FA, Oliveira Jr A (2010) Glyphosate reduces shoot concentrations of mineral nutrients in glyphosate-resistant soybeans. Plant Soil, 328:57-69.