

# RESPOSTA DIFERENCIAL DAS CULTURAS DE MILHO RR E SOJA RR À EXPOSIÇÃO A GLYPHOSATE E ADUBAÇÃO FOSFATADA<sup>1</sup>

*Differential Response of Corn and Soybean RR Crops to Exposure to Glyphosate and Phosphate Fertilization*

CARVALHO, L.B.<sup>2</sup>, PEREIRA, M.D.C.<sup>2</sup>, BORGES, P.E.V.<sup>2</sup>, SILVA, F.J.<sup>2</sup> e COSTA, F.R.<sup>2</sup>

**RESUMO** - A adubação fosfatada pode influenciar a resposta das culturas tolerantes ao glyphosate em razão de a absorção ativa do herbicida ser mediada por carreadores de fosfato. O objetivo desta pesquisa foi analisar características de crescimento de plantas de milho RR e soja RR quando submetidas à aplicação de glyphosate e de adubo fosfatado. O primeiro experimento foi realizado variando as doses de glyphosate (720 a 1.440 g e.a. ha<sup>-1</sup>) e de superfosfato triplo (54 a 162 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) adicional à adubação recomendada. O segundo experimento foi realizado variando as mesmas doses de glyphosate e com adubação fosfatada (162 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) ou não, mantendo-se a testemunha sem aplicação do herbicida e do adubo. Para ambas as culturas, altura e massa seca foram influenciadas pelos tratamentos, e o número de folhas não foi afetado. A resposta das plantas de milho e soja, quanto à altura e à massa seca, foi contrária com a aplicação de glyphosate e de superfosfato triplo; enquanto o crescimento das plantas de soja foi afetado negativamente, plantas de milho aumentaram seu crescimento quando expostas ao glyphosate em substrato com elevada adubação fosfatada (162 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

**Palavras-chave:** N-(fosfonometil)glicina, *Zea mays*, *Glycine max*.

**ABSTRACT** - Phosphorus fertilization can influence the response of glyphosate tolerant crops due to herbicide active absorption is mediated by phosphate carrier. The objective of this research was to analyze growth characteristics of maize RR and soybean RR submitted to spraying glyphosate and application of phosphorus fertilizer. A first experiment was carried out varying glyphosate doses (720 up to 1,440 g e.a. ha<sup>-1</sup>) and triple superphosphate (54 up to 162 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) added to the recommended fertilization. A second experiment was carried out varying the same glyphosate doses and with or without phosphorus fertilization (162 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>). For both crops, plant height and dry mass were influenced by the treatments, while the number of leaves was not affected for both crops. The response of maize and soybean plants, in relation to height and dry mass, was inverse, by spraying glyphosate and applying triple superphosphate; while soybean growth was affected negatively by glyphosate exposure under substrate with high level of phosphorus fertilization (162 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), while maize plant growth increased.

**Keywords:** N-(phosphonomethyl)glycine, *Zea mays*, *Glycine max*.

## INTRODUÇÃO

Culturas transgênicas podem apresentar resposta diferencial à aplicação do herbicida ao qual é tolerante, inclusive evidenciando efeitos de intoxicação por esse produto. Em soja

tolerante ao glyphosate (soja RR), há relatos de redução da assimilação de nutrientes (Bailey et al., 2002; Bott et al., 2008; Cakmak et al., 2009; Zobiolo et al., 2010a, 2012), redução da taxa fotossintética (Zobiolo et al., 2010a, 2012), alteração na composição química

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 20.3.2015 e aprovado em 11.8.2015.

<sup>2</sup> Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages-SC, Brasil, <leonardo.carvalho@udesc.br>.



das sementes (Zobiolo et al., 2010b) ou mesmo aumento na incidência de doenças (Bott et al., 2008; Yamada et al., 2009; Zobiolo et al., 2010a), entre outros. Em milho tolerante ao glyphosate (milho RR), apesar de poucos estudos, o efeito do glyphosate parece não ser expressivo (Ridley et al., 2002; Duke et al., 2012).

O herbicida glyphosate, inibidor da enzima 5-enol-piruvil-shiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS), é absorvido ativamente através de carreadores de fosfato presentes na plasmalema, com capacidade de inibir o transporte de fosfato através da plasmalema, atuando como competidor pelo sítio ativo do carreador; a expressão do gene associado a esse transportador pode alterar a eficiência com que o glyphosate é absorvido (transportado do apoplasto para o simplasto) e translocado pela planta (Denis & Delrot, 1993; Morin et al., 1997). As informações sobre o transporte do glyphosate em membranas são restritas, porém a dependência de proteínas de transporte de fosfato cria várias interfaces entre o conhecimento do glyphosate e a nutrição de plantas. Segundo Tan et al. (2006), acredita-se que existe competição entre o glyphosate e o fosfoenolpiruvato (PEP) pelo sítio ativo da EPSPS. Dessa maneira, qualquer evento que não permita ao glyphosate ser transportado para dentro do citoplasma poderá impedir que o herbicida atinja seu sítio de ação (enzima EPSPS) e reduzir sua fitotoxicidade (Hetherington et al., 1998). Portanto, supõe-se que quando a disponibilidade de fósforo no solo é alta, como em condições de adubação fosfata suplementar, a eficiência com que o herbicida glyphosate é absorvido através da plasmalema pode ser reduzida, diminuindo sua eficácia.

A resposta da planta à aplicação de glyphosate e adubo fosfatado pode ainda ter influência, em parte, do efeito do herbicida no solo. Há interação entre a adubação fosfatada e o comportamento do glyphosate no solo (Sasal et al., 2015), além de haver evidências da interação entre o glyphosate e o fósforo do solo sobre a ação do herbicida nas plantas (Clua et al., 2012). Savin et al. (2009) observaram alteração significativa na infecção por fungos micorrízicos arbusculares em soja, milho e algodão, resistentes ao glyphosate, submetidos à adubação fosfatada ou não, em solos pobres

em fósforo; no entanto, essa alteração pode ser dependente de outras na microbiota do solo, por influência de outros fatores. Bott et al. (2011) relatam a possibilidade de remobilização do glyphosate do solo influenciada pelo seu potencial de fixação no solo. Pasaribu et al. (2013) observaram efeitos similares aos supracitados em plantas de amendoim, evidenciando que a dose do herbicida aplicado influencia significativamente na resposta da planta. Beltrano et al. (2013) concluíram que as micorrizas aumentam a tolerância de plantas de pimenta a altas concentrações de glyphosate no substrato.

A hipótese levantada é de que o crescimento inicial de plantas de milho RR e soja RR submetidas à aplicação de glyphosate é dependente da aplicação de fósforo no solo. O objetivo desta pesquisa foi analisar características de crescimento de plantas de milho RR e soja RR quando submetidas à aplicação de glyphosate e de adubo fosfatado.

## MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos em vasos de plástico com capacidade para 7 L, durante a primavera-verão de 2013, em Lages, SC, utilizando plantas de milho híbrido 30F53RR e soja CD2585RR, na densidade de uma planta por vaso. As plantas foram mantidas em condições ambientes, com temperaturas médias de 11 °C (mínima) e 20 °C (máxima) e umidade relativa média de 83%. O substrato utilizado foi coletado de solo com as seguintes características: 54% de argila; 3,8% de MO; pH (água) = 5,1; SMP = 5,0; teores de P, Na e K de 2,9, 10 e 80 mg dm<sup>3</sup>, respectivamente; teores de Ca, Mg, Al, H+Al e CTC<sub>efetiva</sub> de 4,63, 3,49, 1,36, 13,70 e 9,68 cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup>, respectivamente; e saturação por Al e bases de 14,05 e 37,80%, respectivamente. A correção da acidez do solo e a adubação foram feitas com base em recomendação da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS, 2004). O substrato foi irrigado sempre que necessário, mantendo-se a umidade próxima à capacidade de campo.

O primeiro experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, arranjado no esquema fatorial 2 x 3 x 3, com seis repetições. No fator A foram alocadas as



culturas (milho RR e soja RR); no fator B, as doses de glyphosate: 720, 1.080 e 1.440 g ha<sup>-1</sup> de equivalente ácido (e.a.); e no fator C, a aplicação de superfosfato triplo (SFT – 45% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) nas doses de 54, 108 e 162 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. O glyphosate utilizado foi o sal de isopropilamina, na concentração de 360 g L<sup>-1</sup> de equivalente ácido.

O segundo experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, arranjado no esquema fatorial 2 x 3 + 1, com oito repetições. No fator A foi alocada a aplicação ou não do superfosfato triplo na dose de 162 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, e no fator B, as doses do glyphosate (720, 1.080 e 1.440 g e.a. ha<sup>-1</sup>), mantendo-se uma testemunha sem aplicação de adubo e herbicida. Este experimento foi conduzido separadamente para cada uma das culturas estudadas.

O glyphosate foi aplicado aos 21 dias após a emergência (DAE) das plantas de milho e de soja, com pulverizador costal pressurizado com CO<sub>2</sub> à pressão de 200 kPa, munido de barra de pulverização com quatro pontas tipo leque TeeJet 80.02 VS, calibrado para aspergir o volume de calda de 200 L ha<sup>-1</sup>.

Aos 60 DAE, as plantas foram seccionadas rente ao solo, separadas em colmo (milho) ou caule (soja) e folhas (milho) ou trifólios (soja), e postas para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por uma semana. O material seco foi pesado em balança semianalítica (0,01 g), para determinação da massa seca de colmo/caule, folhas/trifólios e total (colmo + folhas ou caule + trifólios). A massa seca foi determinada em ambos os experimentos. No segundo, antes do corte das plantas, houve ainda determinação da altura da planta (régua graduada em milímetros) e do número de folhas – milho ou trifólios – soja (contagem direta).

Os dados foram submetidos à análise de variância (teste F). No primeiro experimento, foram ajustadas curvas de regressão não linear quadrática aos dados médios de massa seca de colmo ou caule, folhas ou trifólios e total. No segundo experimento, os dados foram submetidos ao teste de Dunnett, para comparar os tratamentos isolados com a testemunha, e ao teste de Tukey, para comparar as médias dos tratamentos (desconsiderando a

testemunha). O nível de significância adotado em cada análise foi de 5%. As análises de variância e os testes de comparação de médias foram realizados no programa computacional Statistica® (Statsoft, versão 8.0, EUA), e as análises de regressão, no programa computacional SigmaPlot (SystatSoft, versão 10.0, EUA).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No experimento 1, a análise de variância foi significativa (P < 0,05) para a interação dos três fatores estudados, indicando que plantas de milho e soja responderam de maneira diferenciada quando expostas ao herbicida glyphosate em diferentes doses e níveis de SFT (dados não apresentados). As curvas de regressão ajustadas foram do modelo não linear quadrático, com alto coeficiente de determinação (R<sup>2</sup> = 0,99) e significância (P < 0,01) (Tabela 1).

Para a cultura do milho, a aplicação de 720 e 1.080 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate em plantas adubadas com 162 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> proporcionou maior acúmulo de massa seca, em comparação às plantas adubadas com 54 e 108 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Figura 1). No entanto, a aplicação de 1.440 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate em plantas adubadas com 162 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> proporcionou menor acúmulo de massa seca em relação àquelas plantas com 54 e 108 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Os maiores acúmulos de massa seca foram observados quando se aplicaram 1.440 g e.a. a<sup>-1</sup> de glyphosate em plantas adubadas com 108 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (23,42 g por planta) e 162 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (23,25 g por planta). Os resultados evidenciam que, em doses de até 1.440 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate, o aumento na dose de SFT na semeadura proporcionou menor intoxicação das plantas de milho; contudo, quando se usou dose alta de glyphosate (1.440 g e.a. ha<sup>-1</sup>), aumentou a intoxicação do milho, proporcionando menor acúmulo de massa seca.

No tocante à cultura da soja, a aplicação de 720 e 1.080 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate em plantas adubadas com 162 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> proporcionou maior acúmulo de massa seca em comparação às plantas adubadas com 54 e 108 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Figura 1). No entanto, a aplicação de 1.440 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate em



**Tabela 1** - Parâmetros da equação de regressão<sup>1/</sup> utilizada para determinar a relação da massa seca da parte aérea de plantas de milho RR e soja RR com o aumento na dose de glyphosate, sal de isopropilamina (360 g L<sup>-1</sup> de equivalente ácido), para cada dose de adubo fosfatado<sup>2/</sup>

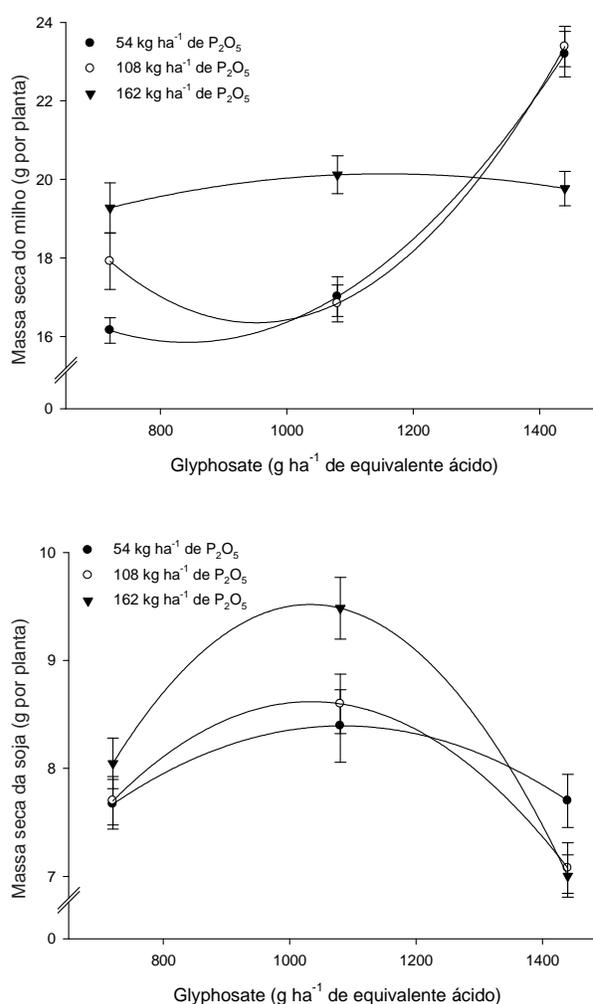
Equação <sup>1/</sup>	Doses de fosfato (kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) <sup>2/</sup>					
	54	108	162	54	108	162
	Milho RR			Soja RR		
y <sub>0</sub>	30,374	42,889	14,033	1,966	-1,347	-6,575
a	-12,422	-20,098	3,818	4,269	6,941	11,227
b	2,657	3,805	-0,594	-0,709	-1,209	-1,958
R <sup>2</sup>	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
P	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01

<sup>1/</sup> Equação polinomial:  $y = y_0 + ax + bx^2$ . <sup>2/</sup> Superfosfato triplo (45% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>): 120 kg ha<sup>-1</sup> (54 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 240 kg ha<sup>-1</sup> (108 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 360 kg ha<sup>-1</sup> (162 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

plantas adubadas com 108 e 162 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> proporcionou menor acúmulo de massa seca em relação àquelas adubadas com 54 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. O maior acúmulo de massa seca foi estimado quando se aplicaram 1.044 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate em plantas adubadas com 162 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (9,52 g por planta). Os resultados evidenciam que, em doses de até 1.080 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate, o aumento na dose de SFT na semeadura proporcionou menor intoxicação das plantas de soja; entretanto, quando se usou dose alta de glyphosate (1.440 g e.a. ha<sup>-1</sup>), aumentou a intoxicação da soja, proporcionando menor acúmulo de massa seca.

No experimento 2, para a cultura do milho, não houve efeito dos tratamentos sobre o número de trifólios e, para altura de plantas, apenas o efeito isolado do herbicida foi observado (Tabela 2). Em média, a testemunha sem aplicação de SFT e glyphosate apresentou altura menor em 3,6%, quando comparada às plantas submetidas ao tratamento com 720 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate, não sendo observado esse efeito nas doses de 1.080 e 1.440 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate. Nesse caso, a dose de 720 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate proporcionou aumento na altura da planta. O número de folhas não foi influenciado pela aplicação de SFT e do glyphosate, mostrando valores médios de 10 a 11 unidades foliares.

Houve ainda, para a cultura do milho, interação significativa entre os fatores testados para a massa seca de colmo, folhas e total (Tabela 2). Sem aplicação de SFT, a massa seca das folhas variou de 6,43 a 7,37 g por planta,



**Figura 1** - Massa seca da parte aérea de plantas de milho RR e soja RR cultivadas sob diferentes níveis de adubação fosfatada (superfosfato triplo com 45% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e submetidas à aplicação de diferentes doses de glyphosate, sal de isopropilamina (360 g L<sup>-1</sup> de equivalente ácido).

não havendo diferença entre as doses de glyphosate (Tabela 3). Com aplicação de SFT, a massa seca das folhas (9,23 g por planta) de plantas expostas à dose de 1.080 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate foi maior que nas plantas expostas à dose de 720 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate, que acumularam 7,86 g por planta. Tanto a aplicação de SFT quanto a dose de glyphosate proporcionaram diferenças na massa seca do colmo. A dose de 1.440 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate proporcionou o menor acúmulo de massa seca do caule (1,85 g por planta) sem a aplicação de SFT, enquanto a dose de 1.080 g e.a. ha<sup>-1</sup>, em plantas adubadas com SFT, proporcionou o maior acúmulo de massa seca (3,54 g por planta). Para massa seca total sem SFT, o

comportamento foi similar ao da massa seca do colmo, ao passo que, com aplicação de SFT, foi similar ao da massa seca das folhas. Sem aplicação de SFT, a massa seca total (8,28 g por planta) de plantas expostas à dose de 1.440 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate foi menor, enquanto a dose de 1.080 g e.a. ha<sup>-1</sup>, associada à aplicação de SFT, proporcionou o maior acúmulo de massa (12,77 g por planta) das plantas de milho.

No tocante à cultura da soja, o número de trifólios (sete a oito unidades) não foi influenciado significativamente pela aplicação de glyphosate e/ou de SFT (Tabela 4), assim como o número de folhas do milho não o foi

**Tabela 2** - Características de crescimento de plantas de milho RR, adubadas ou não com adubo fosfatado (SFT)<sup>1/</sup> na semeadura, após aplicação de diferentes doses de glyphosate, sal de isopropilamina (360 g L<sup>-1</sup> de equivalente ácido)

Tratamento <sup>1/2/</sup>	Altura <sup>3/</sup> (mm)	Trifólios <sup>3/</sup> (unidade)	MS Folhas <sup>3/4/</sup> (g por planta)	MS Caule <sup>3/4/</sup> (g por planta)	MS Total <sup>3/4/</sup> (g por planta)
Testemunha	779	10	6,73	2,23	8,96
Sem SFT	791*	10 <sup>ns</sup>	6,90 B <sup>ns</sup>	2,46 B <sup>ns</sup>	9,36 B <sup>ns</sup>
Com SFT	789*	11 <sup>ns</sup>	8,49 A*	3,27 A*	11,76 A*
720 g e.a. ha <sup>-1</sup>	807 A*	10 <sup>ns</sup>	7,62*	2,98 A*	10,59 AB*
1.080 g e.a. ha <sup>-1</sup>	780 B <sup>ns</sup>	10 <sup>ns</sup>	8,05*	3,07 A*	11,13 A*
1.440 g e.a. ha <sup>-1</sup>	783 B <sup>ns</sup>	10 <sup>ns</sup>	7,41*	2,55 B*	9,96 B*
F <sub>SFT</sub>	0,06	4,27	57,87	88,51	126,30
P <sub>SFT</sub>	0,82	0,06	<0,01	<0,01	<0,01
F <sub>GLYPHOSATE</sub>	3,74	0,08	3,29	13,98	9,99
P <sub>GLYPHOSATE</sub>	0,04	0,93	0,06	<0,01	<0,01
F <sub>INTERAÇÃO</sub>	0,51	0,87	7,28	19,87	18,27
P <sub>INTERAÇÃO</sub>	0,61	0,44	<0,01	<0,01	<0,01

<sup>1/</sup> SFT = superfosfato triplo (45% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>): 120 kg ha<sup>-1</sup> (54 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 240 kg ha<sup>-1</sup> (108 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 360 kg ha<sup>-1</sup> (162 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). <sup>2/</sup> Testemunha indica tratamento sem aplicação de superfosfato triplo e de glyphosate. <sup>3/</sup> Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; \* e <sup>ns</sup> expressam significância e não significância, respectivamente do teste de Dunnett a 5% de probabilidade para comparações com a testemunha. <sup>4/</sup> Características com interação entre doses de glyphosate e aplicação ou não de superfosfato triplo, cujos desdobramentos estão devidamente descritos na Tabela 3.

**Tabela 3** - Massa seca de folhas, colmo e total (folhas + colmo) de plantas de milho RR, referente ao desdobramento dos graus de liberdade da interação entre doses de glyphosate, sal de isopropilamina (360 g L<sup>-1</sup> de equivalente ácido), e aplicação de adubo fosfatado (SFT)<sup>1/</sup>

Glyphosate (g e.a. ha <sup>-1</sup> )	MS Folhas <sup>2/</sup>		MS Colmo <sup>2/</sup>		MS Total <sup>2/</sup>	
	Sem SFT	Com SFT	Sem SFT	Com SFT	Sem SFT	Com SFT
720	7,37 Aa	7,86 BCa	2,93 Aa	3,02 BCa	10,30 Aa	10,88 BCa
1.080	6,88 Ab	9,23 Aa	2,60 Ab	3,54 Aa	9,49 Ab	12,77 Aa
1.440	6,43 Ab	8,39 ABa	1,85 Bb	3,25 Ba	8,28 Bb	11,64 ABa

<sup>1/</sup> SFT = superfosfato triplo (45% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>): 120 kg ha<sup>-1</sup> (54 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 240 kg ha<sup>-1</sup> (108 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 360 kg ha<sup>-1</sup> (162 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). <sup>2/</sup> Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



**Tabela 4** - Características de crescimento de plantas de soja RR, adubadas ou não com adubo fosfatado (SFT)<sup>1/</sup> na semeadura, após aplicação de diferentes doses de glyphosate, sal de isopropilamina (360 g L<sup>-1</sup> de equivalente ácido)

Tratamento <sup>1/2/</sup>	Altura <sup>3/</sup> (mm)	Trifólios <sup>3/</sup> (unidade)	MS Trifólios <sup>3/4/</sup> (g por planta)	MS Caule <sup>3/4/</sup> (g por planta)	MS Total <sup>3/4/</sup> (g por planta)
Testemunha	347	8	1,56	0,87	2,43
Sem SFT	318*	7 <sup>ns</sup>	1,10*	0,66 A*	1,76*
Com SFT	309*	7 <sup>ns</sup>	1,06*	0,57 B*	1,63*
720 g e.a. ha <sup>-1</sup>	344 A <sup>ns</sup>	7 <sup>ns</sup>	1,37 A*	0,73 A*	2,09 A*
1.080 g e.a. ha <sup>-1</sup>	312 AB*	7 <sup>ns</sup>	1,01 B*	0,62 B*	1,63 B*
1.440 g e.a. ha <sup>-1</sup>	285 B*	7 <sup>ns</sup>	0,87 C*	0,50 C*	1,36 C*
F <sub>SFT</sub>	1,81	0,37	0,75	13,22	4,08
P <sub>SFT</sub>	0,19	0,55	0,40	<0,01	0,06
F <sub>Glyphosate</sub>	29,58	1,28	43,09	32,04	47,62
P <sub>Glyphosate</sub>	<0,01	0,30	<0,01	<0,01	<0,01
F <sub>Interação</sub>	1,03	0,28	5,44	6,37	6,13
P <sub>Interação</sub>	0,38	0,76	0,01	<0,01	<0,01

<sup>1/</sup> SFT = superfosfato triplo (45% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>): 120 kg ha<sup>-1</sup> (54 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 240 kg ha<sup>-1</sup> (108 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 360 kg ha<sup>-1</sup> (162 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). <sup>2/</sup> Testemunha indica tratamento sem aplicação de superfosfato triplo e de glyphosate. <sup>3/</sup> Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; \* e <sup>ns</sup> expressam significância e não significância, respectivamente, do teste de Dunnett a 5% de probabilidade, para comparações com a testemunha. <sup>4/</sup> Características com interação entre doses de glyphosate e aplicação ou não de superfosfato triplo, cujos desdobramentos estão devidamente descritos na Tabela 5.

**Tabela 5** - Massa seca de trifólios, caule e total (trifólios + caule) de plantas de soja RR, referente ao desdobramento dos graus de liberdade da interação entre doses de glyphosate, sal de isopropilamina (360 g de equivalente ácido por litro), e aplicação de adubo fosfatado (SFT)<sup>1/</sup>

Glyphosate (g e.a. ha <sup>-1</sup> )	MS Trifólios <sup>2/</sup>		MS Caule <sup>2/</sup>		MS Total <sup>2/</sup>	
	Sem SFT	Com SFT	Sem SFT	Com SFT	Sem SFT	Com SFT
720	1,41 Aa	1,32 Aa	0,74 Aa	0,72 Aa	2,15 Aa	2,04 Aa
1.080	1,10 Ba	0,91 Ba	0,72 Aa	0,52 Ab	1,82 Aa	1,43 Bb
1.440	0,79 Ca	0,95 Ba	0,51 Ba	0,48 Ba	1,30 Ba	1,43 Ba

<sup>1/</sup> SFT = superfosfato triplo (45% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>): 120 kg ha<sup>-1</sup> (54 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 240 kg ha<sup>-1</sup> (108 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 360 kg ha<sup>-1</sup> (162 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). <sup>2/</sup> Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

(Tabela 3). No entanto, para as variáveis altura e massa seca de folhas, caules e total, verificou-se efeito significativo, reduzindo, em geral, os valores dessas variáveis quando as plantas de soja foram submetidas aos tratamentos. A altura de plantas foi menor quando se aplicaram doses de 1.080 e 1.440 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate (312 e 285 mm, respectivamente), independentemente da aplicação de SFT, comparando-se com a testemunha (347 mm). Para massa seca, doses a partir de 720 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate proporcionaram menor acúmulo de massa em folhas, caules e na parte aérea das plantas de soja, independentemente da aplicação de SFT. Além disso, em geral, a redução de massa seca foi maior

em doses mais altas de glyphosate (Tabela 5), evidenciando que as plantas de soja foram intoxicadas pelo glyphosate, mesmo possuindo tolerância a esse herbicida, apesar de não morrerem.

Casonatto et al. (2014) verificaram que a altura de plantas e a massa fresca e seca da parte aérea foram menores nas plantas que receberam as maiores doses de glyphosate e que a maior disponibilidade de fósforo no solo, em menores doses de glyphosate, proporcionou menores sintomas de intoxicação nas plantas de soja RR. Resultados similares foram observados por Clua et al. (2012) para altura, massa seca e área foliar de *Lotus corniculatus*.

Bott et al. (2008) observaram diminuição na alongação de raízes, além da redução de massa seca de soja RR exposta a glyphosate. A alongação de raízes, segundo Casonatto et al. (2014), pode limitar a absorção de nutrientes por plantas submetidas à aplicação de glyphosate, influenciando o crescimento e o desenvolvimento, com reflexos no acúmulo de biomassa, como observado neste estudo.

Serra et al. (2011) salientam que a redução na produção de massa seca de raízes e parte aérea pode ser explicada pela possível diminuição da fotossíntese quando o glyphosate é aplicado. Redução no teor de clorofila também foi observada (Ronco et al., 2008; Clua et al., 2012; Casonatto et al., 2014). De acordo com Taiz & Zeiger (2013), o fósforo é componente integral de compostos celulares importantes, incluindo açúcares-fosfato, que medeiam os processos de respiração e fotossíntese, fosfolípidios, componentes de membranas, e nucleotídeos usados como energia metabólica, como ATP. Assim, quando as plantas estão mais bem nutridas, principalmente de fósforo, o crescimento e o desenvolvimento são melhores e elas podem ser mais resistentes à injúria causada pelo glyphosate (Casonatto et al., 2014). Em complemento, Reddy et al. (2000) afirmam que o glyphosate afeta as culturas transgênicas, mesmo que possa ser absorvido e metabolizado pelas plantas, possivelmente, por alterar o metabolismo secundário vegetal, com redução na síntese de lignina, fitoalexinas e outros compostos importantes para o desenvolvimento e defesa vegetal.

Observou-se, neste trabalho, que a cultura da soja foi influenciada pela aplicação do glyphosate mesmo com aplicação de superfosfato triplo (que parece ter potencializado o efeito do herbicida nesta cultura). No milho, por sua vez, a resposta foi menos impactante: apenas nas doses mais altas de SFT e glyphosate houve diminuição expressiva no ganho de massa seca, em comparação às doses mais baixas de SFT. No entanto, quando se analisa a massa seca do milho, sempre que o glyphosate foi aplicado em plantas com SFT, o ganho de massa foi maior, o que não ocorreu com a soja. Assim, para o milho, a hipótese de que em plantas sob adubação mais alta em fósforo o efeito tóxico do glyphosate é mini-

mizado foi suportada pelos resultados obtidos, o que não ocorreu para a soja. Portanto, pode ser que haja interação negativa entre o teor de fósforo na planta e a aplicação de glyphosate, porém os resultados do experimento não permitem conclusões precisas.

Estudos suplementares devem ser feitos no sentido de monitorar o teor de fósforo na planta e no solo, para que se entenda o comportamento desse nutriente após aplicação do glyphosate e do SFT. Além disso, seria importante analisar a concentração de glyphosate dentro e fora da célula para se tentar correlacionar com o teor de fósforo. Por fim, a análise da atividade dos carreadores de fosfato poderia ser avaliada, a fim de compreender sua dinâmica quando as plantas estão expostas ao glyphosate e à alta adubação fosfatada. Com esses estudos, é provável que se possa explicar as diferenças de resposta entre as duas culturas analisadas, milho e soja, resistentes ao glyphosate.

Conclui-se que características de crescimento de plantas de milho RR e soja RR são influenciadas, de maneira contrária, pela aplicação de glyphosate e de superfosfato triplo. Enquanto plantas de soja RR têm seu crescimento afetado negativamente, plantas de milho RR aumentam seu crescimento inicial quando expostas ao glyphosate em substrato sob alta adubação fosfatada.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela concessão de bolsa de iniciação científica ao primeiro, terceiro e quarto autores, e à CAPES, pela concessão de bolsa de Doutorado à quinta autora.

## LITERATURA CITADA

BAILEY, W. A. et al. Glyphosate interactions with manganese. *Weed Technol.*, v. 16, n. 4, p. 792-799, 2002.

BELTRANO, J. et al. Changes in the accumulation of shikimic acid in mycorrhized *Capsicum annuum* L. grown with application of glyphosate and phosphorus. **Theor. Exper. Plant Physiol.**, v. 25, n. 2, p. 125-136, 2013.

BOTT, S. et al. Glyphosate-induced impairment of plant growth and micronutrient status in glyphosate-resistant soybean (*Glycine max* L.). **Plant Soil**, v. 312, n. 1, p. 185-194, 2008.



- BOTT, S. et al. Phytotoxicity of glyphosate soil residues remobilised by phosphate fertilization. **Plant Soil**, v. 342, n. 1-2, p. 249-263, 2011.
- CAKMAK, I. et al. Glyphosate reduced seed and leaf concentrations of calcium, manganese, magnesium, and iron in non-glyphosate resistant soybean. **Eur. J. Agron.**, v. 31, n. 3, p. 114-119, 2009.
- CASONATTO, M. S. et al. How glyphosate may affect transgenic soybean in different soil and phosphorus levels. **Planta Daninha**, v. 32, n. 4, p. 843-850, 2014.
- CLUA, A. et al. The effects of glyphosate on the growth of birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus*) and its interaction with different phosphorus contents in soil. **J. Agric. Sci.**, v. 4, n. 7, p. 208-218, 2012.
- DENIS, M. H.; DELROT, S. Carrier-mediated uptake of glyphosate in broad bean (*Vicia faba*) via a phosphate transporter. **Physiol. Plant.**, v. 87, n. 4, p. 569-575, 1993.
- DUKE, S. et al. Glyphosate effects on plant mineral nutrition, crop rhizosphere microbiota, and plant disease in glyphosate-resistant crops. **J. Agric. Food Chem.**, v. 60, n. 42, p. 10375-10397, 2012.
- HETHERINGTON, P. R. et al. Absorption and efflux of glyphosate by cell suspensions. **J. Exper. Bot.**, v. 49, n. 320, p. 527-533, 1998.
- MORIN, F. et al. Glyphosate uptake in *Catharanthus roseus* cells: role of a phosphate transporter. **Pestic. Biochem. Physiol.**, v. 58, n. 1, p. 13-22, 1997.
- PASARIBU, A. et al. Effect of herbicide on growth responses and phosphorus uptake by host plant in symbiotic association with VA mycorrhiza (*Glomus mosseae*). **J. Food Agric. Environ.**, v. 11, n. 2, p. 352-357, 2013.
- REDDY, K. N. et al. Effect of glyphosate on growth, chlorophyll content and nodulation in glyphosate-resistant soybeans (*Glycine max* varieties). **J. New Seeds**, v. 2, n. 1, p. 37-52, 2000.
- RIDLEY, W. P. et al. Comparison of the nutritional profile of glyphosate-tolerant corn event NK603 with that of conventional corn (*Zea mays* L.). **J. Agric. Food Chem.**, v. 50, n. 25, p. 7235-7243, 2002.
- RONCO, M. G. et al. Glyphosate and mycorrhization induce changes in plant growth and in root morphology and architecture in pepper plants (*Capsicum annuum* L.). **J. Hort. Sci. Biotechnol.**, v. 83, n. 4, p. 497-505, 2008.
- SASAL, M. C. et al. Glyphosate loss by runoff and its relationship with phosphorus fertilization. **J. Agric. Food Chem.**, v. 63, n. 18, p. 4444-4448, 2015.
- SAVIN, M. C. et al. Response of mycorrhizal infection to glyphosate applications and P fertilization in glyphosate-tolerant soybean, maize, and cotton. **J. Plant Nutr.**, v. 32, n. 10, p. 1702-1717, 2009.
- SERRA, A. P. et al. Influência do glifosato na eficiência nutricional do nitrogênio, manganês, ferro, cobre e zinco em soja resistente ao glifosato. **Ci. Rural**, v. 41, n. 1, p. 77-84, 2011.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – SBCS. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: 2004. 400 p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.
- TAN, S.; EVANS, R.; SINGH, B. Herbicidal inhibitors of amino acid biosynthesis and herbicide-tolerant crops. **Amino Acids**, v. 30, n. 2, p. 195-204, 2006.
- YAMADA, T. et al. Glyphosate interactions with physiology, nutrition, and diseases of plants: threat to agricultural sustainability. **Eur. J. Agron.**, v. 31, n. 3, p. 111-113, 2009.
- ZOBIOLE, L. H. S. et al. Glyphosate affects seed composition in glyphosate-resistant soybean. **J. Agric. Food Chem.**, v. 58, n. 7, p. 4517-4522, 2010b.
- ZOBIOLE, L. H. S. et al. Glyphosate effects on photosynthesis, nutrient accumulation, and nodulation in glyphosate-resistant soybean. **J. Plant Nutr.**, v. 175, n. 2, p. 319-330, 2012.
- ZOBIOLE, L. H. S. et al. Nutrient accumulation and photosynthesis in glyphosate-resistant soybeans is reduced under glyphosate use. **J. Plant Nutr.**, v. 33, n. 12, p. 1860-1873, 2010a.

