

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL

**RESPOSTAS DE HÍBRIDOS DE MILHO A SUB DOSES DE
GLYPHOSATE**

Luis Antonio Peñaherrera Colina

Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS

CAMPUS DE JABOTICABAL

**RESPOSTAS DE HÍBRIDOS DE MILHO A SUB DOSES DE
GLYPHOSATE**

Luis Antonio Peñaherrera Colina

Orientador Prof. Dr. Robinson Antonio Pitelli

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Junho de 2012

P397r Peñaherrera Colina, Luis Antonio
Respostas de híbridos de milho a sub doses de glyphosate. / Luis Antonio Peñaherrera Colina. -- Jaboticabal, 2012
v, 102 f. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2012

Orientador: Robinson Antonio Pitelli

Banca examinadora: Ricardo Victoria Filho, Itamar Ferreira de Souza, Silvano Bianco, Claudinei da Cruz

Bibliografia

1. Deriva. 2. Zea mays. 3. Herbicida. 4 Glyphosate. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.15:632.954

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

LUIS ANTONIO PEÑAHERRERA COLINA – Nascido em Babahoyo, província de Los Rios, Equador aos 13 de setembro de 1967, filhado de Luis Peñaherrera Rodrigues e Amélia Colina Gonzalvo. Formou-se como Engenheiro Agrônomo pela Facultad de Ciências Agrícolas da Universidad Técnica de Babahoyo em 1992. Ingressou no Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuárias como bolsista no Departamento Nacional de Protección Vegetal, Sección-Malezas da Estación Experimental “Boliche” no ano 1990. cursou estudos de Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal) na Universidade Federal de Lavras, MG em 2003. Iniciou curso de Doutorado em Agronomia na área de Produção Vegetal no Campus Jaboticabal da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista, UNESP em 2009. Atualmente cursa o Doutorado no Campus Jaboticabal. Atua na pesquisa de eficácia de herbicidas e manejo de plantas daninhas pelo Departamento Nacional de Protección Vegetal na Estación Experimental Litoral Sur “Dr. Enrique Ampuero Pareja” do Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuárias no Equador.

“Esforço, Sacrifício e Dedicção, são os únicos caminhos que conduzem até o
Sucesso”

Anônimo.

DEDICO

Aos meus pais Amélia e Luis (†), pelo exemplo;

Às minhas filhas Nairobi, Naomi e Nohely, pelo tempo e distancia;

À minha esposa Gina, pelo amor e paciência;

Aos meus irmãos Ketty, Luisa, Brenda Soledad e Santiago pelo apoio.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuárias na pessoa do Sr. Dr. Julio Delgado Arce por ter-me oferecido a oportunidade de me formar e especializar,

À Universidade Estadual Paulista por ter aberto as portas e me recebido no curso de Agronomia-Produção Vegetal,

Ao Prof. Dr. Robinson Antonio Pitelli por ter aceitado o desafio de me orientar, pelo ensino e conselhos,

Aos Membros da Banca Examinadora de Qualificação Prof. Domingos Fornasieri Filho, Prof. Pedro L.C.A. Alves, Prof. Claudinei da Cruz e Prof. Silvano Bianco por sua valiosa contribuição.

Aos membros da Banca Examinadora de Defesa de Tese Prof. Claudinei da Cruz, Prof. Itamar Ferreira de Souza, Prof. Ricardo Victoria Filho e Prof. Silvano Bianco pelas sugestões feitas.

Ao Dr. Claudinei da Cruz pelo ajuda e valiosos conselhos no desenvolvimento deste trabalho,

Ao Prof. Dr. Pedro Luiz da Costa Aguiar Alves pela ajuda, ensino e conselhos dados no decorrer do curso e conclusão deste trabalho,

Aos amigos Ronaldo e Alexandre, pela grande ajuda durante o desenvolvimento deste trabalho,

Aos colegas e amigos do NEPEAM Patrícia, Aline, Naiara, Cristhina, Taise, Cynthia, Antonio, Adilson, Edson, Roberto pela amizade e apoio oferecido.

SUMARIO

	Página
INTRODUÇÃO	1
Objetivo	2
REVISSÃO BIBLIOGRÁFICA	3
MATERIAL E MÉTODOS	12
Experimentos iniciais de simulação de deriva	12
Experimentos dose-resposta	14
RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
Experimentos iniciais de simulação de deriva	16
Experimentos dose-resposta	46
CONCLUSÕES	94
REFERÊNCIAS	95

RESPOSTAS DE HÍBRIDOS DE MILHO A SUB DOSES DE GLYPHOSATE.

RESUMO - A deriva de produtos fitossanitários e os efeitos sobre culturas-não-alvo são grandes preocupações na agricultura moderna, especialmente com produtos herbicidas que promovem efeitos com quantidades muito pequenas. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de sub doses de glyphosate sobre seis híbridos de milho (*Zea mays*). Para tanto, foram conduzidos dois experimentos iniciais (Experimentos 01 e 02), com seis híbridos (Celeron, Fórmula, Impacto, Maximus, Speed e Status) e seis doses do herbicida glyphosate (formulação Roundup Ready®). No primeiro experimento foram avaliados os efeitos das doses 0, 25, 50, 75, 100 e 125 g e.a ha⁻¹ e, no segundo experimento, as doses de 0, 100, 125, 150, 175 e 200 g e.a ha⁻¹. Para avaliação de dose resposta um terceiro experimento (Experimento 03) foi conduzido com as doses de 0, 40, 80, 120, 160 e 200 g e.a ha⁻¹ de glyphosate (Roundup Ready®) para os seis híbridos. Um quarto experimento (Experimento 04), também do tipo dose-resposta, envolvendo dois híbridos (Status e Impacto), as doses 0, 40, 80, 120, 160 e 200 g e.a ha⁻¹ de glyphosate e as formulações Roundup Ready®, Roundup WG® e Zapp QI®. As plantas de milho foram cultivadas em vasos com mistura de terra, areia e esterco e a aplicação do glyphosate sempre ocorreu em plantas no estágio de quatro folhas totalmente expandidas. No experimento 01 foram avaliadas as variáveis fotossintéticas, morfológicas e nutricionais nos tratamentos com maior efeito tóxico. No experimento 02 incluiu-se altura das plantas na avaliação. Nos experimentos 03 e 04 foram avaliadas apenas variáveis morfológicas. A atividade fotossintética aos 7 DAA foi favorecida pela aplicação de glyphosate em doses de até 50 g e.a ha⁻¹ apenas nos híbridos Impacto e Fórmula. O híbrido Celeron apresentou maior acúmulo de área foliar, massa seca de caule e de folha quando comparada com os demais híbridos e as doses de até 50 g e.a ha⁻¹ de glyphosate favoreceram este desempenho. Os híbridos comportaram-se de forma diferenciada na assimilação e concentração dos nutrientes: Os híbridos Status e Fórmula para fósforo; Maximus e Status para potássio, Maximus e Impacto para cálcio; Impacto para magnésio e Fórmula para enxofre e manganês. As doses de 125 g e.a ha⁻¹ de glyphosate promoveram maior acúmulo de N, P, B, Cu e Fe. Doses maiores, entre

100 e 150 g e.a ha⁻¹ de glyphosate afetaram de forma severa o desenvolvimento da cultura, porém sem provocar a morte das plantas; em tanto que doses de 175 e 200 g e.a ha⁻¹ promoveram a morte. Na avaliação de dose resposta ocorreu estímulo de crescimento do milho em doses de até 40 g e.a ha⁻¹ nas cultivares Fórmula e Status refletindo no acúmulo de massa seca. Na avaliação entre formulações o Roundup Ready[®] apresentou sinais mais visíveis de dano do que o Roundup WG[®] e Zapp QI[®] em Status aos 3 DAA e no Impacto até os 14 DAA. Em todas as doses testadas, as formulações promoveram efeitos variáveis de toxicidade sobre os híbridos, sem manifestar hormese, possivelmente, por causa das elevadas temperaturas ocorridas nos dias posteriores à pulverização e do manejo das plantas na condição experimental. Os híbridos testados responderam de forma diferente às aplicações de glyphosate, manifestando efeito hormético em doses de até 40 g e.a ha⁻¹ e a formulação Roundup Ready[®] causou sinais de toxicidade mais intensos, que as formulações Roundup WG[®] e Zapp QI[®].

Palavras-chave: Deriva, *Zea mayz*, herbicida, glyphosate.

MAIZE HYBRIDS RESPONSES TO GLYPHOSATE SUB-DOSES.

ABSTRACT - Pesticides drift and its effect on non-target crops are the major concerns in modern agriculture, especially with the use of herbicides promoting effects at very small quantities. The objective of this study was to evaluate the effects of sub doses of glyphosate on six corn (*Zea mays*) hybrids, Two initial tests (01 and 02) were conducted with six maize hybrids (Celeron, Fórmula, Impact, Maximus, Speed, and Status) and six doses of the herbicide glyphosate (Roundup-Ready[®]). In the first experiment the effects of 0, 25, 50, 75, 100 and 125 g e.a ha⁻¹ and in the second experiment, doses of 0, 100, 125, 150, 175 and 200 g e.a ha⁻¹ were evaluated. A third test (test 03) was carried out to evaluate the dose-response at 0, 40, 80, 120, 160 and 200 g e.a ha⁻¹ of glyphosate (Roundup[®]) on the six maize hybrids. A fourth trial (Trial 04), also a dose-response approach was conducted, involving two hybrids (Status and Impact), using 0, 40, 80, 120, 160 and 200 g e.a ha⁻¹ of glyphosate and the commercial formulations Roundup Ready[®], Roundup WG[®] and Zapp QI[®]. Maize plants were grown in 4-L pots with a mix of soil, sand and manure. Glyphosate spraying always occurred at four fully expanded leaves maize stage. In test 01 it was evaluated photosynthetic, morphological and nutritional variables, mainly in the treatments with major toxic symptoms. In experiment 02 it was included plant height in the evaluations. In tests 3 and 4 only morphological variables were evaluated. The photosynthetic activity at 7 days after spraying was enhanced by application of glyphosate at doses up to 50 g e.a ha⁻¹ only for the hybrids 'Impact' and 'Fórmula'. The 'Celeron' showed greater leaf area and higher accumulation of dry mass of stem and leaf compared with the other genotypes and doses up to 50 g e.a ha⁻¹ glyphosate favored this performance. Hybrids behaved differently in nutrient concentrations: 'Status' and 'Fórmula' for P; 'Maximus' and 'Status' for potassium, calcium for 'Maximus' and 'Impact', magnesium, manganese and sulphur for 'Impact' and 'Fórmula'. Doses of 125 g e.a ha⁻¹ of glyphosate led to greater accumulation of N, P, B, Cu and Fe in the plants. Higher doses, from 100 to 150 g e.a ha⁻¹ of glyphosate severely affected the development of the crop, and doses of 175 and 200 g e.a ha⁻¹

caused plant death. In the dose response assays the results showed growth stimulation of maize plants when 40 g e.a ha⁻¹ was sprayed on hybrids 'Fórmula' and 'Status'. The commercial formulation Roundup Ready[®] showed stronger symptoms of damage than the Roundup WG[®] and Zapp QI[®] on the hybrid 'Status' at 3 days after spraying (DAS) and in 'Status' and 'Impact' at 14 DAS. At all doses tested, the formulations promoted variable symptoms of toxicity on hybrids, but did not characterized hormesis phenomenon, possibly because the high temperatures experienced in the period after the spraying and the plants management under the experimental condition. The hybrids tested responded differently to applications of glyphosate and hormesis effects manifested in doses up to 40 g e.a h⁻¹. Comparing the formulations Roundup Ready[®] caused more severe toxicity symptoms.

Key-words: Drift, *Zea maiz*, herbicide, glyphosate.

I. INTRODUÇÃO

A opção mundial por uma elevada produtividade necessita de altos investimentos de tecnologia para atingir máximos índices de produção incluindo doses adequadas de fertilizantes, material genético de alta produtividade e adaptação às intempéries climáticas e tratamento fitossanitário adequado. Com a crescente adoção do plantio direto e, mais recentemente, com a introdução de culturas geneticamente modificadas, o conhecimento dos sistemas de produção que sejam economicamente sustentáveis e ambientalmente corretas se torna cada vez mais fundamental, pois a sociedade de consumo está cada vez mais exigente.

Entre as práticas agrícolas, na área de aplicação de produtos fitossanitários, uma das maiores preocupações ambientais e agrícolas é a deriva, cujos efeitos após aplicação se tornam cada vez mais frequente, e a pulverização aérea está cada vez mais comum e os novos produtos e formulações atuam em doses cada vez menores.

A deriva resulta do arraste de pequenas partículas aquosas da calda que não atingem o alvo e são levadas pelo vento até áreas não desejadas (MATUO, 1990). Dentre os fatores que atuam na intensidade de deriva de aplicação de produtos fitossanitários podemos citar o método de aplicação, a dose e fatores ambientais como temperatura e velocidade do vento (CUNHA et al., 2003).

Mesmo tomando-se os devidos cuidados durante a aplicação, são numerosos os relatos de fito intoxicação causada por deriva em diversas culturas anuais, tais como algodão, milho, tomate, sorgo ou até perenes como maracujá e eucalipto, entre outras (MAGALHÃES et al., 2001ab; YAMASHITA e GUIMARÃES, 2005; TUFFI SANTOS et al., 2006; LASSITER et al., 2007; FIGUEREDO et al., 2007 e; WAGNER JUNIOR et al., 2008), respectivamente.

O herbicida glyphosate, com seus diferentes sais e nas formulações e concentrações comerciais disponíveis, as quais somam mais de 35 no mercado, é

atualmente a principal ferramenta para o controle de plantas daninhas, e tem sido bastante utilizado nas culturas de soja com tolerância ao herbicida, cana-de-açúcar na qual é usado como maturador e que resulta em melhora no acúmulo de sacarose e áreas de reflorestamento plantadas com eucalipto. No Estado de São Paulo, especialmente, nas regiões Central e Noroeste, o milho é cultivado em áreas relativamente pequenas e inseridas em regiões produtoras de cana e reflorestamento.

O milho é plantado numa extensa área com condições variáveis de solo e ambiente para o qual é utilizada uma ampla variedade de híbridos desenvolvidos para serem plantados nesses ambientes. Essa característica pode também possibilitar uma resposta diferenciada desses híbridos quando recebem sub doses do herbicida glyphosate como resultado da deriva acidental para o qual não foram desenvolvidos.

Na maioria das áreas plantadas com milho são utilizados híbridos pela sua elevada capacidade produtiva e que são obtidos por sofisticados processos de melhoramento genético e que respondem de maneira diferenciada às variadas condições de ambiente e manejo, porém com desconhecida resposta aos estresses químicos resultantes de deriva, especialmente de herbicidas como glyphosate. Até o presente, no Brasil, não tem sido totalmente liberada a comercialização de sementes de milho geneticamente modificado com resistência a glyphosate. A deriva deste produto das áreas circunvizinhas com soja, cana de açúcar, citros ou reflorestamento é uma preocupação para o agricultor e, assim, este trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos de sub doses de formulações sobre os índices de toxicidade, crescimento e nutrição mineral de seis híbridos de milho indicadas para o Estado de São Paulo.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O milho (*Zea mays* L.) constitui o cereal mais plantado do Brasil e é utilizado na alimentação humana, na formulação de ração animal, além de diversos processos industriais, atingindo na safra 2010-2011 uma área agrícola estimada de 13,69 milhões, constituindo a segunda cultura mais importante do país, superada apenas pela soja, em termos de superfície e quantidade de grãos produzida. O Estado de São Paulo participa com 6,29 % da superfície total plantada com milho e uma produtividade média de 4 700 kg ha⁻¹, quatorze por cento superior que a média nacional (CONAB, 2011).

Com o melhoramento genético, atualmente há disponibilidade de muitos híbridos de milho desenvolvidos para as diferentes áreas agrícolas e condições ambientais. No mercado Brasileiro há disponibilidade de sementes de híbridos geneticamente modificados para resistência à determinados insetos, mas os híbridos transgênicos para tolerância aos herbicidas ainda não estão em fase de comercialização, embora alguns eventos já tenham recebido parecer técnico conclusivo favorável da CTNBio (<http://www.ctnbio.gov.br/index.php/content/view/14784.html>), acesso em 31 de janeiro de 2012). Outras plantas cultivadas, como a soja e o algodão, já dispõem de cultivares com resistência à doses comerciais de glyphosate.

O uso do glyphosate tem-se generalizado em diversas áreas do Brasil dedicadas ao plantio direto, reflorestamento, cana-de-açúcar (destruição de soqueira e maturação), pomares e lavouras geneticamente modificadas resistentes a este herbicida (GALLI e MONTEZUMA, 2005; RODRIGUES e ALMEIDA, 2011).

Com a ampla distribuição geográfica e intensidade de uso de glyphosate há a possibilidade de deriva para cultura de milho plantada nas circunvizinhanças e os efeitos desta deriva não tem sido extensivamente estudada, especialmente na variação de susceptibilidade entre híbridos.

O glyphosate é um herbicida aplicado em pós-emergência, de ação sistêmica, não seletivo utilizado para o controle não seletivo de plantas daninhas (RODRIGUES e ALMEIDA, 2011). Nas plantas susceptíveis este herbicida atua na inibição da síntese de aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina e triptofano) da rota do ácido chiquímico, bloqueando a atividade da enzima 5-enol-piruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSP-sintase) encarregada de catalisar a reação de chiquimato-3-fosfato (S3P) e fosfoenolpiruvato (PEP) para produzir 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato (EPSP) e fosfato (PADGETTE et al., 1995).

Os sinais de sua ação tóxica em plantas são caracterizados pelo lento aparecimento dos sintomas, os quais começam a ser visíveis a partir dos 5-7 dias após a aplicação com clorose das folhas novas, seguida de necrose. Podem ocorrer o enrolamento das bordas, enrugamento do limbo e má formação foliar por ocasião da rebrota. Também há redução do crescimento das plantas tratadas e inibição do crescimento do sistema radicular e dos rizomas (RODRIGUES, 2001). Ainda salienta que produtos a base de glicina interferem na produção de alguns precursores de hormônios em plantas, mas em contrapartida estimulam a produção de etileno resultante do estresse provocado pela toxicidade, porém sem conduzir à morte da planta em determinadas dosagens.

A resistência ao glyphosate em culturas transgênicas foi obtida pela inserção de um gene (AroA) oriundo do genoma da *Agrobacterium* sp. estirpe CP4, a qual codifica uma variante de EPSPs, especialmente tolerante à inibição pelo glyphosate (PADGETTE et al., 1995).

Pesquisas em cana-de-açúcar desenvolvidas por LEITE et al. (2009) evidenciaram a eficácia do glyphosate (192 g ha^{-1}) e metsulfuron-metil para retardar o metabolismo vegetal e melhorar a disponibilidade de açúcares redutores na síntese endógena de sacarose com resultado na antecipação da colheita, porém, com incremento na brotação lateral em prejuízo do crescimento da rebrota da soqueira (LEITE et al., 2008).

Assim, quando usado como maturador em cana-de-açúcar, o glyphosate na dose de 192 g ha⁻¹ reduziu a produção de colmos, mas sem apresentar efeito na conversão de “pol” na porção superior dos colmos, possibilitando melhora na qualidade tecnológica da matéria prima (LEITE et al., 2010).

Resultados diferentes foram obtidos em avaliações feitas em culturas transgênicas tolerantes ao glyphosate. No milho, SOLTANI et al. (2010) mostraram que aplicações de glyphosate isolado apresentam baixo risco ambiental quando comparadas com misturas com outros produtos para controle pós-emergente de plantas daninhas mais tolerante à este herbicida.

Por sua vez, são vários os casos reportados com sinais de fito intoxicação pelos produtores rurais quando são feitas pulverizações de diferentes formulações de glyphosate sobre culturas transgênicas, destacando clorose das folhas, atraso no desenvolvimento, sem efeito aparente na produção (SERRA et al., 2011).

Em soja, o glyphosate tem apresentado efeitos colaterais que colocam em dúvida sua seletividade em culturas Roundup Ready[®] como relatado por SANTOS et al. (2007b) na comparação de formulações de glyphosate (2 kg ha⁻¹) em soja CD 219RR, afetando o desenvolvimento e formação de nódulos, além de efeitos na microbiota da rizosfera provocados por Roundup Transorb[®]. Também foram observadas reduções nas concentrações foliares de nitrogênio, cálcio, ferro e cobre quando as plantas foram tratadas com o herbicida. Para o magnésio, foi observado aumento de sua concentração em plantas tratadas com Roundup Ready[®]. O autor não observou alterações significativas nas concentrações de fósforo, potássio, enxofre, zinco e manganês nas folhas da soja.

Em outra pesquisa desenvolvida por CORREIA e DURIGAN (2007) com os cultivares CD 214RR e M-SOY 8008 RR quando foi avaliada a aplicação de oito formulações de glyphosate (Roundup Ready[®], Roundup Transorb[®], Roundup Original[®], Roundup WG[®], Polaris[®], Gliz[®], Glifosato Nortox[®] e Trop[®]), não foi observado sintoma visual de intoxicação nas plantas de soja e nenhum efeito no conteúdo de clorofila, no

acúmulo de matéria seca na parte aérea e sistema radicular e, também, no número de nódulos da associação com bactérias fixadoras de nitrogênio.

SERRA et al. (2011) avaliaram os efeitos de doses de manganês e de glyphosate na cultura de soja RR e observaram que independente da taxa de aplicação, a absorção de nitrogênio e ferro foram aumentadas com a dose do herbicida, porém foi mais eficiente no uso do nutriente (EFU) na testemunha sem aplicação. O herbicida não afetou as concentrações de manganês e zinco. Para nitrogênio, ferro e cobre, o EFU foi reduzido com o aumento da dose do glyphosate, bem como os teores totais de nitrogênio, manganês, zinco, cobre e ferro na soja.

CATANEO et al. (2003) demonstram que a Glutathione-S-Transferase (GTS) desempenha um papel importante no processo de desintoxicação e metabolismo de plantas de milho pulverizadas com a dose de 1000 ppm do herbicida glyphosate. Em doses maiores (2500 e 5000 ppm) esse processo de desintoxicação não foi suficiente, e concluíram que ela atua sim na degradação do herbicida quando ele é aplicado em baixas concentrações.

VELINI et al. (2008) confirmam a presença de hormese em plantas com a aplicação de glyphosate, fenômeno que se caracteriza pela inibição do crescimento das plantas em altas doses e pelo estímulo do crescimento em baixas doses (CALABRESE & BALDWIN, 2003). O fenômeno da hormese é dependente da planta-alvo, do modelo biológico avaliado e ponto máximo avaliado, (VELINI et al., 2008).

Segundo CALABRESE e BALDWIN (2003), produtos xenobióticos que aplicados em doses normais, como apresentado na bula, sobre organismos alvos mostram eficácia no controle poderiam, porém produzir efeito de estímulo no crescimento quando aplicado em doses muito baixas o que é chamado de 'hormese', entre eles o glyphosate.

VELINI et al, (2008) relataram que hormese pode ocorrer com aplicação de 1,8 e 36 g e.a ha⁻¹ de glyphosate, podendo essa dose ser diferente em função da espécie e

do seu estágio de desenvolvimento. Observaram ainda aumento no teor de ácido chiquímico nas plantas de soja e milho que receberam o herbicida, mas, esse aumento não expressou necessariamente em dano promovido pelo herbicida, mas confirma que a planta recebeu o produto. No caso do milho, o acréscimo no conteúdo do ácido chiquímico pode ser útil para mostrar efeito sobre o crescimento da planta.

Em condições de baixas concentrações na solução, pequenas quantidades de glyphosate podem ser absorvidas pelas raízes do milho e alterar positivamente o crescimento da planta ($< 30 \text{ mg kg}^{-1}$). Concentrações mais elevadas podem desencadear sintomas de fito-intoxicação. Estes resultados sugerem que quando o glyphosate fica disponível na solução do solo pode ser absorvido pelas raízes e causar danos na cultura (WAGNER et al., 2003). Esses mesmos autores também encontraram efeitos horméticos no crescimento de plantas de milho quando absorveram menos que $0,6 \text{ } \mu\text{g}$ do produto.

OZTURK et al. (2008) avaliaram os efeitos de três doses (1, 3 e 6% da dose de $1,44 \text{ kg i.a ha}^{-1}$) do glyphosate sobre a enzima Fe-reductase em raízes de girassol (*Helianthus annuus* L.). Na sub dose de 6% baseada na dose comercial como deriva simulada, observaram efeitos inibitórios sobre a atividade da enzima no período entre seis e 24 horas após aplicação, mesmo sem apresentar sintoma visual, confirmando o efeito do glyphosate como inibidor dessa enzima diminuindo seu transporte nas plantas.

Em avaliações dos efeitos da deriva simulada de glyphosate em milho, MAGALHÃES et al. (2001a) observaram que as variáveis agronômicas altura de planta e acúmulo de massa seca e o conteúdo de clorofila não foram afetados por derivas de 2%, 4%, 6%, 8% e 12 % da dose de $1,44 \text{ kg i.a ha}^{-1}$. A área foliar foi afetada quando a planta foi submetida à deriva de 12% de glyphosate ($172 \text{ g i.a ha}^{-1}$), refletindo na produção de espigas e grãos e concluíram que deriva em doses iguais ou inferiores a 4% da dose comercial não afetam a produtividade do milho.

Em sorgo, MAGALHÃES et al. (2001b) não observaram diferenças na altura e área foliar das plantas quando submetidas as doses bastante baixas de glyphosate. A

toxicidade foi maior nas dosagens de 115,2 e 172,8 g ha⁻¹, sendo que a cada 1% de incremento na dose representou um aumento de 5% no nível de dano e queda de 194 kg ha⁻¹ na produção de grãos. Em doses maiores ocorreu aumento da mortalidade de plantas, afetando o estande final.

Em trigo, sintomas de efeitos de glyphosate, como clorose, foram observados em plantas pulverizadas no estágio de um nó com doses de 18, 70 e 140 g ha⁻¹. Houve diminuição da altura da planta aos 28 dias após aplicação em 47% e 26% nas doses de 140 e 70 g ha⁻¹ (ROIDER, 2006). O rendimento de grãos teve reduções de 72% e 54% sob pulverizações de 140 g ha⁻¹ em plantas nos estádios um nó e no florescimento, respectivamente. Na dose de 70 g ha⁻¹ a redução atingiu entre 25% e 30%. Na dose de 18 g ha⁻¹ não ocorreu qualquer efeito na produtividade do trigo em nenhuma das épocas de aplicação (ROIDER, 2006).

Em oito cultivares de algodão, o glyphosate na dose de 270 g ha⁻¹ não apresentou efeito duradouro na altura de planta quando comparado com o controle, em avaliações feitas até os 42 dias após a pulverização. No entanto, houve resposta diferenciada entre os cultivares estudados (YAMASHITA e GUIMARÃES, 2005).

Em outras pesquisas YAMASHITA e GUIMARÃES, (2006) concluíram que sementes de algodão coletadas em plantas tratadas com sub doses de glyphosate (180 e 360 g ha⁻¹) apresentam maiores produções de sementes, massa verde da parte aérea e emergência de plântulas, quando comparada com as das plantas testemunha sem receber aplicação do herbicida.

Para THOMAS et al. (2005) as derivas simuladas com sub doses de glyphosate (0, 8.7, 17.5, 35, 70, 140, 280, 560, e 1,120 g i.a ha⁻¹) em algodão produziram nanismo e clorose aos 7 DAA. Nesta época de avaliação, os efeitos aumentaram linearmente na medida em que se aumentou a dose do herbicida acima de 70 g ha⁻¹. Na avaliação realizada aos 42 dias não houve danos visíveis nas doses inferiores a 280 g i.a ha⁻¹. Os autores ainda detectaram incrementos nas concentrações de ácido chiquímico com o aumento da dose do herbicida. Na produtividade da cultura, obtiveram incremento com

sub doses até 70 g i.a ha⁻¹ e concluíram que por meio da concentração de ácido chiquímico é possível determinar a perda na produtividade da cultura quando esta é atingida por doses de glyphosate superiores a 140 g i.a ha⁻¹.

Em plantas de amendoim, LASSITER et al. (2007) observaram sinais como leve clorose nas doses superiores a 140 g i.a ha⁻¹ de glyphosate na avaliação realizada aos 7 DAA. Estes sintomas aumentaram com o tempo e a dose, provocando a morte das plantas na dose de 1120 g i.a. ha⁻¹. Nestas plantas as concentrações de ácido chiquímico foram maiores na medida em que se aumentou a dose do herbicida. Este efeito ocorreu apenas na avaliação realizada aos 7 DAA, não apresentando qualquer efeito significativo aos 14, 21 e 31 DAA. Essas concentrações de ácido chiquímico foram inversamente proporcionais à produtividade da cultura, e não foram observadas variações com dosagens de glyphosate iguais ou menores a 70 g i.a ha⁻¹.

Em beterraba (*Beta vulgaris*), pulverizações de 126 g i.a ha⁻¹ aos 20 e 30 dias após emergência (DAE) provocam a morte de plantas em 14 dias após a aplicação (DAA). Quando a aplicação foi realizada aos 40 DAE, a morte da cultura aconteceu aos 21 DAA. A produção de massa seca pela planta foi reduzida com o incremento da dose do produto (RIGOLI et al., 2008).

Experimentos desenvolvidos por FIGUEREDO et al. (2007) em tomate (*Lycopersicon esculentum*) mostraram que doses superiores a 30% (378 g ha⁻¹) da dose normal (1260 g ha⁻¹) apresentaram sintomas típicos de intoxicação com o glyphosate tais como paralisação do crescimento e murcha. Este efeito ocorreu independente da época de aplicação na cultura (30, 50 e 70 DAT). As intensidades dos sintomas, como clorose, necrose e morte das plantas, foram maiores na medida em que se aumentou a dose do herbicida. Na fase reprodutiva do tomateiro, o número de cachos florais, flores e frutos foram afetados com aumento das doses do glyphosate acima de 189 g i.a ha⁻¹. As maiores perdas foram observadas quando o herbicida foi aplicado aos 70 DAT.

No maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* L), WAGNER JUNIOR et al. (2008) observaram sintomas como clorose, murcha, necrose e morte dos ápices aos sete dias após a pulverização de glyphosate e as intensidades desses efeitos foram acentuados com as doses do herbicida. Não houve diferença dos sintomas e de suas intensidades quando foram comparadas as formulações Roundup Transorb[®], Roundup Original[®] e Zapp QI[®]. Essa intoxicação teve efeito parcial sobre a produção de brotos primários, comprimento total, acúmulo de massa aérea e área foliar das plantas de maracujá quando receberam doses superiores à 86,4 g ha⁻¹ e não afetaram o comprimento de raiz, diâmetro do caule e número de folhas em plantas jovens.

Em cultivares de soja Roundup Ready[®] (CD225 e V Max) o uso das formulações Roundup Original[®], Roundup Transorb[®] e Zapp QI[®] reduziram o acúmulo de massa seca de hastes e folhas na cultivar CD 225 quando receberam 960 g e.a ha⁻¹, porém na cultivar V Max as formulações Roundup Original[®] e Roundup WG[®] só afetaram o acúmulo de massa nas folhas (CAVALIERI et al., 2011).

COSTA et al. (2009) estudaram os efeitos da deriva simulada de glyphosate em pinhão-mansão (*Jatropha curcas*) e observaram clorose temporária com recuperação posterior em folhas novas nas sub doses até 11,5 g ha⁻¹. Nas doses de 90, 180 e 360 g ha⁻¹ os sintomas dos efeitos tóxicos foram amarelecimento intenso das folhas do ápice, coloração púrpura avermelhada em algumas delas, necrose e abscisão nas folhas localizadas na parte basal das plantas. A altura de planta e o diâmetro do caule apresentaram redução dos valores em todas as doses avaliadas quando comparados com a testemunha sem aplicação do herbicida.

TUFFI SANTOS et al. (2006) estudando os efeitos da deriva de glyphosate em eucalipto (*Eucalyptus grandis*) observaram que os sintomas variaram com o clone e foram caracterizados por clorose, murcha e enrolamento das folhas do ápice. Nas maiores doses, as folhas tornaram coriáceas com necrose na borda, houve intensa senescência foliar e deformação do ápice e, até, morte do meristema apical, porém sem

provocar a morte da planta. Outras características como altura de planta, massa seca e diâmetro das plantas foram afetadas nas dosagens maiores (172,8 e 345,6 g i.a ha⁻¹).

Em estudos de exsudação radicular em plantas de *Brachiaria* spp. pulverizadas com glyphosate, TUFFI SANTOS et al. (2008) encontraram ¹⁴C-glyphosate em todas as plantas de eucalipto mantidas em convivência com a gramínea, independente do clone, tipo de solo e época de avaliação. No entanto, não foi observado qualquer sintoma na planta de eucalipto.

Analisando o conteúdo foliar de macronutrientes (N, P e K) na cultura de milho sob deriva simulada de glyphosate (0, 36, 72 e 108 g e.a ha⁻¹ equivalente a 0, 10, 20 e 30% da dose), LATORRE et al. (2011a) observaram que os conteúdos de P e K diminuíram após aplicação de 10 e 20% da dose, respectivamente. A redução da concentração de nitrogênio ocorreu com todas as doses testadas. Os teores foliares de cálcio e magnésio diminuíram quando as plantas de milho receberam doses maiores à 20% da recomendada. A concentração de ferro diminuiu apenas na dose mínima do herbicida.

III. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos de deriva simulada de híbridos de milho à sub doses de glyphosate foram conduzidos entre setembro de 2010 e dezembro de 2011 na casa de vegetação no Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais em Matologia (NEPEAM) do Departamento de Fitossanidade da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Julho de Mesquita Filho”, Campus de Jaboticabal, SP.

Para as aplicações das subdoses de glyphosate foi utilizada a formulação Roundup Ready[®] nos experimentos 1, 2 e 3. A sub dose é citada como referência à dose comercial, a qual em diante será chamada como doses de g e.a ha⁻¹ na apresentação dos resultados.

3.1 Experimentos iniciais de simulação de deriva

As unidades experimentais foram constituídas por vasos plásticos de quatro litros, preenchidos com substrato preparado com solo, areia de rio e esterco de curral nas proporções 2:1:1 (v:v:v). O solo utilizado foi em Latossol Vermelho Escuro de textura argilo-siltosa, com as seguintes características químicas: pH (CaCl₂) 5,9; teor de matéria orgânica 12 g.kg⁻¹; 6 mg.dm⁻³ de P (resina). Os teores de K, Ca, Mg, H+Al, SB e T foram de 1,2; 20,0; 7,0; 19,0, 28,0 e 47,0 mmol_c.dm⁻³, respectivamente. A saturação de bases do solo foi 60,3%. Não foi realizada aplicação de calcário.

Nos experimentos iniciais de deriva simulada foi utilizado um esquema fatorial alocado em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições. Nos dois ensaios o fatorial foi composto por seis híbridos (Celeron, Fórmula, Impacto, Maximus, Speed e Status) e seis doses do herbicida glyphosate as quais variaram com o experimento. No primeiro as doses foram 0, 25, 50, 75, 100 e 125 g e.a ha⁻¹. No

segundo experimento, em função dos resultados obtidos no primeiro experimento as doses foram modificadas para 0, 100, 125, 150, 175 e 200 g e.a ha⁻¹.

Os híbridos foram recomendados e fornecidos pela empresa Syngenta Seeds Ltda e semeados em bandejas de isopor e posteriormente transplantadas quando apresentavam entre uma e duas folhas totalmente expandidas. Em cada vaso foram transplantadas duas mudas e pulverização de glyphosate foi efetuada quando as plantas apresentaram quatro folhas totalmente expandidas. Na condução do experimento a umidade do solo nos vasos foi mantida com irrigações diárias evitando estresse das plantas.

A aplicação com glyphosate foi realizada com pulverizador costal pressurizado com CO₂ equipado com pontas Teejet XR110.02, espaçadas a 50 cm e calibradas para uma vazão de 200 L ha⁻¹, na pressão de 180 kPa. No momento da aplicação do experimento 01 as condições ambientais foram de 27°C de temperatura e 78% de umidade relativa (UR); para o experimento 02 a temperatura foi 26°C e 85% de UR; para o experimento 03 a temperatura foi 24° e 72% de UR enquanto que para o experimento 04 28°C de temperatura e 65% de UR.

No experimento 01 foram avaliados os efeitos dos tratamentos sobre o desempenho fotossintético e conteúdo foliar de nutrientes. Dessa forma, avaliou-se taxa fotossintética (A), condutância estomática (Gs), e transpiração (E). No encerramento do período experimental foram avaliadas: a área foliar (AF), as massas secas de caule (MSC) e de folhas (MSF), conteúdo foliar de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn), especialmente nos tratamentos que apresentaram maior efeito tóxico visual a serem comparados com a testemunha. No experimento 02, as características do milho avaliadas foram as mesmas incluindo-se altura das plantas em relação à testemunha medida do nível do solo até a inserção da lígula da folha recentemente expandida.

As avaliações das variáveis fotossintéticas foram realizadas no período da manhã, entre 7:30 e 10:30h, usando um analisador de gás por sensor infravermelho

IRGA (Li-Cor, Li6400). Na avaliação da área foliar foi utilizado o “Leaf Area Meter” (Li-Cor Inc., LI3000). Para obtenção de massa seca, caules e folhas, foram secados durante 72 horas em estufa de renovação forçada de ar numa temperatura de 65 °C. O valor do peso da matéria seca foi obtido utilizando balança digital com variação de 0.01g.

Para a realização das análises dos teores de macronutrientes e micronutrientes, as amostras após a pesagem foram moídas em micro-moinho tipo “Wiley” malha 20 e enviadas para análise no Laboratório DM Lab em Ribeirão Preto. As extrações de N foram feitas segundo metodologia de semimicrokjedhal, P e B por colorimetria (SARRUGE e HAAG, 1974), K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn por absorção atômica (JORGENSEN, 1977), S por turbidimetria (VITTI, 1989).

3.2 Experimento dose-resposta

Dois experimentos foram conduzidos para avaliar o comportamento dose-resposta dos diferentes híbridos (Celeron, Fórmula, Impacto, Maximus, Speed e Status) submetidos a doses crescentes de glyphosate. No primeiro experimento dose-resposta, as doses avaliadas foram 0, 40, 80, 120, 160 e 200 g e.a ha⁻¹ de glyphosate. O experimento foi instalado no delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) com cinco repetições e os tratamentos distribuídos em esquema fatorial envolvendo os seis híbridos e as seis doses de herbicida. As avaliações visuais de fito intoxicação das plantas foram efetuadas aos sete e quatorze dias após aplicação (DAA), utilizando uma escala de 0-100%, em que zero representa ausência de dano e 100% morte de plantas, segundo escala da SBCPD. Nas plantas sobreviventes foram avaliadas a altura, a área foliar (AF) usando um “Leaf Área Meter” (Li-Cor, modelo LI300) e obtidos os valores de massa seca de folhas e caules.

No segundo experimento dose-resposta foram avaliados apenas os híbridos Impacto e Status por apresentarem comportamento contrastante nos experimentos de

deriva e três tipos de sais de glyphosate (Sal amina: Roundup Ready[®], Sal de amônio: Roundup WG[®] e Sal de potássio: Zapp QI[®]) nas doses 0, 40, 80, 120, 160 e 200 g e.a ha⁻¹. Os tratamentos foram dispostos num arranjo fatorial 2 x 3 x 6 envolvendo os dois híbridos, as três formulações e as seis doses de glyphosate. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC) com cinco repetições.

A pulverização com glyphosate foi realizada com pulverizador costal pressurizado com CO₂ equipado com pontas Teejet XR110.02, espaçadas a 50 cm e calibradas para uma vazão de 200 L ha⁻¹, na pressão de 180 kPa.

As avaliações de fito-intoxicação das plantas assim como os dados morfofisiológicos ocorreram como descrito no experimento três.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Fisher ao 5 % de probabilidade. Para tanto, foi utilizado o programa STATISTICA. Adicionalmente, análises de regressão foram ajustadas para os diferentes níveis de resposta com ajuda do programa gráfico Origins 8[®], na procura de modelos significativos que expliquem biologicamente o comportamento dos dados diante do aumento das dosagens de herbicida.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimentos de simulação de deriva

No experimento 1 a análise estatística evidenciou diferenças significativas para híbridos e doses de glyphosate na atividade fotossintética, porém não houve efeito significativo da interação entre estas duas variáveis. Não foram verificadas diferenças significativas entre as variáveis condutância estomática e transpiração das folhas de milho (Tabela 1).

A atividade fotossintética nas folhas dos híbridos Fórmula, Impacto e Status foram maiores comparadas com Maximus e Speed.

As doses de glyphosate de 100 e 125 g e.a ha⁻¹ apresentaram menores valores de atividade fotossintética em relação às plantas submetidas à dose 25 g e.a ha⁻¹. Não houve diferença significativa da testemunha com as doses de 25 até 75 g e.a ha⁻¹ (22,65 e 16,92 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), enquanto que em 25 g e.a ha⁻¹ (25,55 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) foi maior.

Para melhor entendimento do comportamento das doses de glyphosate foram obtidas as curvas de regressão para cada híbrido. Ocorreu diferença significativa para doses e a análise dos dados para regressão correspondeu a uma polinomial e sigmoideal com diferenças nas doses menores para sete dias (Figura 1). Assim, pode-se observar que os híbridos Fórmula e Speed mostraram comportamento linear e quadrático decrescente no início com aplicação da menor dose, enquanto, que Impacto e Status mostraram acréscimos de 13 e 16% com doses de até 50 g e.a ha⁻¹, respectivamente.

Aos 14 DAA (Tabela 2), as análises de variância também mostraram diferenças para atividade fotossintética, porém, unicamente para as doses de produto com apresentação do desdobramento e para melhor análise dos dados os mesmos que

oferecem pouca consistência. O tratamento com dose de 100 g e.a ha⁻¹ foi inferior na taxa fotossintética (28,78 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) comparada com as doses 0 (testemunha), 25, e 50 g e.a ha⁻¹ de glyphosate em que o híbrido Fórmula apresentou melhor consistência dos dados comparada às demais (Tabela 2, Figura 2).

Tabela 1. Análise estatística e médias \pm EP para atividade fotossintética (A), condutância estomática (Gs) e transpiração (E) aos 7DAA de glyphosate no estudo de deriva em seis híbridos de milho. Experimento 1.

Tratamentos	A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		Gs ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	
	F	p	F	p	F	p
Híbrido (H)	5,83	0,00**	1,44	0,21 ^{ns}	1,25	0,29 ^{ns}
Dose (D)	12,95	0,00**	0,02	1,00 ^{ns}	0,00	1,00 ^{ns}
Interação (H*D)	0,86	0,66 ^{ns}	0,02	1,00 ^{ns}	0,02	1,00 ^{ns}
C.V. (%)	18,6		59,3		52,4	
Híbridos						
Celeron	21,94	b ^{1/} \pm 0,52	0,027	a \pm 0,0002	0,769	a \pm 0,0034
Fórmula	22,26	a \pm 0,86	0,021	a \pm 0,00007	0,616	a \pm 0,0026
Impacto	25,79	a \pm 0,83	0,022	a \pm 0,00043	0,650	a \pm 0,0106
Maximus	20,53	b \pm 0,87	0,026	a \pm 0,00014	0,759	a \pm 0,00113
Speed	22,01	b \pm 0,73	0,023	a \pm 0,00013	0,689	a \pm 0,00217
Status	25,36	a \pm 0,52	0,021	a \pm 0,00022	0,636	a \pm 0,0042
Dose (g e.a ha⁻¹)						
0	24,65 ^{2/}	\pm 0,39	0,024	a \pm 0,0005	0,695	a \pm 0,0149
25	25,55	\pm 0,40	0,025	a \pm 0,0008	0,726	a \pm 0,0184
50	24,57	\pm 0,52	0,025	a \pm 0,0008	0,726	a \pm 0,0199
75	23,55	\pm 0,63	0,025	a \pm 0,0075	0,718	a \pm 0,0164
100	22,65	\pm 0,82	0,025	a \pm 0,0008	0,719	a \pm 0,0203
125	16,92	\pm 0,52	0,024	a \pm 0,0008	0,717	a \pm 0,0192

^{1/} Valores seguidos da mesma letra entre híbridos não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{2/} Analisados aplicando curvas de regressão na interação H x D. ^{ns} Não significativo; ** Significativo a 1%.

O comportamento observado neste experimento é apresentado em diversos trabalhos que mostram as respostas de plantas às aplicações de baixas doses de glyphosate, sejam plantas anuais como cevada e soja (CEDERGREEN & OLESEN, 2010; ZOBIOLE et al., 2010); ou perenes como citros, eucalipto e café (GRAVENA et

al., 2009; MACHADO et al., 2010 e CARVALHO, 2011) constatando pequenos acréscimos na taxa fotossintética, condutância estomática e transpiração. Estas alterações variaram segundo a espécie estudada.

Essas respostas diferenciadas no comportamento entre as espécies podem ser atribuídas tanto a diferenças morfológicas como tipo e quantidade de área foliar, características e condições da folha que podem determinar sua velocidade de absorção e transporte no interior do simplasto, quando o produto é absorvido e as reações bioquímicas que demandam consumo de energia ou transportadores que o levam a atravessar a membrana. A facilidade com que vai concluir a fase de penetração é dependente de fatores como espécie vegetal, idade, condições do meio, dose do produto (RODRIGUES, 2001; CARDOSO, 2010 e SANGOI, 2010).

As dosagens maiores a 75 g e.a ha⁻¹ de glyphosate causaram em geral uma diminuição de atividade de todas as variáveis fotossintética. Este comportamento pode ser atribuído ao efeito inibitório do produto (GRAVENA et al., 2009; MACHADO et al., 2010; ZOBIOLE et al., 2010; CARVALHO, 2011). Concentrações de 1000 e 2500 ppm do produto podem estimular a produção de Glutathione S-Transferase (GST) em plantas em nove e 16 dias, respectivamente, evidenciando função de detoxificação (UOTIOLE et al., 1995).

Para CATANEO et al. (2003) com doses de glyphosate superiores a 5000 ppm a enzima perde a capacidade de detoxificação e metabolismo (UOTIOLE et al., 1995), e assim atingir o complexo chiquimato-EPSP e interromper a rota de formação de aminoácidos essenciais resultando na diminuição do crescimento da planta e finalmente a morte (RODRIGUES, 2001).

Para MACHADO et al. (2010) não ocorreu diferença entre cultivares de eucalipto submetidos a deriva simulada em doses crescentes de glyphosate (0-172,8 g ha⁻¹). Os efeitos resultantes da aplicação esta em função da dose pulverizada chegando a apresentar efeito de estímulo o qual diminui como resultado dos processos de

penetração, absorção e transporte até o local de ação e passando para toxicidade em dosagens maiores.

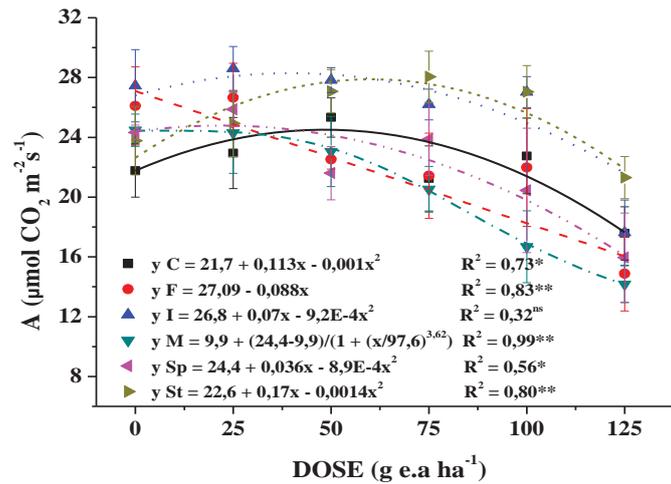


Figura 1. Representações gráficas da atividade fotossintética de seis híbridos de milho tratados com doses de glyphosate aos 7 DAA. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. ■ Celeron, ● Fórmula, ▲ Impacto, ▼ Maximus, ◄ Speed e ► Status.

A resposta positiva ao glyphosate é caracterizada como melhoria na eficiência da fixação de CO₂ com aplicações de 11, 22 e 45 g e.a ha⁻¹ e diferentes níveis de saturação de CO₂ (100, 200, 400 e 800 ppm) considerando que as plantas tratadas tiveram leve resposta para condutância estomática (CEDERGREEN e OLSEN, 2010). Para LEAKEY et al. (2006) que em condições controladas avaliou a fixação de CO₂, o acréscimo do composto não conduz necessariamente a um acúmulo de massa seca e consequentemente no rendimento da cultura de milho na ausência de qualquer estresse.

Tabela 2. Análise estatística e médias \pm EP para atividade fotossintética (A), condutância estomática (Gs) e transpiração (E) 14 DAA de glyphosate no estudo de deriva em seis híbridos de milho. Experimento 1.

Tratamentos	A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		Gs ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	
	F	p	F	p	F	p
Híbrido (H)	1,29	0,28 ^{ns}	1,57	0,18 ^{ns}	1,48	0,21 ^{ns}
Dose (D)	2,50	0,04*	1,12	0,36 ^{ns}	0,75	0,59 ^{ns}
Interação (H*D)	0,60	0,92 ^{ns}	0,41	0,99 ^{ns}	0,25	1,00 ^{ns}
C.V. (%)	19,47		26,77		29,19	
Híbridos						
Celeron	32,22	a \pm 0,51	0,051	a \pm 0,0008	2,529	a \pm 0,036
Fórmula	31,77	a \pm 0,65	0,054	a \pm 0,0009	2,772	a \pm 0,044
Impacto	33,47	a \pm 0,61	0,054	a \pm 0,0011	2,639	a \pm 0,049
Maximus	30,85	a \pm 0,65	0,050	a \pm 0,0012	2,537	a \pm 0,051
Speed	33,93	a \pm 0,83	0,060	a \pm 0,0016	3,004	a \pm 0,071
Status	35,63	a \pm 0,41	0,061	a \pm 0,0007	3,059	a \pm 0,028
Dose (g e.a ha⁻¹)						
0	34,33 ^{2/}	\pm 0,59	0,057	a \pm 0,0016	2,834	a \pm 0,077
25	34,96	\pm 0,50	0,057	a \pm 0,0011	2,832	a \pm 0,055
50	35,04	\pm 0,57	0,058	a \pm 0,0012	2,909	a \pm 0,055
75	32,74	\pm 0,77	0,053	a \pm 0,0015	2,699	a \pm 0,071
100	28,78	\pm 0,82	0,048	a \pm 0,0017	2,452	a \pm 0,083
125	32,02	\pm 0,52	0,056	a \pm 0,0005	2,814	a \pm 0,029

^{1/} Valores seguidos da mesma letra entre híbridos não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%)

^{2/} Analisados aplicando curvas de regressão na interação H x D. ^{ns} Não significativo; * Significativo a 5%

No caso das variáveis Gs e E não ocorreu resposta significativa das aplicações de herbicida. Diversos resultados são relatados nesse sentido, como observado em pesquisas desenvolvidas por GRAVENA et al. (2009) sem efeito aparente em citrus. No entanto CEDERGREEN e OLESEN (2010) que observaram incremento na taxa de respiração poucas horas após aplicação de glyphosate atribuindo como resposta metabólica da aplicação, e também por CARVALHO (2011) que observou em café incrementos nos valores dessas variáveis. ZOBIOLE et al. (2010), observaram queda no desempenho nessas variáveis com aplicações superiores a 800 g ha⁻¹ em soja

geneticamente tolerante ao glyphosate com maior efeito em aplicações em estádios avançados da cultura.

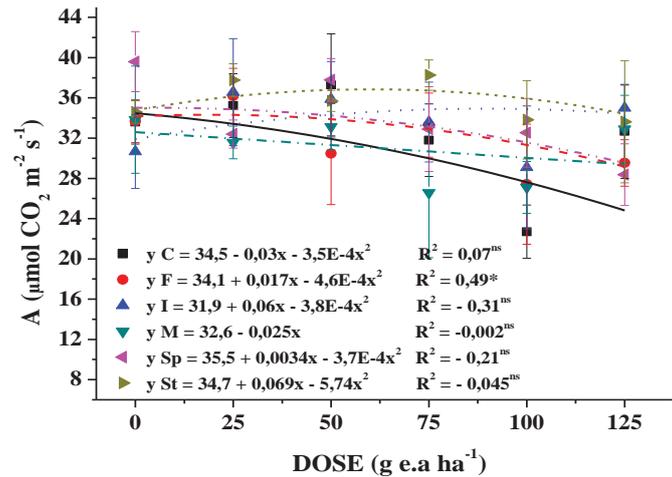


Figura 2. Representações gráficas das atividades fotossintéticas de seis híbridos de milho tratados com doses de glyphosate aos 14 DAA. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. ■ Celeron, ● Fórmula, ▲ Impacto, ▼ Maximus, ◄ Speed e ► Status.

Em condições de saturação de luminosidade, são fatores bioquímicos como atividade de Rubisco ou metabolismo de trioses fosfato que se tornam limitantes no desempenho das taxas fotossintéticas (TAIZ e ZEIGER, 2004). Características como maior afinidade pelo substrato e altas concentrações de CO₂ nas células da bainha do feixe vascular explicam essa eficiência. Além disso, o balanço cloroplasto-citosol nas concentrações de fosfato inorgânico (Pi) conduzem a maior produção de sacarose exportável para os tecidos dreno. Esses fatos no momento poderiam explicar de forma parcial o mecanismo pelo qual ocorre a melhora na atividade fotossintética de determinadas espécies após aplicação de glyphosate.

Após concluída a fotossíntese com a formação de glicose, os açúcares podem ser transportados e esse movimento no sistema fonte-dreno parece ter um fluxo

contínuo e permanente no qual os açúcares são continuamente exportados até os tecidos novos (ROGERS e AINSWOETH, 2006). Porém essas moléculas são identificadas como repressores específicos na atividade promotora de vários compostos envolvidos em processos como fotossíntese e estocagem de assimilados e mobilização de açúcares e a sua presença é suficiente para gerar um sinal que altere a expressão gênica (JANG & SHEEN, 1994; HUIJSER et al., 2000; XIAO, et al., 2000) e sugerem que esses compostos possuem capacidades diferentes para provocar esses efeitos em milho. Este processo não está sob controle de um único evento específico e sim de vários pequenos passos nos quais a cada um é necessário à presença de um coadjuvante particular e que fazem com que diferentes espécies de plantas anuais ou perenes respondam de forma positiva à aplicações de pequenas doses de glyphosate refletindo com aumento no crescimento.

Para variável área foliar (AF) e massa seca foliar (MSF) houve diferenças significativas (Tabela 3) entre híbridos, doses e sua interação (H x D). O híbrido Celeron desenvolveu maior área foliar que os híbridos Impacto, Maximus, Speed e Status. O desenvolvimento da área foliar foi menor no híbrido Speed. Para massa seca de folhas o híbrido Celeron apresentou valor estatisticamente superior aos demais híbridos. O maior valor foi observado para o híbrido Celeron sendo estatisticamente similar ao híbrido Impacto na produção de massa seca caule (MSC), superando os híbridos Fórmula, Maximus, Speed e Status. O menor acúmulo de massa seca de caules foi observado no híbrido Speed sendo estatisticamente igual apenas ao híbrido Maximus.

Nas avaliações das doses de glyphosate, o controle e a dose 25 g e.a ha⁻¹ permitiram maior desenvolvimento de área foliar quando comparado com as doses maiores de glyphosate. As médias de doses foram analisadas por regressão e expressas como resposta polinomial de primeiro e segundo grau para relações doses-híbridos.

Tabela 3. Análise estatística e médias \pm EP de área foliar (AF, cm²), massa seca caule e foliar (MSC,MSF, g) no estudo de deriva simulada de glyphosate em seis híbridos de milho. Experimento 1.

Tratamentos	AF		Massa seca caule		Massa seca folha	
	F	p	F	p	F	p
Híbrido (H)	14,33	0,00**	10,65	0,00**	8,76	0,00**
Dose (D)	50,89	0,00**	19,80	0,00**	21,69	0,00**
Interação (H*D)	2,40	0,00**	1,65	0,04*	1,34	0,16 ^{ns}
C.V. (%)	12,9		26,7		21,3	
Híbridos						
Celeron	693,9	a ^{1/} \pm 16,47	2,49	a \pm 0,078	2,23	a \pm 0,053
Fórmula	686,2	ab \pm 20,67	2,04	bc \pm 0,117	1,88	bc \pm 0,086
Impacto	640,0	bc \pm 37,35	2,23	ab \pm 0,153	1,96	b \pm 0,119
Maximus	599,5	c \pm 29,10	1,75	cd \pm 0,081	1,76	bcd \pm 0,085
Speed	522,5	d \pm 19,38	1,50	d \pm 0,070	1,53	d \pm 0,067
Status	626,2	c \pm 15,20	1,85	c \pm 0,089	1,73	cd \pm 0,042
Dose (g e.a ha⁻¹)						
0	762,8 ^{2/}	\pm 16,42	2,29 ^{2/}	\pm 0,095	2,14 ^{2/}	\pm 0,078
25	720,5	\pm 21,14	2,37	\pm 0,126	2,12	\pm 0,078
50	651,0	\pm 17,73	2,13	\pm 0,122	1,94	\pm 0,067
75	629,9	\pm 17,30	2,06	\pm 0,085	1,85	\pm 0,062
100	577,3	\pm 12,58	1,76	\pm 0,061	1,69	\pm 0,045
125	426,7	\pm 18,43	1,12	\pm 0,043	1,21	\pm 0,053

^{1/} Valores seguidos da mesma letra entre híbridos não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%)
^{2/} Analisados aplicando regressão na interação H x D. ^{ns} No Significativo; *, ** Significativo a 5 e 1%, respectivamente.

Na interação H x D (Tabela 4), a área foliar (AF) obtida no controle pelos híbridos Celeron e Fórmula foram iguais ao Maximus e significativamente superior aos demais. Por sua vez, na dose 25 g e.a ha⁻¹, o híbrido Celeron acumulou área foliar semelhante aos híbridos Fórmula, Impacto e Status, porém superior estatisticamente aos demais híbridos. Na dose 50 g e.a ha⁻¹, o híbrido Impacto desenvolveu a maior área foliar igual estatisticamente ao híbrido Fórmula e superior aos demais híbridos. Na dose 75 g e.a ha⁻¹, as plantas dos híbridos Celeron e Fórmula acumularam maior área foliar quando comparada com os híbridos Maximus e Speed. Quando foram aplicados 100 g e.a ha⁻¹, os melhores desempenhos foram obtidos pelos híbridos Fórmula, Impacto e

Status os quais foram superiores ao híbrido Speed. Na maior dose, o híbrido Status apresentou maior área foliar, estatisticamente similar aos híbridos Celeron e Fórmula e significativamente superior aos demais (Tabela 4).

Tabela 4. Médias observadas no desdobramento de graus de liberdade da interação de híbridos x dose no estudo de deriva simulada de glyphosate sobre a formação de área foliar (AF, cm²) em seis híbridos de milho. Experimento 1.

Tratamentos	Dose (g e.a ha ⁻¹)					
	0	25	50	75	100	125
Híbridos						
Celeron	891,4 a ^{*1/}	845,1 a	644,2 bc	740,9 a	564,8 ab	476,9 ab
Fórmula	797,7 a	746,7 ab	727,6 ab	687,1 a	651,0 a	507,1 ab
Impacto	731,2 bc	773,6 ab	775,9 a	649,2 ab	618,8 a	291,3 c
Maximus	790,9 abc	687,1 b	625,6 bc	569,4 bc	555,9 ab	368,3 bc
Speed	681,7 c	538,5 c	542,6 c	502,7 c	474,0 b	395,4 bc
Status	684,5 bc	732,0 ab	590,4 bc	629,9 ab	599,4 a	521,1 a

*Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

Na análise dos híbridos nas doses (Figura 3), o Impacto e Status obtiveram acréscimo no desenvolvimento de área foliar significativamente superior na dose de até 50 e 25 g e.a ha⁻¹ comparada com a testemunha (6,11 e 6,94% superior, respectivamente). Os demais híbridos apresentaram queda linear no acúmulo desta variável.

Para massa seca de caule (MSC), as análises estatísticas mostraram diferenças para híbridos e doses de glyphosate (Tabela 3). Entre os híbridos, Celeron apresentou o maior acúmulo de massa seca de caule (2,49 g) superando aos híbridos Speed e Status. As médias da interação de dose-cultivar foram submetidas análise de regressão e apresentou ajuste do tipo polinomial de primeiro e segundo grau (Figura 4).

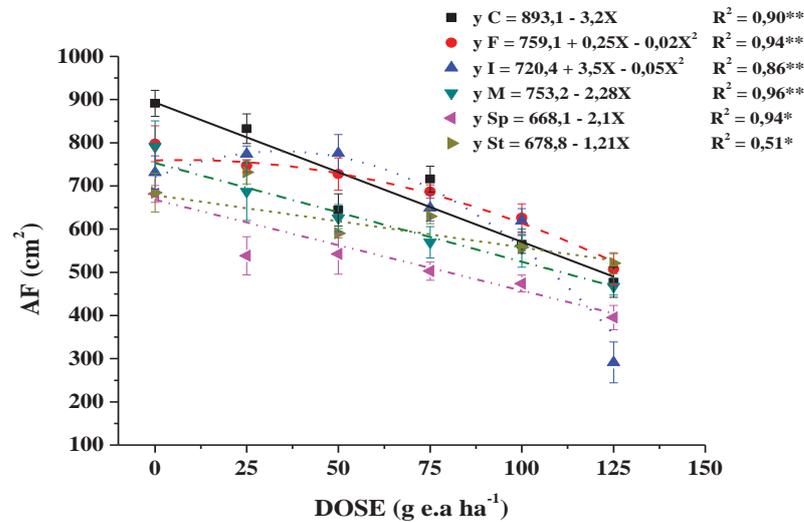


Figura 3. Representação gráfica da área foliar de seis híbridos de milho tratado com doses de glyphosate. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. ■ Celeron, ● Fórmula, ▲ Impacto, ▼ Maximus, ◄ Speed e ► Status.

Na análise estatística para a interação híbrido x dose na produção de massa seca de caule (MSC) (Tabela 5), ocorreu significância para híbridos dentro de cada dose. Na testemunha sem aplicação de glyphosate o híbrido Celeron foi significativamente superior aos demais, assim como na dose 25 g e.a ha⁻¹, em que só foi estatisticamente similar ao híbrido Impacto. Para a dose 50 g e.a ha⁻¹, maior massa seca de caule foi obtida pelo híbrido Impacto, que foi estatisticamente similar ao híbrido Celeron e superior aos outros híbridos avaliados. Na dose de 75 g e.a ha⁻¹, o híbrido Celeron desenvolveu massa seca de caule significativamente superior à aquela obtida pelos híbridos Maximus e Speed. Com 100 g e.a ha⁻¹, o híbrido Impacto acumulou maior massa seca de caule e foi superior ao obtido para o híbrido Speed. Na dose maior (125 g e.a ha⁻¹), todos os híbridos foram estatisticamente similares.

Na aplicação da regressão os híbridos Impacto e Status obtiveram acréscimo na produção de massa seca de caule na ordem de 39,1 e 14,2%, quando receberam até 50 e 25 g e.a ha⁻¹ de produto, respectivamente (Figura 4). Os demais híbridos apresentaram diminuição linear com aumento da dose do herbicida.

Tabela 5. Médias observadas no desdobramento de graus de liberdade da interação de híbridos x dose no estudo de deriva simulada de glyphosate sobre massa seca de caule (MSC, g) em seis híbridos de milho. Experimento 1.

Tratamentos	Dose (g e.a ha ⁻¹)					
	0	25	50	75	100	125
Híbridos						
Celeron	3,30 a ^{1/}	3,30 a	2,46 ab	2,68 a	1,79 ab	1,41 a
Fórmula	2,51 b	2,39 bc	2,30 b	2,24 abc	1,85 ab	0,96 a
Impacto	2,20 b	2,74 ab	3,06 a	2,37 ab	2,12 a	0,88 a
Maximus	2,40 b	1,93 cd	1,89 bc	1,49 d	1,46 ab	1,34 a
Speed	2,08 b	1,53 d	1,52 c	1,52 cd	1,36 b	1,02 a
Status	2,04 b	2,33 bc	1,53 c	2,08 abc	2,01 ab	1,13 a

*Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

No caso da variável massa seca foliar (Tabela 3) também ocorreu diferenças estatísticas entre híbridos e as doses sem que houve-se interação significativa entre estas variáveis, mas houve variação na comparação das doses dentro de cada híbrido (Figura 5). As médias dos dados de doses foram submetidas à análise de regressão e os híbridos Impacto e Status obtiveram incremento de 18% de massa seca de folhas quando receberam 50 e 25 g e.a ha⁻¹ de glyphosate, respectivamente. Os demais híbridos mostraram reduções na massa seca de folhas.

Assim nas variáveis de formação de biomassa ocorreu melhor desempenho do milho nas aplicações de doses bastante baixas do glyphosate. De acordo com FRANÇA et al. (2010) em café em dose de 115,2 g ha⁻¹ após 120 DAA, WAGNER JUNIOR et al. (2008) em maracujazeiro na dose abaixo de 86,4 g ha⁻¹, também foram observados esses efeitos. Outras características como massa seca foliar e de caule também foram demonstradas pelos autores CEDERGREEN (2008) em aveia, WAGNER JUNIOR et al. (2008) em maracujazeiro em dose abaixo de 86,4 g ha⁻¹, COSTA et al. (2009) em pinhão- manso em dose até 50 g ha⁻¹, CEDERGREEN e OLESEN (2010) em cevada, MACHADO et al. (2010) em eucalipto na dose até 43,2 g ha⁻¹. Ainda, ocorreram respostas diferenciadas entre cultivares, fato também evidenciado por FRANÇA et al.

(2010) em cafeeiro, MACHADO et al. (2010) em eucalipto, respostas atribuídas ao tipo de planta, idade, característica da folha (RODRIGUES, 2001; VELINI et al., 2008).

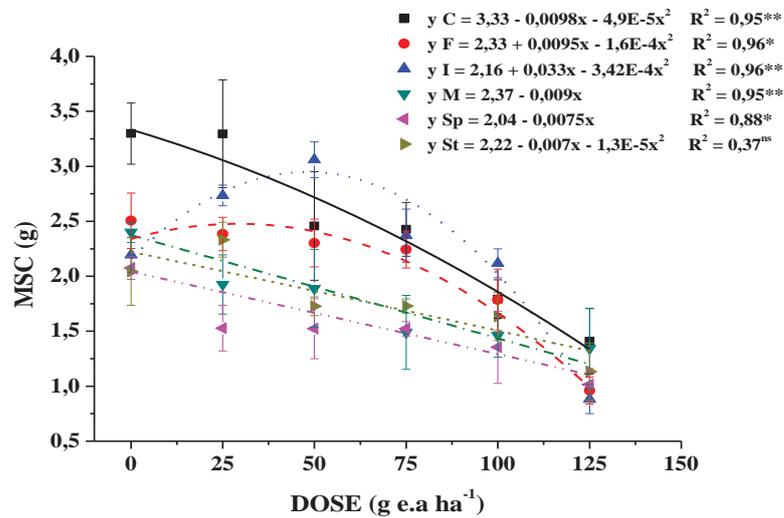


Figura 4. Representação gráfica de acúmulo de massa seca de caule (MSC) de seis híbridos de milho tratado com doses de glyphosate. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. ■ Celeron, ● Fórmula, ▲ Impacto, ▼ Maximus, ▲ Speed e ► Status

O incremento na produção de biomassa observado pode ser resultado do melhor desempenho da taxa fotossintética (CEDERGREEN et al., 2009) em plantas crescendo sem estresse (LEAKEY et al., 2006), independente ou acompanhada da diminuição da taxa de fotorrespiração ou sua insensibilidade ou como neste estudo com estímulo de estresse químico causado pelo glyphosate.

Para VELINI et al. (2008) fenômeno apresentado por espécies de plantas como milho, soja, trapoeraba e eucalipto sob deriva simulada de glyphosate acarreta estímulo no crescimento em diferentes intensidades. As sub doses aplicadas resultam na aceleração de crescimento, devido possivelmente a contínua exportação de açúcares nas rotas fonte dreno facilitada pelos sinalizadores o que pode explicar a diferença entre espécies e híbridos (JANG & SHEEN, 1994; HUIJSER et al., 2000; XIAO, et al., 2000).

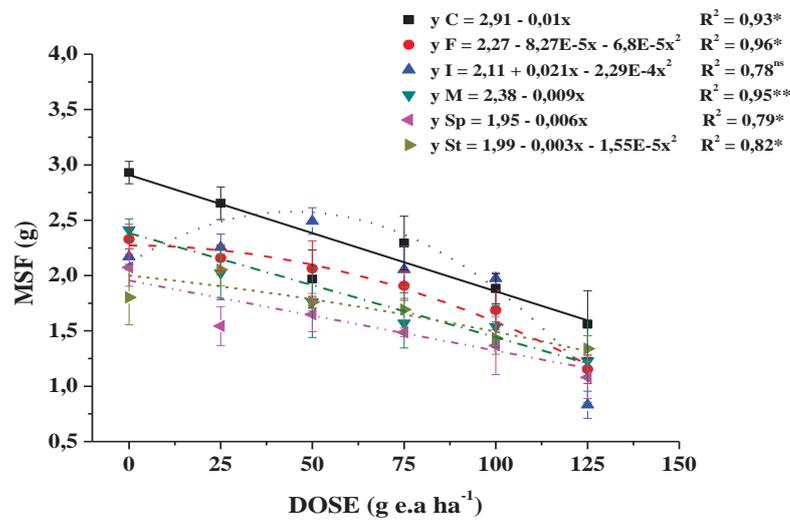


Figura 5. Representação gráfica do acúmulo de massa seca foliar (MSF) de seis híbridos de milho tratado com doses de glyphosate. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. ■ Celeron, ● Fórmula, ▲ Impacto, ▼ Maximus, ◄ Speed e ► Status.

De modo geral doses superiores de 75 g e.a. ha⁻¹ diminuíram o desempenho das variáveis área foliar, massa seca foliar e de caule com algumas diferenças entre os híbridos (Celeron e Speed, especialmente). Esta resposta é resultado dos efeitos deletérios das doses nos processos fotossintéticos os quais refletem na produção e acúmulo de massa das plantas como indicado por VELINI et al. (2008), FRANÇA et al. (2010) e MACHADO et al. (2010).

Após as avaliações agrônômicas foi realizada a análise química foliar dos tratamentos que apresentaram maior diferença em termos de redução de crescimento e os resultados são apresentados na Tabela 06.

Para a concentração de nitrogênio não houve efeito significativo de híbridos, porém, entre as doses de glyphosate a maior dose (125 g e.a ha⁻¹) induziu concentração significativamente superior nas partes aéreas das plantas. No caso do fósforo (P), ocorreram diferenças para híbridos e doses. Os híbridos Status, Speed e Fórmula apresentaram concentrações significativamente maiores do que os híbridos

Celeron e Maximus (Tabela 6). Para as doses de herbicida, maior conteúdo deste elemento foi obtido com aplicação da maior dose de glyphosate. Para potássio (K) ocorreu diferenças entre híbridos. Os híbridos Impacto, Maximus e Status apresentaram os maiores conteúdos deste elemento nas folhas. Para as doses, não ocorreram diferenças.

Na interação híbrido e dose (Tabela7), os híbridos Status e Speed apresentaram as maiores concentrações de P na parte aérea, significativamente superior às concentrações encontradas nos híbridos Celeron e Fórmula no controle. Na dose 100 g e.a ha⁻¹ de glyphosate, o híbrido Fórmula apresentou maior concentração do elemento e diferiu significativamente daquela apresentada pelo híbrido Celeron. Na dose 125 g e.a ha⁻¹, o híbrido Fórmula mostrou maior concentração do elemento (2,90 g k⁻¹) e foi significativamente superior aos híbridos Celeron, Maximus e Speed. Na análise de híbridos nas diferentes doses, os híbridos Celeron, Maximus e Speed não apresentaram diferenças na concentração de fósforo dentro das diferentes doses de glyphosate; porém, os híbridos Impacto e Fórmula foram significativamente superiores com aumento da dose, e o híbrido Status apresentou menor conteúdo com a dose de 100 g e.a ha⁻¹ de glyphosate.

Nas análises foliares das concentrações de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) (Tabela 8) não ocorreu diferença significativa entre as doses do herbicida. No caso de cultivares, para cálcio o híbrido Fórmula apresentou a menor concentração comparado com os híbridos Maximus, Impacto e Status. Para magnésio o híbrido Impacto apresentou maior conteúdo superando aos demais. Para enxofre, o híbrido Fórmula mostrou maior concentração (3,21 g k⁻¹) e foi estatisticamente superior aos híbridos Celeron, Maximus e Status.

Nas avaliações realizadas nos elementos boro (B), cobre (Cu) e ferro (Fe) não ocorreu diferenças entre os híbridos avaliados. Para doses, a maior dose de glyphosate favoreceu o acúmulo desses micronutrientes (Tabela 9).

Tabela 6. Análise estatística e médias \pm EP do conteúdo foliar (g kg^{-1}) dos macronutrientes Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) no estudo de deriva simulada de glyphosate sobre seis híbridos de milho. Experimento 1.

Tratamentos	N		P		K	
	F	p	F	p	F	p
Híbrido (H)	1,58	0,18 ^{ns}	3,85	0,00**	4,20	0,00**
Dose (D)	21,81	0,00**	13,47	0,00**	1,34	0,27 ^{ns}
Interação (H*D)	1,32	0,24 ^{ns}	2,32	0,02*	0,98	0,47 ^{ns}
C.V. (%)	12,27		16,92		15,63	
Híbridos						
Celeron	25,70	a \pm 1,44	1,80	c ^{1/} \pm 0,11	29,46	b \pm 1,25
Fórmula	27,74	a \pm 1,36	2,23	a \pm 0,18	28,94	b \pm 1,66
Impacto	28,42	a \pm 1,44	2,11	ab \pm 0,11	35,08	a \pm 2,23
Maximus	28,48	a \pm 0,97	1,83	bc \pm 0,11	34,95	a \pm 0,91
Speed	28,41	a \pm 1,13	2,17	a \pm 0,06	29,66	b \pm 0,84
Status	29,37	a \pm 1,31	2,25	a \pm 0,15	34,12	a \pm 1,34
Dose (g e.a ha^{-1})						
0	25,46	b ^{2/} \pm 0,62	1,86	b ^{2/} \pm 0,06	31,27	a \pm 0,94
100	26,89	b \pm 0,58	1,98	b \pm 0,06	31,44	a \pm 1,21
125	31,72	a \pm 0,89	2,36	a \pm 0,12	33,40	a \pm 1,25

^{1/} Valores seguidos da mesma letra entre híbridos não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{2/} Médias de doses comparadas na coluna. *, ** e ^{ns} Significativo ao 5, 1% e Não significativo, respectivamente.

Para o manganês (Mn) ocorreu diferença significativa entre os híbridos. O híbrido Impacto apresentou concentração foliar significativamente superior a dos híbridos Maximus, Status e Celeron. Para o zinco (Zn), todos os híbridos foram similares estatisticamente. Não houve efeitos significativos de doses do glyphosate para este micronutriente (Tabela 10).

A composição química dos tecidos dos híbridos de milho foi diferente na maioria dos elementos analisados exceto nitrogênio, boro, cobre, ferro e zinco. Existe a possibilidade de efeito de concentração destes produtos devidos ao menor crescimento do milho e disponibilidade do solo

Tabela 7. Médias observadas no desdobramento de graus de liberdade da interação de híbridos x dose no estudo de deriva simulada de glyphosate sobre conteúdo foliar de Fósforo (P, g kg⁻¹) em seis híbridos de milho. Experimento 1.

Tratamentos	Dose (g e.a ha ⁻¹)		
	0	100	125
Híbridos			
Celeron	1,64 b S*	1,69 b S	2,08 c S
Fórmula	1,54 b U	2,25 a T	2,90 a S
Impacto	1,87 ab T	1,96 ab T	2,51 abc S
Maximus	1,95 ab S	1,78 ab S	1,77 c S
Speed	2,04 a S	2,16 a S	2,31 bc S
Status	2,13 a ST	2,02 ab T	2,60 ab S

*Valores seguidos da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

Tabela 8. Análise estatística e médias ± EP de conteúdo (g kg⁻¹) dos macronutrientes Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S) no estudo de deriva de glyphosate sobre híbridos de milho. Experimento 1.

Tratamentos	Ca		Mg		S	
	F	p	F	p	F	p
Híbrido (H)	2,61	0,03*	24,71	0,00**	3,46	0,01*
Dose (D)	2,41	0,10 ^{ns}	2,12	0,13 ^{ns}	2,23	0,12 ^{ns}
Interação (H*D)	0,76	0,67 ^{ns}	0,38	0,95 ^{ns}	0,90	0,54 ^{ns}
C.V. (%)	17,72		10,61		18,13	
Híbridos						
Celeron	2,56 ab ^{1/} ± 0,15		1,82 d ± 0,07		2,76 bc ± 0,13	
Fórmula	2,22 b ± 0,12		2,02 c ± 0,05		3,21 a ± 0,17	
Impacto	2,76 a ± 0,17		2,79 a ± 0,08		2,87 ab ± 0,1	
Maximus	2,83 a ± 0,11		2,18 bc ± 0,04		2,37 c ± 0,04	
Speed	2,55 ab ± 0,15		2,05 c ± 0,07		2,81 ab ± 0,23	
Status	2,69 a ± 0,06		2,35 b ± 0,06		2,72 bc ± 0,14	
Dose (g e.a ha⁻¹)						
0	2,50 a ± 0,08		2,15 a ± 0,09		2,66 a ± 0,08	
100	2,54 a ± 0,07		2,18 a ± 0,07		2,75 a ± 0,13	
125	2,77 a ± 0,13		2,28 a ± 0,07		2,96 a ± 0,12	

^{1/} Valores seguidos da mesma letra entre híbridos não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).
*, ** e ^{ns} Significativo ao 5, 1 e Não significativo, respectivamente.

Tabela 9. Análise estatística e médias \pm EP do conteúdo (mg kg^{-1}) dos micronutrientes Boro (B), Cobre (Cu) e Ferro (Fe) no estudo de deriva de glyphosate sobre seis híbridos de milho. Experimento 1.

Tratamentos	B		Cu		Fe	
	F	p	F	p	F	p
Híbrido (H)	1,43	0,23 ^{ns}	1,10	0,37 ^{ns}	0,55	0,74 ^{ns}
Dose (D)	5,12	0,01*	17,09	0,00**	5,33	0,01*
Interação (H*D)	1,74	0,10 ^{ns}	1,73	0,10 ^{ns}	0,64	0,77 ^{ns}
C.V. (%)	39,08		14,02		36,99	
Híbridos (H)						
Celeron	26,17	a \pm 3,59	7,25	a \pm 0,30	146,58	a \pm 12,72
Fórmula	33,25	a \pm 3,70	7,67	a \pm 0,39	168,67	a \pm 12,34
Impacto	35,08	a \pm 2,69	7,50	a \pm 0,43	186,42	a \pm 23,43
Maximus	29,42	a \pm 5,79	7,33	a \pm 0,33	174,67	a \pm 23,93
Speed	38,58	a \pm 3,87	8,00	a \pm 0,27	179,33	a \pm 16,90
Status	34,92	a \pm 4,45	8,00	a \pm 0,54	171,92	a \pm 20,97
Dose (g e.a ha⁻¹)						
0	26,88	b ^{1/} \pm 3,39	6,79	c \pm 0,30	150,29	b \pm 12,73
100	33,08	ab \pm 3,70	7,50	b \pm 0,40	158,04	b \pm 12,34
125	38,75	a \pm 2,69	8,58	a \pm 0,44	205,46	a \pm 23,43

^{1/} Valores seguidos da mesma letra entre doses não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%). *, ** e ^{ns} Significativo ao 5, 1% e Não significativo, respectivamente.

Essas diferenças também ocorreram quando foram comparadas as doses maiores frente à testemunha, com concentrações significativamente maiores de N, P, Cu, B e Fe parcialmente influenciada pelas aplicações de glyphosate, similar aos resultados obtidos na avaliação do conteúdo nutricional de biótipos resistentes e susceptíveis de *Lolium multiflorum* com e sem pulverização de glyphosate que tiveram elevadas concentrações de N inorgânico em plantas sensíveis mesmo após ter recebido herbicida (FERREIRA et al., 2008).

Tabela 10. Análise estatística e médias \pm EP do conteúdo (mg kg^{-1}) dos micronutrientes Manganês (Mn) e Zinco (Zn) no estudo de deriva simulada de glyphosate sobre seis híbridos de milho. Experimento 1.

Tratamentos	Mn		Zn	
	F	p	F	p
Híbrido (H)	7,27	0,00**	1,43	0,23 ^{ns}
Dose (D)	1,65	0,20 ^{ns}	1,05	0,36 ^{ns}
Interação (H*D)	1,35	0,23 ^{ns}	1,58	0,14 ^{ns}
C.V. (%)	29,59		90,39	
Híbridos (H)				
Celeron	203,83	b ^{1/} \pm 29,07	19,58	a \pm 5,84
Fórmula	239,83	ab \pm 25,78	12,17	a \pm 0,74
Impacto	292,25	a \pm 17,54	28,25	a \pm 3,53
Maximus	149,92	c \pm 5,04	23,33	a \pm 4,74
Speed	258,17	a \pm 17,78	15,83	a \pm 0,88
Status	189,92	bc \pm 12,74	15,08	a \pm 0,83
Dose (g e.a ha⁻¹)				
0	211,63	a \pm 15,91	15,50	a \pm 1,59
100	213,13	a \pm 12,42	22,71	a \pm 5,81
125	242,21	a \pm 20,33	18,92	a \pm 2,50

^{1/} Valores seguidos da mesma letra entre híbridos não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).
 ** e ^{ns} Significativo ao 1% e Não significativo, respectivamente.

Este efeito pode estar relacionado á diminuição na formação de aminoácidos (tirosina, fenilalanina e triptofano) produtos derivados da rota do ácido chiquímico afetado pela aplicação de glyphosate, componentes de macromoléculas como proteínas, coenzimas e enzimas (PADGETTE et al., 1995, RODRIGUES, 2001). A diminuição transitória na concentração de aminoácidos possivelmente ligada a via dos aminoácidos aromáticos aos 2 DAA, porém com recuperação posterior em níveis comparáveis com a testemunha foi observada por GRAVENA et al. (2009). No processo de assimilação de N nas plantas enzimas desempenham funções importantes como o caso da nitrato reductase (TAIZ e ZEIGER, 2004), a qual pode estar sendo afetada parcialmente pelas doses de glyphosate.

As concentrações de P e Cu apresentaram níveis elevados comparados com o controle, assim como obtido por ÇAKMAK et al. (2009) ao avaliar subdosagens de glyphosate em soja (0,06; 0,2 e 0,6% de 1,44 kg e.a ha⁻¹). Para Fe, em que a enzima férrica reductase é específica em algumas espécies dicotiledôneas e outras não gramíneas, ÖZTURK et al. (2008) não encontrou consistência nos resultados, e conclui que subdoses de glyphosate de até 1 % podem acentuar efeitos de deficiência já existentes do elemento em plantas tratadas.

Por sua vez, ZOBIOLE et al. (2011) observaram que em soja geneticamente modificada para tolerância ao glyphosate pulverizada com 800, 1200 e 2400 g e.a ha⁻¹, os conteúdos de macronutrientes foram significativamente diminuídos atribuindo o fenômeno à formação de complexos metálicos, propriedade conhecida do glyphosate e uma das características pelas quais é considerado não tóxico ao ambiente (COUTINHO e MAZO, 2005; GALLI e MONTEZUMA, 2005).

Os efeitos pouco consistentes da maioria de trabalhos sobre deriva na composição química dos tecidos das plantas é explicada pela baixa dose utilizada e que segundo relatado por UOTIOLA et al. (1995) e CATANEO et al. (2003) poderia ter sido metabolizada eficientemente reduzindo assim qualquer efeito tóxico que provoque bloqueio completo da enzima EPSPS na rota do ácido chiquímico.

No experimento 2 foram pulverizadas doses entre 100 e 200 g e.a ha⁻¹ do herbicida glyphosate sobre os seis híbridos testados.

Na análise realizada para a variável altura de planta aos 7 DAA (Tabela 11), o híbrido Celeron apresentou desempenho similar ao híbrido Maximus, porém, significativamente superior aos outros híbridos estudados. Entre os demais híbridos não houve diferença para altura de planta aos 7 DAA. Para altura aos 14 DAA e área foliar, as análises estatísticas não apresentaram diferenças entre híbridos. Para as doses, significativas nas três características estudadas foram aplicadas análises de regressão visando explicar o comportamento dos híbridos (Tabela 11).

Na análise da interação entre híbridos x dose (Tabela 12) ocorreu significância apenas para altura das plantas aos 7 DAA da aplicação. Para os híbridos em cada dose, na testemunha sem aplicação de herbicida, o híbrido Impacto aos 7 DAA apresentou altura de planta significativamente superior em relação aos demais híbridos. Na dose de 100 g e.a ha⁻¹, o híbrido Status atingiu altura de 8,35 cm significativamente maior do que o híbrido Fórmula. Na dose 125 g e.a ha⁻¹, não ocorreu diferenças entre os híbridos avaliados. Na dose 150 g e.a ha de glyphosate, o híbrido Celeron obteve maior altura e diferiu significativamente dos demais híbridos. Na dose 175 g e.a ha⁻¹, o híbrido Maximus apresentou altura de planta significativamente superior ao híbrido Impacto; e, na maior dose testada o híbrido Celeron desenvolveu altura significativamente maior que os híbridos Impacto e Speed (Tabela 12). Na avaliação dos híbridos nas diferentes doses, observou-se que os maiores valores foram obtidos na testemunha sem aplicação de glyphosate que foi significativamente superior e os mais baixos com a dose 200 g e.a ha⁻¹ de glyphosate

Após realizada a análise de regressão para descrever os efeitos das doses em cada híbrido da interação na altura da planta aos 7 DAA, essa correspondeu num modelo polinomial e sigmoidal (Figura 6) com redução da altura na medida em que a dose do herbicida é aumentada. Para os híbridos Status e Impacto as reduções foram entre 15 e 39%, respectivamente. Aos 14 DAA apenas o híbrido Status mostrou recuperação no dose 100 g e.a ha⁻¹ com posterior queda, enquanto que os demais mostraram decréscimo nessa variável mesmo na menor dose aplicada. Os ajustes para altura foi expressa em modelos não linear do tipo sigmoidal (Figura 7).

Tabela 11. Análise estatística e médias \pm EP de altura de planta (AI, cm) aos 7 e 14 DAA e área foliar (AF, cm²) no estudo de deriva simulada de glyphosate sobre seis híbridos de milho. Experimento 2.

Tratamentos	AI 7		AI 14		AF	
	F	p	F	p	F	p
Híbrido (H)	2,31	0,05*	1,77	0,13 ^{ns}	2,00	0,08 ^{ns}
Dose (D)	94,40	0,00**	59,43	0,00**	102,17	0,00**
Interação (H*D)	2,26	0,00**	1,46	0,09 ^{ns}	1,49	0,08 ^{ns}
C.V. (%)	11,51		20,04		47,56	
Híbridos						
Celeron	7,75	a ^{1/} \pm 0,35	11,03	a \pm 0,74	131,61	a \pm 26,48
Fórmula	6,96	b \pm 0,23	9,37	a \pm 0,57	135,23	a \pm 31,26
Impacto	7,23	b \pm 0,54	10,69	a \pm 0,84	161,63	a \pm 40,61
Maximus	7,36	ab \pm 0,24	10,35	a \pm 0,49	148,95	a \pm 21,26
Speed	7,25	b \pm 0,38	10,63	a \pm 0,77	182,97	a \pm 36,22
Status	7,22	b \pm 0,32	10,44	a \pm 0,78	132,28	a \pm 25,10
Dose (g e.a ha⁻¹)						
0	10,42	^{2/} \pm 0,23	14,10	\pm 0,38	402,92	\pm 17,44
100	7,72	\pm 0,87	13,60	\pm 0,27	231,48	\pm 8,78
125	6,98	\pm 0,02	11,73	\pm 0,26	119,88	\pm 5,51
150	6,69	\pm 0,12	9,68	\pm 0,29	87,67	\pm 5,19
175	6,03	\pm 0,09	7,05	\pm 0,17	33,86	\pm 6,69
200	5,93	\pm 0,12	6,34	\pm 0,10	16,86	\pm 3,06

^{1/} Valores seguidos da mesma letra entre híbridos não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{2/} Analisadas como interação de Híbridos e Doses. *, ** e ^{ns} Significativo ao 5, 1% e Não significativo.

Tabela 12. Médias observadas no desdobramento de graus de liberdade da interação de híbridos x dose para altura de planta (AI, cm) aos 7 DAA no estudo de deriva simulada de glyphosate sobre seis híbridos de milho. Experimento 2.

Tratamentos	Dose (g e.a ha ⁻¹)											
	0	100	125	150	175	200						
Híbridos												
Celeron	11,03	b ^{*1/}	7,83	ab	6,90	a	7,85	a	6,28	ab	6,65	a
Fórmula	9,15	d	7,05	b	7,00	A	6,33	b	6,10	ab	6,15	abc
Impacto	12,28	a	7,53	ab	6,88	A	6,18	b	5,35	b	5,15	c
Maximus	9,58	cd	7,70	ab	7,20	A	6,60	b	6,65	a	6,45	ab
Speed	10,70	bc	7,85	ab	7,03	A	6,55	b	5,90	ab	5,48	bc
Status	9,80	cd	8,35	a	6,90	A	6,65	b	5,90	ab	5,70	abc

*Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

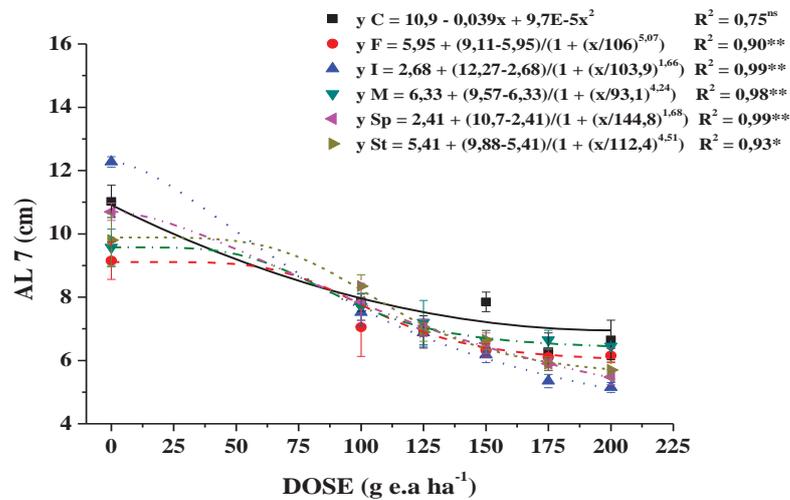


Figura 6. Representações gráficas das equações de regressão entre a altura de planta de seis híbridos de milho aos 7 DAA e doses de glyphosate. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. ■ Celeron, ● Fórmula, ▲ Impacto, ▼ Maximus, ◀ Speed e ▶ Status.

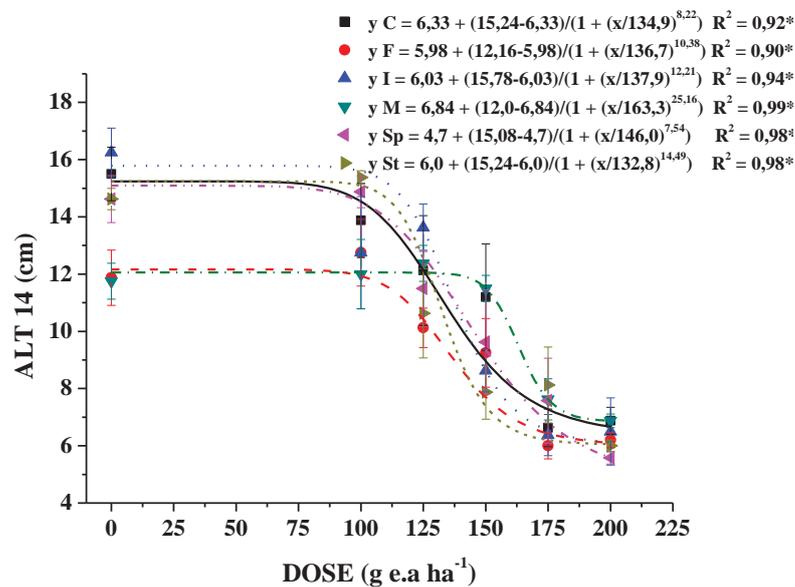


Figura 7. Representações gráficas das equações de regressão entre altura de planta de seis híbridos de milho aos 14 DAA e doses de glyphosate. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. ■ Celeron, ● Fórmula, ▲ Impacto, ▼ Maximus, ◀ Speed e ▶ Status.

Para área foliar também não ocorreu diferenças entre os híbridos (Tabela 11). Porém, para as doses no desenvolvimento da área foliar, a testemunha sem aplicação do herbicida obteve maior valor e foi estatisticamente superior a todas as doses de glyphosate testadas (Tabela 11). Após análise de regressão não linear, esta foi expressa como tipo sigmoidal (Figura 8). Todos os híbridos apresentaram queda na formação de área foliar com a menor dose testada com percentagens de no mínimo 35% inferiores que a testemunha (Speed).

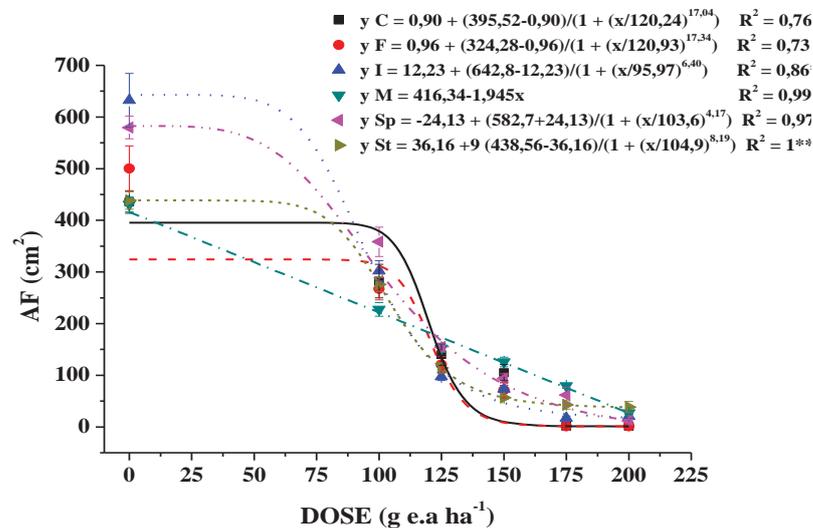


Figura 8. Representações gráficas das equações de regressão entre área foliar (AF, cm²) de seis híbridos de milho e doses de glyphosate. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. ■ Celeron, ● Fórmula, ▲ Impacto, ▼ Maximus, ◆ Speed e ► Status.

O comportamento diferenciado entre os híbridos de milho nestas variáveis agronômicas também ocorreram outras espécies cultivadas como algodão em 270 g ha⁻¹ e 180 g ha⁻¹ de glyphosate (YAMASHITA e GUIMARAES, 2005, 2006), em eucalipto com 43,2 g ha⁻¹ (TUFFI SANTOS et al., 2006 e MACHADO et al., 2010), em cafeeiro 120 DAA em doses de 57,8 g ha⁻¹ de glyphosate (FRANÇA et al., 2010), em soja geneticamente modificada para tolerância ao glyphosate com dose acima de 800 g e.a ha⁻¹ (ZOBIOLE et al., 2010; 2011). Também foi observado esse comportamento em

pinhão-manso com até 45 g ha⁻¹ (COSTA et al., 2009), em algodão com 54 g ha⁻¹ (NEVES e FULANE JUNIOR, 2009), em cevada com dose próxima de 100 g e.a ha⁻¹ (CEDERGREEN et al., 2009).

Para ELLIS et al. (2003) e BROWN et al. (2009) o milho em todas as doses testadas (9-140 g ha⁻¹ e 10-200 g ha⁻¹, respectivamente) apresentou redução na altura de planta. Respostas diferentes á exposição ao glyphosate podem ocorrer entre espécies, entre cultivares da mesma espécie e ainda entre estádios diferentes de desenvolvimento de uma espécie quando expostas ao produto em função das características morfológicas, anatômicas ou bioquímicas dessas plantas, alterando o processo de absorção e transporte do herbicida até atingir o local de ação (VELINI et al., 2008; ZOBIOLE et al., 2010; CARDOSO et al., 2010).

O comportamento neste segundo experimento, diferente do observado no experimento um, em que doses maiores foram testadas (100 até 200 g e.a ha⁻¹) diminuíram o desenvolvimento da área foliar de modo geral, mas com algumas diferenças na resposta entre híbridos. Esta resposta é resultado dos efeitos deletérios das doses maiores aplicadas sobre os processos fotossintéticos que ativam na produção e acúmulo de massa das plantas (VELINI et al., 2008; FRANÇA et al., 2010 e MACHADO et al., 2010).

Nas variáveis atividade fotossintética, condutância estomática e transpiração, não ocorreram diferenças significativas aos 10 DAA para os híbridos, porém ocorreu diferenças para as diferentes doses avaliadas. As maiores doses (175 e 200 g e.a ha⁻¹) apresentaram valores significativamente menores (10,070 e 9,068 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, respectivamente) e a testemunha sem aplicação do herbicida foi superior aos demais (Tabela 13). Após as análises de regressão o comportamento das medias corresponderam a um modelo linear e sigmoidal (Figura 9) dez dias após aplicação.

Tabela 13. Análise estatística e médias \pm EP para atividade fotossintética (A), condutância estomática (Gs) e transpiração (E) aos 10 DAA de glyphosate no estudo de deriva simulada em seis híbridos de milho. Experimento 2.

Tratamentos	A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		Gs ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	
	F	p	F	p	F	p
Híbrido (H)	1,29	0,27 ^{ns}	0,96	0,44 ^{ns}	1,22	0,30 ^{ns}
Dose (D)	18,82	0,00 ^{**}	16,93	0,00 ^{**}	15,89	0,00 ^{**}
Interação (H*D)	1,40	0,12 ^{ns}	0,84	0,68 ^{ns}	0,83	0,70 ^{ns}
C.V. (%)	54,86		60,92		59,38	
Híbridos						
Celeron	15,25	a \pm 2,62	0,041	a \pm 0,006	1,777	a \pm 0,27
Fórmula	18,99	a \pm 2,22	0,052	a \pm 0,006	2,263	a \pm 0,25
Impacto	17,52	a \pm 2,09	0,045	a \pm 0,005	2,027	a \pm 0,23
Maximus	21,66	a \pm 1,12	0,055	a \pm 0,003	2,461	a \pm 0,14
Speed	19,59	a \pm 2,59	0,057	a \pm 0,007	2,612	a \pm 0,31
Status	16,42	a \pm 1,66	0,048	a \pm 0,005	2,295	a \pm 0,24
Dose (g e.a ha⁻¹)						
0	33,24	^{1/} \pm 0,81	0,095	\pm 0,002	4,178	\pm 0,11
100	21,39	\pm 1,53	0,056	\pm 0,003	2,478	\pm 0,13
125	19,60	\pm 1,14	0,051	\pm 0,003	2,354	\pm 0,14
150	16,06	\pm 1,20	0,041	\pm 0,003	1,894	\pm 0,13
175	10,07	\pm 1,20	0,029	\pm 0,003	1,353	\pm 0,12
200	9,07	\pm 1,19	0,025	\pm 0,002	1,179	\pm 0,12

^{1/} Valores seguidos da mesma letra entre híbridos não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{2/} Analisadas como interação de híbridos e doses. *, ** e ^{ns} Significativo ao 5, 1% e Não significativo.

A atividade fotossintética (A) na interação híbridos e doses apresentou comportamento linear nos híbridos Maximus e Status em resposta ao herbicida. Os outros híbridos apresentaram comportamento sigmoidal com forte efeito de queda em doses de glyphosate superiores a 125 g e.a ha⁻¹. Nas variáveis condutância estomática (Gs) e transpiração (E) apenas foi observado efeito geral das doses no desempenho dos híbridos caracterizado por diminuição geral mesmo com a dose mais baixa testada (Figura 9).

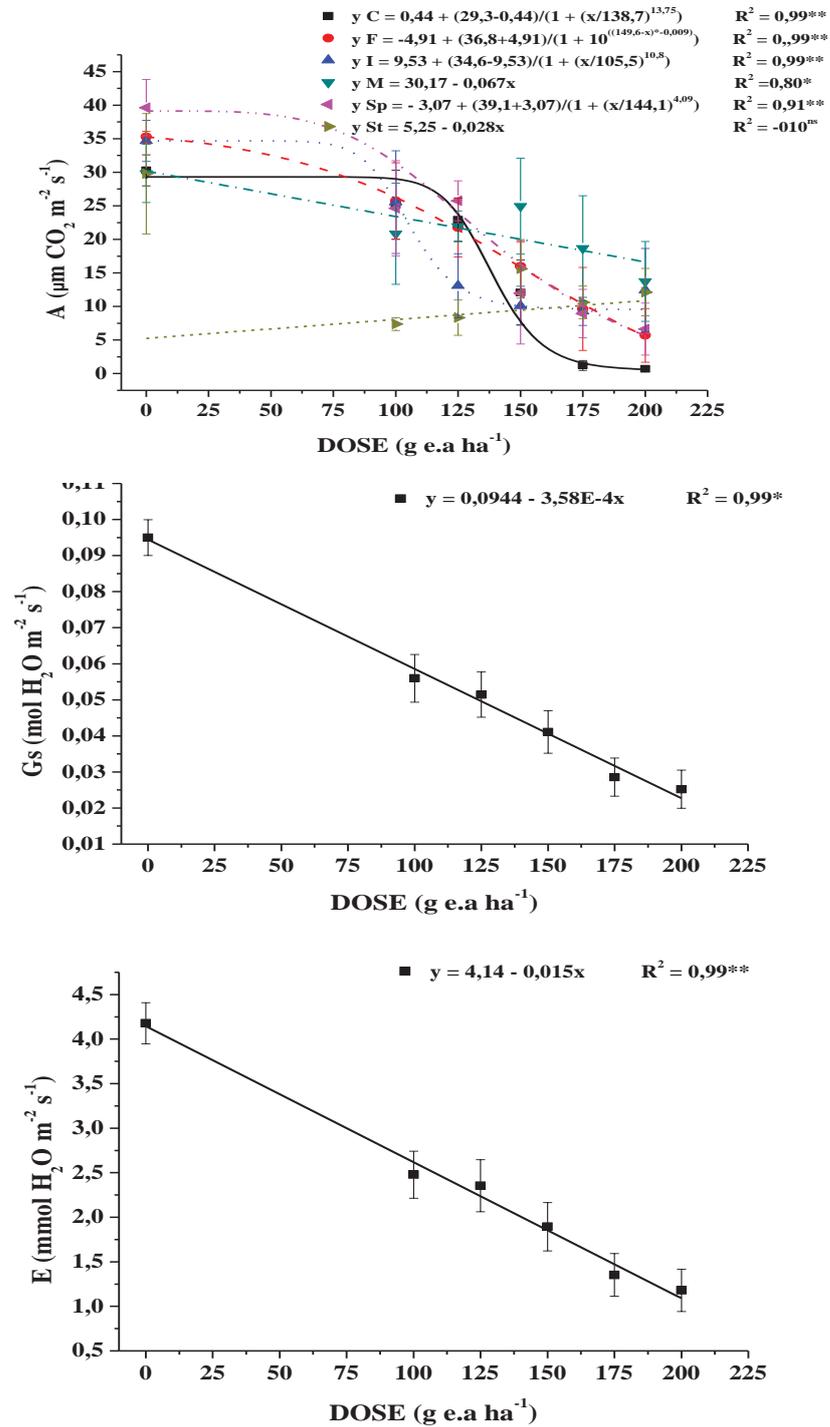


Figura 9. Representações gráficas das equações de regressão entre a taxa fotossintética (A), condutância estomática (Gs), transpiração (E) e doses de glyphosate em milho 10 DAA. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. ■ Celeron, ● Fórmula, ▲ Impacto, ▼ Maximus, ◀ Speed e ▶ Status.

Avaliações fotossintéticas posteriores não foram realizadas devido às plantas apresentarem a sua parte aérea, especialmente as folhas, fortemente afetadas pela aplicação do herbicida inviabilizando assim as leituras.

Todas as doses diferentes da testemunha provocaram taxas inferiores nas variáveis fotossintéticas e morte nas mais altas doses testadas (150 até 200 g e.a ha⁻¹), independente do híbrido. Este comportamento pode ser atribuído à resposta ao efeito fitotóxico do glyphosate no processo de formação de aminoácidos essenciais na divisão celular, crescimento e acumulação de massa (RODRIGUES, 2001).

Para acúmulo de massa seca foliar foi observada diferença significativa entre os híbridos. Os híbridos Speed e Impacto acumularam maior massa seca de folhas e foram estatisticamente superiores aos híbridos Celeron e Fórmula (Tabela 14). Para as doses, a testemunha sem herbicida atingiu o maior valor de massa seca de folhas e foi estatisticamente superior a todos os tratamentos que receberam glyphosate, e após concluído o ajuste da regressão, esta apresentou comportamento linear e sigmoidal na maioria dos híbridos.

A interação entre híbridos e doses (HxD) apresentou diferenças significativas (Tabela 15). Entre os híbridos para as doses, na testemunha, o híbrido Impacto obteve acúmulo de massa seca de folhas significativamente superior comparada com os demais híbridos. Com 100 g e.a ha⁻¹ o maior acúmulo de massa seca de folhas ocorreu com o híbrido Speed, igual ao híbrido Celeron e significativamente superior aos demais. Nas doses de 125, 150 e 200 g e.a ha⁻¹ não ocorreu diferenças entre os híbridos, porém na dose 175 g e.a ha⁻¹ o acúmulo de massa seca de folhas do híbrido Maximus foi significativamente superior ao obtido no híbrido Celeron.

Entre as doses na comparação para híbridos, todos apresentaram massa seca de folhas significativamente superior na testemunha sem aplicação de glyphosate. Os dados da interação híbridos e doses foram analisados e apresentaram comportamento sigmoidal para maioria dos híbridos e linear apenas para o híbrido Maximus. As quedas no acúmulo de massa seca de folhas com aplicação de 100 g e.a ha⁻¹ foi da ordem de

32% (híbrido Celeron) até 58% (híbrido Impacto), a qual foi maior com aumento da dose até atingir 87% (híbrido Status) e 99% (híbrido Celeron) com 200 g e.a ha⁻¹ de glyphosate (Figura 10).

Na produção de massa seca de caule foi observada tendência similar àquela apresentada para massa seca de folhas. Entre os híbridos, o Impacto acumulou maior massa de caule e foi estatisticamente superior aos demais. Entre as doses testadas, a testemunha sem herbicida apresentou o valor mais alto e superior estatisticamente a todos os demais tratamentos. Porém nas doses 125, 175 e 200 g e.a ha⁻¹ não houve diferenças entre híbridos (Tabela 15). As médias foram submetidas à análise de regressão e apresentadas como efeito da interação híbridos x doses.

Tabela 14. Análise estatística e médias ± EP para massa seca foliar (MSF, g) e de caule (MSC, g) no estudo de deriva de glyphosate em seis híbridos de milho. Experimento 2.

Tratamentos	Massa seca foliar		Massa seca caule	
	F	p	F	p
Híbrido (H)	4,45	0,00**	5,87	0,00**
Dose (D)	227,67	0,00**	97,80	0,00**
Interação (H*D)	3,60	0,00**	5,69	0,00**
C.V. (%)	28,38		43,16	
Híbridos				
Celeron	0,482	c ^{1/} ± 0,08	1,010	bc ± 0,18
Fórmula	0,514	c ± 0,09	0,880	c ± 0,15
Impacto	0,617	ab ± 0,13	1,546	a ± 0,40
Maximus	0,556	bc ± 0,08	1,165	b ± 0,13
Speed	0,659	a ± 0,12	1,111	bc ± 0,20
Status	0,516	c ± 0,08	0,952	bc ± 0,16
Dose (g e.a ha⁻¹)				
0	1,423	^{2/} ± 0,06	2,762	± 0,27
100	0,809	± 0,03	1,708	± 0,04
125	0,441	± 0,01	0,912	± 0,04
150	0,346	± 0,01	0,737	± 0,05
175	0,208	± 0,01	0,364	± 0,03
200	0,117	± 0,01	0,182	± 0,02

^{1/} Valores seguidos da mesma letra para híbridos não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{2/} Análise desdobrada para a interação dos híbridos e doses (H x D) nos diferentes híbridos. ** e ^{ns} Significativo a 1% e Não Significativo.

Tabela 15. Médias observadas no desdobramento de graus de liberdade da interação de híbridos x dose para massa seca foliar (MSF, g) no estudo de deriva de glyphosate em seis cultivares de milho. Experimento 2.

Tratamento	Dose (g e.a ha ⁻¹)					
	0	100	125	150	175	200
Híbridos						
Celeron	1,333 c * ^{1/}	0,955 ab	0,440 a	0,358 a	0,093 b	0,013 a
Fórmula	1,473 c	0,868 bc	0,475 a	0,280 a	0,213 ab	0,078 a
Impacto	2,133 a	0,860 bc	0,360 a	0,293 a	0,205 ab	0,150 a
Maximus	1,508 c	0,710 c	0,508 a	0,448 a	0,328 a	0,138 a
Speed	1,893 b	1,055 a	0,490 a	0,408 a	0,188 ab	0,123 a
Status	1,400 c	0,905 bc	0,373 a	0,293 a	0,225 ab	0,200 a

*Valores seguidos da mesma letra não na coluna diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

Nos híbridos pela análise da Tabela 16 se observa que na testemunha sem aplicação de herbicida, o desempenho significativamente superior foi para o híbrido Impacto. Na dose de 100 g e.a ha⁻¹ não ocorreu diferenças entre os híbridos. Em 125 g e.a ha⁻¹ massa seca de caule significativamente superior foi obtida no híbrido Maximus sobre o híbrido Status. Na aplicação de 150 g e.a ha⁻¹ a mesma cultivar também foi significativamente superior, desta vez, aos híbridos Fórmula e Impacto. Nas dosagens superiores não ocorreram diferenças entre os híbridos testados.

Tabela 16. Médias observadas no desdobramento de graus de liberdade da interação de híbridos x dose para massa seca caule (MSC, g) no estudo de deriva de glyphosate em seis híbridos de milho. Experimento 2.

Tratamento	Dose (g e.a ha ⁻¹)					
	0	100	125	150	175	200
Híbridos						
Celeron	2,625 bc * ^{1/}	1,572 a	0,823 ab	0,822 ab	0,252 a	0,017 a
Fórmula	2,130 c	1,735 a	0,903 ab	0,493 b	0,187 a	0,132 a
Impacto	4,272 a	1,808 a	0,875 ab	0,545 b	0,370 a	0,307 a
Maximus	2,275 bc	1,625 a	1,290 a	1,235 a	0,667 a	0,225 a
Speed	2,780 b	1,938 a	0,913 ab	0,660 ab	0,305 a	0,170 a
Status	2,540 bc	1,498 a	0,618 b	0,665 ab	0,403 a	0,240 a

*Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

No comportamento de cada cultivar nas doses ocorreu diferenças significativamente superiores da testemunha sem herbicida para todas as doses testadas. Para massa seca de folhas (Figura 10) apenas o híbrido Maximus apresentou comportamento linear com queda da produção (43%), diferente do ocorrido com os híbridos Status e Celeron (35 e 28%, respectivamente) que sofreram efeito menos evidente; com aplicação de 200 g e.a ha⁻¹ as quedas na produção de massa seca de folhas atingiram 90% no caso do híbrido Maximus e até 99% para o híbrido Celeron. No caso de massa seca de caule com aplicação de 100 g e.a ha⁻¹ de glyphosate as quedas no acúmulo foram de 21% no híbrido Fórmula até 57% no híbrido Impacto (Figura 10) as quais são mais bem explicadas após aplicação de regressão polinomial (híbrido Maximus) e não linear.

O produto do desempenho das atividades fotossintéticas das plantas é a fixação de CO₂ e finalmente a formação de açúcares e amido além de compostos como proteínas e vitaminas que posteriormente são estocados e utilizados pelo vegetal no seu crescimento. As doses maiores neste trabalho afetaram severamente e de forma irreversível (125-200 g e.a ha⁻¹) o funcionamento do aparato fotossintético interferindo nos processos ligados à rota do ácido chiquímico, o que segundo vários autores impedem a formação, entre outros processos, aminoácidos essenciais, á acumulação desses compostos levando-o a morte (RODRIGUES, 2001; VELINI et al., 2008).

Estes efeitos foram diferenciados entre os híbridos avaliados como resposta particular das características genéticas (FORNASIERI, 2007), espécies e até idade da planta (RODRIGUES, 2001; VELINI et al., 2008; SANGOI, 2010 e CARDOSO, 2010). As variações das doses no aparecimento de sinais de intoxicação entre os diferentes híbridos tratados demonstram diferentes níveis de sensibilidade ao glyphosate (FIGUEREDO et al., 2007 em tomate; WAGNER JUNIOR. et al., 2008 em maracujazeiro; COSTA et al., 2009 em pinhão- manso; FRANÇA et al., 2010 no cafeeiro, e MACHADO et al., 2010 em eucalipto).

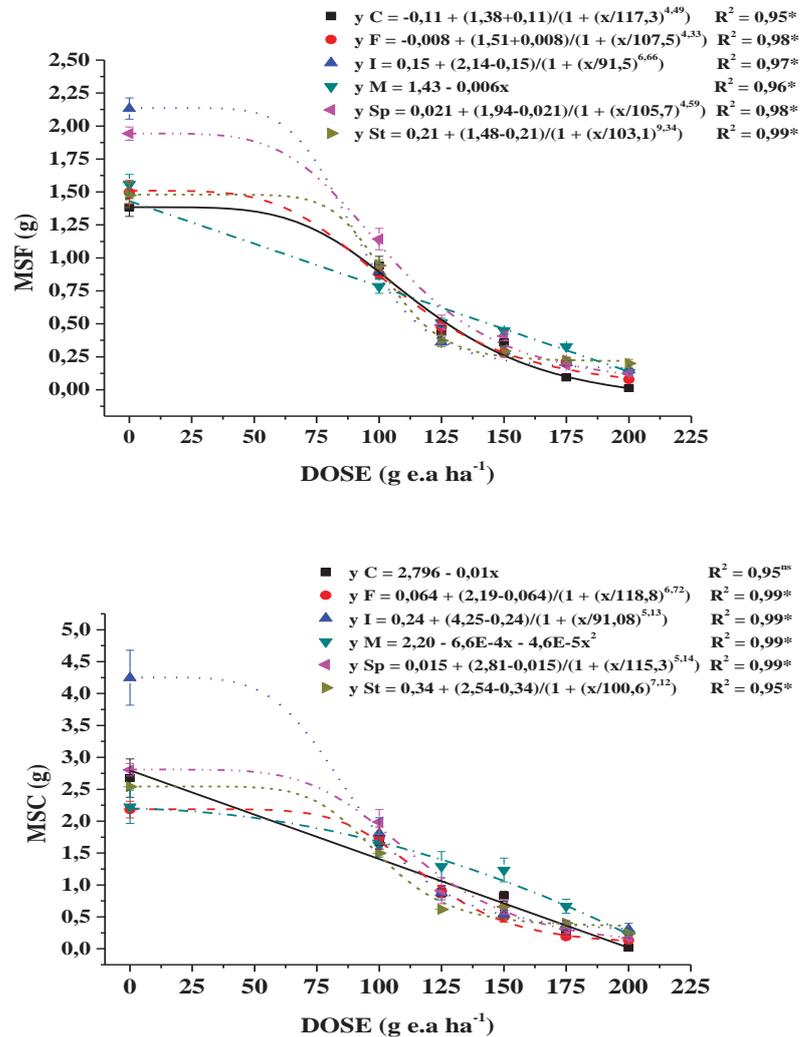


Figura 10. Representações gráficas das equações de regressão entre massa seca foliar de caule (MSF, MSC, g) e doses de glyphosate em seis híbridos de milho. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. ■ Celeron, ● Fórmula, ▲ Impacto, ▼ Maximus, ◀ Speed e ▶ Status.

4.2 Experimentos dose-resposta

Um terceiro experimento foi conduzido com o objetivo de estabelecer uma relação dose-resposta entre os híbridos e o herbicida glyphosate utilizando a formulação Roundup Ready[®]. Aos 7DAA (Tabela 17) o híbrido Speed apresentou os maiores sinais de intoxicação (49,5%) e os híbridos Celeron, Maximus e Status

apresentaram os menores índices de toxicidade, mostrando tendência semelhante aos 14 DAA. Os sinais de toxicidade aos 7 DAA foram clorose e avermelhamento nas folhas das plantas tratadas (40 g e.a ha⁻¹), efeitos estes que foram agravando com nanismo na medida em que se incrementou a dose do produto (≥ 80 g e.a ha⁻¹) e com o passar do tempo. Aos 14 DAA em algumas plantas ocorreram necroses foliares (Tabela 17). Entre as doses, efeitos significativamente superiores de toxicidade ocorreram com a maior dose (200 g e.a ha⁻¹), enquanto que, a dose menor (40 g e.a ha⁻¹) foi menos afetada em relação à testemunha. Aos 14 DAA os híbridos apresentaram a mesma tendência, porém a dose 40 g e.a ha⁻¹ e a testemunha sem aplicação foram estatisticamente similares e inferiores as demais doses em termos de fito intoxicação.

Na interação também ocorreu significância, porém para sua interpretação foram feitas análises de regressão não linear para a comparação das doses apresentando comportamento sigmoidal.

Para o desdobramento dos graus de liberdade da interação de híbridos e doses (Tabela 18), nos híbridos em cada dosagem, na 40 g e.a ha⁻¹ o híbrido Impacto apresentou índice de dano significativamente superior aos demais híbridos. Com 80 e 120 g e.a ha⁻¹ o híbrido Speed foi significativamente mais afetado pelo produto diferente do ocorrido com o híbrido Celeron. Com 160 e 200 g e.a ha⁻¹ os híbridos Speed e Fórmula apresentaram dano significativamente superior aos demais, entre eles o híbrido Status com os menores índices.

Para as doses nos diferentes híbridos, a análise de regressão não linear aplicada mostrou comportamento sigmoidal para as médias, caracterizados todos eles por apresentaram sinais de toxicidade significativamente superiores na dose de 200 g e.a ha⁻¹ em ordem decrescente (Figura 11). O híbrido Impacto apresentou os maiores sinais de intoxicação na dose de 40 g e.a ha⁻¹. Em doses superiores, maiores sinais de intoxicação ocorreram no híbrido Speed, enquanto que o híbrido Status apresentou os menores sinais de dano (Figura 12), mostrando rápido incremento do dano com doses entre 40 e 120 g e.a ha⁻¹ e menos evidente a partir de 160 g e.a ha⁻¹.

Tabela 17. Análise de variância e médias \pm EP para toxicidade (T, %) aos 7 e 14 DAA no estudo de dose resposta de glyphosate em seis híbridos de milho. Experimento 3.

Variável	T 7 (%)		T 14 (%)	
	F	p	F	p
Híbrido (H)	49,884	0,00**	38,82	0,00**
Dose (D)	1149,156	0,00**	2045,30	0,00**
Interação (H*D)	12,796	0,00**	12,50	0,00**
C.V. (%)	13,60		11,30	
Híbridos				
Celeron	34,0	d ^{1/} \pm 5,9	42,9	c \pm 7,0
Fórmula	40,2	c \pm 5,5	47,7	b \pm 7,6
Impacto	43,3	b \pm 5,4	45,1	c \pm 6,9
Maximus	34,0	d \pm 5,3	35,0	e \pm 5,9
Speed	49,5	a \pm 6,7	50,7	a \pm 7,7
Status	31,8	d \pm 4,3	39,9	d \pm 6,9
Dose (g e.a ha⁻¹)				
0	0,0	^{2/} \pm 0,0	0,0	^{2/} \pm 0,0
40	6,8	\pm 0,4	2,2	\pm 0,9
80	30,0	\pm 0,9	26,2	\pm 1,9
120	47,0	\pm 1,4	55,3	\pm 2,7
160	67,0	\pm 2,9	81,6	\pm 2,9
200	82,0	\pm 3,3	96,0	\pm 2,3

^{1/} Valores seguidos da mesma letra para híbridos não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{2/} Análise desdobrada para a interação dos híbridos e doses (H x D) nos diferentes híbridos. ** e ^{ns} Significativo a 1% e Não Significativo.

A análise de variância também apresentou significância para a interação H x D aos 14 DAA (Tabela 19). Para os híbridos em cada dose, com 40 g e.a ha⁻¹ o maior efeito tóxico ocorreu no híbrido Impacto e foi superior aos híbridos Celeron, Speed e Status. Em 80 g e.a ha⁻¹ o híbrido Speed foi significativamente afetado quando comparado com os híbridos Celeron, Fórmula e Status e com 120 g e.a ha⁻¹ ocorreu o mesmo comportamento com o híbrido Speed apresentando os maiores efeitos tóxicos e o híbrido Status com menor índice de dano. Na dose de 160 g e.a ha⁻¹ os híbridos Speed e Fórmula foram estatisticamente similares e significativamente superiores aos demais híbridos. Em aplicação de 200 g e.a ha⁻¹ o híbrido Maximus apresentou sinais de fito toxicidade significativamente inferiores aos híbridos Fórmula, Impacto e Speed.

Tabela 18. Médias observadas no desdobramento de graus de liberdade da interação de híbridos x dose para toxicidade aos 7 DAA no estudo de dose resposta de glyphosate em milho. Experimento 3.

Variável	Dose (g e.a ha ⁻¹)					
	0	40	80	120	160	200
Híbridos						
Celeron	0,0 a ^{1/}	5,0 b*	18,0 d	35,0 d	58,0 c	88,0 a
Fórmula	0,0 a	4,0 b	25,0 c	42,0 c	80,0 a	90,0 a
Impacto	0,0 a	14,0 a	36,0 b	61,0 b	70,0 b	79,0 b
Maximus	0,0 a	6,0 b	25,0 c	31,0 d	65,0 b	77,0 b
Speed	0,0 a	5,0 b	48,0 a	69,0 a	82,0 a	93,0 a
Status	0,0 a	8,0 b	28,0 c	44,0 c	47,0 d	65,0 c

*Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

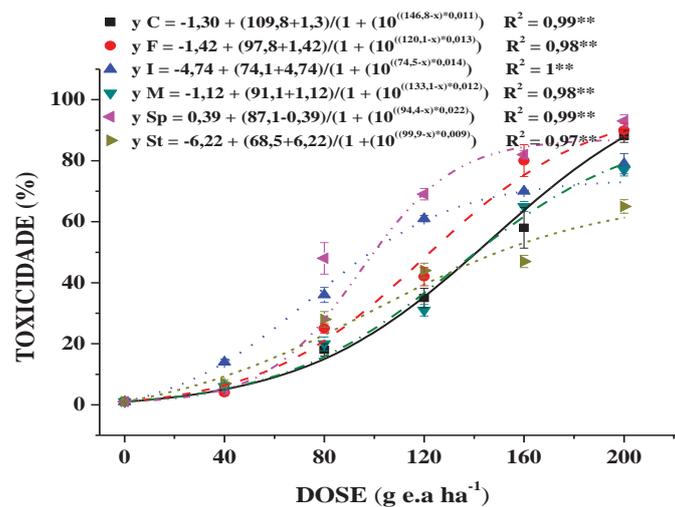


Figura 11. Representações gráficas das equações de regressão para toxicidade aos 7 DAA e doses de glyphosate em seis híbridos de milho. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. ■ Celeron, ● Fórmula, ▲ Impacto, ▼ Maximus, ◀ Speed e ▶ Status.

Comparando as doses de glyphosate dentro de cada cultivar, danos significativamente maiores foram ocasionados quando os híbridos receberam doses de 200 e 160 g e.a ha⁻¹ com exceção dos híbridos Fórmula e Speed. Na dose de 40 g e.a ha⁻¹ foram significativamente iguais à testemunha com exceção do híbrido Impacto que apresentou maior nota de fito toxicidade (Figura 12). Observa-se que no híbrido Speed

ocorre um rápido incremento de dano com acréscimo da dose acima de 80 g e do híbrido Fórmula na dose de 120 g e.a ha⁻¹, ao contrário dos híbridos Maximus e Status nas doses 120 e 160 g e.a ha⁻¹.

Os efeitos tóxicos apresentados da aplicação de glyphosate foi evidenciado pelas diferenças entre os híbridos, com alta suscetibilidade e outros com sinais menos visíveis que variaram entre clorose, avermelhamento da parte abaxial das folhas e ou nervuras. Essas diferenças podem ser atribuídas a diferenças genéticas entre os híbridos como resposta ao estresse químico (RODRIGUES, 2001; FORNASIERI, 2009; CARDOSO, 2010), e ainda morfofisiológicas, especialmente às diferenças estruturais na composição foliar o que pode limitar a absorção e transporte do produto (RODRIGUES, 2001; TUFFI SANTOS et al., 2006).

Independente dos híbridos, as doses de glyphosate também tiveram comportamento diferente, com efeitos temporais e reversíveis na dose menor, mas com aumento na intensidade dos efeitos com incremento da dose de herbicida e no decorrer do tempo após aplicação, caracterizados por paralisação do crescimento, empilhamento foliar (folhas sem expandir) até necrose no limbo. Estes sinais foram citados por RODRIGUES (2001) e RODRIGUES e ALMEIDA (2011) como resposta de plantas susceptíveis submetidas ao glyphosate, porém diferente do encontrado por MAGALHAES et al. (2001a) os quais não acharam diferenças na aplicação de 28,8 até 172 g ha⁻¹ testadas no milho.

Nas análises estatísticas foram observadas diferenças entre os tratamentos para as características altura de planta aos 7, 14 DAA e área foliar (Tabela 20). Para altura de planta o híbrido Celeron foi significativamente superior aos demais híbridos aos sete e quatorze dias. Na avaliação de área foliar, os híbridos Impacto e Speed, foram significativamente inferiores aos demais. Para as diferentes doses assim como as interações, as médias foram analisadas por regressão não linear apresentando ajuste de tipo sigmoidal.

Tabela 19. Médias observadas no desdobramento de graus de liberdade da interação de híbridos x dose para toxicidade aos 14 DAA no estudo de dose resposta de glyphosate em milho. Experimento 3.

Variável	Dose (g e.a ha ⁻¹)					
	0	40	80	120	160	200
Híbridos						
Celeron	0,0 a ^{*1/}	0,0 b	25,0 b	57,0 c	79,0 c	96,8 ab
Fórmula	0,0 a	2,0 ab	24,0 b	69,0 b	93,8 a	97,4 a
Impacto	0,0 a	8,0 a	28,0 ab	50,0 d	87,0 b	97,4 a
Maximus	0,0 a	2,0 ab	26,0 ab	33,0 e	58,0 d	91,0 b
Speed	0,0 a	1,0 b	32,0 a	79,0 a	94,0 a	98,0 a
Status	0,0 a	0,0 b	22,0 b	44,0 d	78,0 c	95,6 ab

*Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

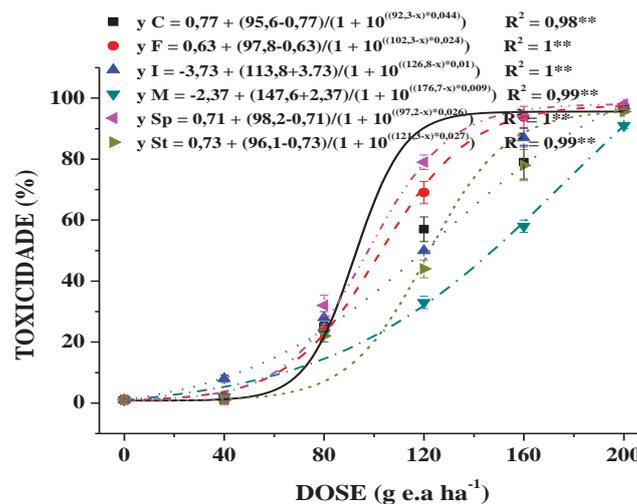


Figura 12. Representações gráficas das equações de regressão entre toxicidade aos 14 DAA e doses de glyphosate em seis híbridos de milho. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. ■ Celeron, ● Fórmula, ▲ Impacto, ▼ Maximus, ◀ Speed e ▶ Status.

Para híbridos dentro de cada dose de glyphosate na interação H x D ocorreu diferença para altura de plantas aos 7 DAA (Tabela 21). Na dose zero o híbrido Celeron atingiu valor significativamente superior aos híbridos Fórmula e Speed. Na dose 40 g e.a ha⁻¹, o híbrido Maximus foi estatisticamente similar ao híbrido Celeron e

significativamente superior aos híbridos Impacto e Speed. Em 80 g e.a ha⁻¹ o híbrido Celeron foi significativamente superior a todos os demais híbridos. Em 120 g e.a ha⁻¹ de glyphosate o híbrido Celeron atingiu a maior altura e foi estatisticamente similar ao híbrido Maximus e significativamente superior aos demais híbridos e com 160 e 200 g e.a ha⁻¹ foi significativamente superior aos demais (Tabela 21).

Tabela 20. Análise de variância e médias ± EP para altura de planta (cm) e área foliar (cm²) no estudo de dose resposta de glyphosate em seis híbridos de milho. Experimento 3.

Variável	Al 7 (cm)		Al 14 (cm)		AF (cm ²)	
	F	p	F	p	F	p
Híbrido (H)	22,21	0,00010**	19,91	0,0001**	21,15	0,0001**
Dose (D)	426,70	0,00010**	316,73	0,0001**	390,69	0,0001**
Interação (H*D)	2,87	0,00004**	2,33	0,0009**	2,88	0,0001**
C.V. (%)	7,64		9,54		23,63	
Híbridos						
Celeron	11,83	a ^{1/} ± 0,50	13,05	a ± 0,67	363,49	a ± 57,39
Fórmula	10,39	bc ± 0,55	11,46	bc ± 0,65	291,62	b ± 47,38
Impacto	9,79	d ± 0,58	10,38	d ± 0,67	208,75	c ± 35,09
Maximus	10,62	b ± 0,62	11,32	bc ± 0,67	315,43	b ± 42,99
Speed	10,16	cd ± 0,52	10,95	c ± 0,61	235,23	c ± 43,49
Status	10,47	bc ± 0,61	11,52	b ± 0,67	317,57	b ± 45,36
Dose (g e.a ha⁻¹)						
0	14,79	^{2/} ± 0,09	15,78	± 0,10	587,06	± 13,36
40	13,87	± 0,18	15,64	± 0,25	570,33	± 21,82
80	10,06	± 0,23	11,74	± 0,33	328,35	± 16,55
120	8,57	± 0,16	9,03	± 0,13	135,04	± 10,17
160	8,00	± 0,17	8,49	± 0,20	76,18	± 6,41
200	7,99	± 0,10	8,01	± 0,10	35,11	± 5,49

^{1/} Valores seguidos da mesma letra para híbridos não diferem estatisticamente (LSD Fischer,5%).

^{2/} Análise desdobrada para a interação dos híbridos e doses (H x D) nas diferentes híbridos. ** e ^{ns} Significativo a 1% e Não Significativo.

As diferenças entre a dose 40 e a testemunha oscilaram entre 3% de acréscimo no Maximus e queda de 13% nos híbridos Impacto e Speed (Figura 13). Acréscimos na dose demonstram desempenho diferente entre os híbridos, porém com queda nas médias de altura de plantas em todas elas.

Tabela 21. Médias observadas no desdobramento de graus de liberdade da interação de híbridos x dose para de altura de planta aos 7 DDA no estudo de dose resposta de glyphosate em seis híbridos de milho. Experimento 3.

Variável	Dose (g e.a ha ⁻¹)					
	0	40	80	120	160	200
Híbridos						
Celeron	15,70 a* ^{1/}	14,46 ab	12,02 a	9,98 a	9,82 a	9,02 a
Fórmula	14,12 b	14,06 b	9,98 bc	8,90 bc	7,66 b	7,62 b
Impacto	14,80 ab	12,76 c	8,48 d	7,68 c	7,36 b	7,68 b
Maximus	14,72 ab	15,14 a	9,22 cd	9,00 ab	7,68 b	7,98 b
Speed	14,62 b	12,66 c	9,66 c	7,94 bc	7,98 b	8,12 ab
Status	14,78 ab	14,14 ab	10,98 b	7,92 bc	7,42 b	7,60 b

* Valores seguidos da mesma letra na coluna não deferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

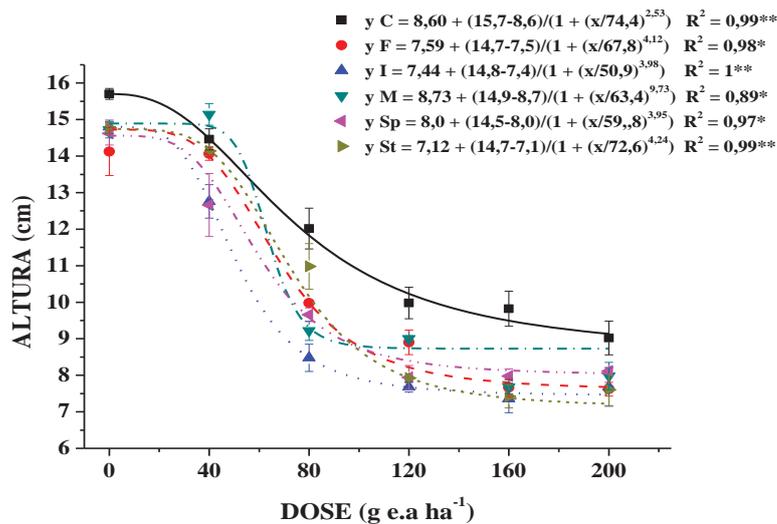


Figura 13. Representações gráficas das equações de regressão entre altura de planta e doses de glyphosate aos 7 DAA em seis híbridos de milho. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. ■ Celeron, ● Fórmula, ▲ Impacto, ▼ Maximus, ◆ Speed e ► Status.

Na análise de altura de plantas aos 14 DAA também ocorreu diferença significativa para a interação H x D (Tabela 22). Para os híbridos dentro de cada dose, na testemunha sem herbicida o híbrido Celeron apresentou a maior altura de planta superando os híbridos Fórmula e Maximus. Com 40 g e.a ha⁻¹ o mesmo híbrido Celeron

também atingiu o maior altura (17,68 cm) estatisticamente similar ao híbrido Maximus e superior ao demais híbridos. Com 80 g e.a ha⁻¹ de glyphosate o híbrido Celeron continuou tendo a maior altura (14,10 cm), foi estatisticamente similar ao híbrido Status e significativamente superior outros híbridos. Na aplicação de 120 g e.a ha⁻¹ apenas os híbridos Impacto e Speed foram significativamente inferiores a Celeron (10,08 cm). Em 160 g e.a ha⁻¹ de glyphosate o Celeron apresentou a maior altura e foi significativamente superior aos demais híbridos, semelhante ao ocorrido com 200 g e.a ha⁻¹, porém apenas superior aos híbridos Fórmula, Impacto e Status (Tabela 22).

Tabela 22. Médias observadas no desdobramento de graus de liberdade da interação de híbridos x dose para altura de planta aos 14 DAA no estudo de dose resposta de glyphosate em seis híbridos de milho. Experimento 3.

Variável	Dose (g e.a ha ⁻¹)					
	0	40	80	120	160	200
Híbridos						
Celeron	16,80 a ^{*1/}	17,68 a	14,10 a	10,08 a	10,56 a	9,06 a
Fórmula	15,38 b	15,62 bc	12,60 b	9,08 abc	8,48 b	7,62 b
Impacto	16,06 ab	13,96 c	9,16 d	8,08 c	7,36 b	7,68 b
Maximus	15,36 b	16,42 ab	10,46 cd	9,50 ab	8,22 b	7,98 ab
Speed	15,66 ab	14,32 cd	11,06 c	8,56 bc	8,00 b	8,12 ab
Status	15,46 ab	15,84 b	13,04 ab	8,88 abc	8,30 b	7,60 b

* Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

Após ter submetidas as médias de doses à análise de regressão não linear as quais corresponderam a um ajuste de tipo sigmoidal e observou-se acréscimos na comparação da dose 40 com a testemunha na ordem de 5 e 7% (híbridos Celeron e Maximus, respectivamente) e quedas de 8 e 15% nos híbridos Speed e Impacto (Figura 14). Doses maiores levaram a quedas maiores no desempenho de todos os híbridos. É interessante observar que as inflexões das curvas intensificando os efeitos do glyphosate sobre a altura das plantas de milho ocorreu em doses menores para os híbridos Speed e Impacto. Apesar do híbrido Celeron ter apresentado maiores valores

de altura, o comportamento da curva de regressão foi bastante similar aos híbridos Fórmula, Maximus e Status.

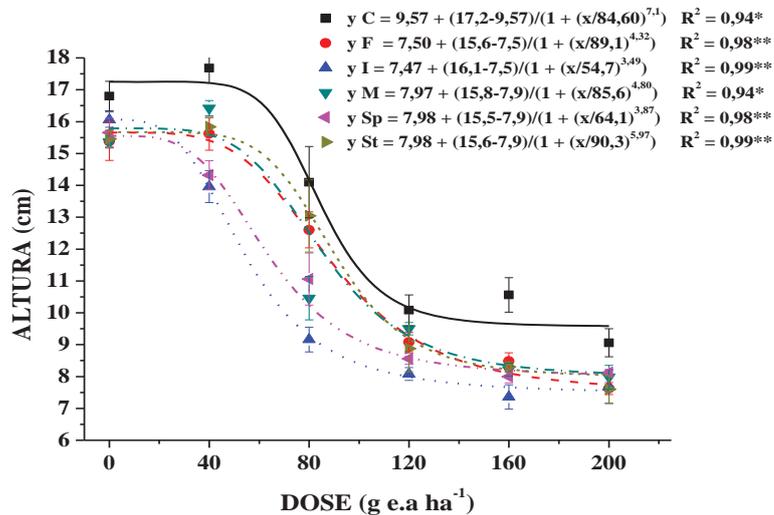


Figura 14. Representações gráficas das equações de regressão entre altura de planta e doses de glyphosate aos 14 DAA em seis híbridos de milho. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. ■ Celeron, ● Fórmula, ▲ Impacto, ▼ Maximus, ▲ Speed e ▼ Status.

A análise estatística também apresentou significância para a interação HxD na variável área foliar (Tabela 23). Na testemunha sem herbicida e na dose 40 g e.a ha⁻¹ para os diferentes híbridos ocorreu formação de área foliar significativamente maior para o híbrido Celeron em relação aos demais híbridos. Em 80 g e.a ha⁻¹ o híbrido Celeron ainda apresentou maior área foliar estatisticamente similar aos híbridos Fórmula e Status, porém significativamente superior aos demais. Em 120 g e.a ha⁻¹ o maior desenvolvimento da área foliar foi para o híbrido Maximus que foi significativamente superior aos híbridos Impacto e Speed. Nas doses 160 e 200 g e.a ha⁻¹ não ocorreu diferença estatística entre os híbridos (Tabela 23).

Tabela 23. Médias de área foliar (AF, cm²) para a interação de híbridos e doses (H x D) no estudo de dose resposta em seis híbridos de milho. Experimento 3.

Variável	Dose (g e.a ha ⁻¹)					
	0	40	80	120	160	200
Híbridos						
Celeron	712,91 a ^{*1/}	737,89 a	437,65 a	178,22 a	103,26 a	11,01 a
Fórmula	583,72 b	567,84 bc	402,36 ab	140,56 ab	45,31 a	9,93 a
Impacto	496,13 c	389,79 d	192,32 d	83,74 bc	47,30 a	43,24 a
Maximus	611,67 b	587,30 b	322,06 bc	183,11 a	99,74 a	88,69 a
Speed	543,43 bc	497,41 c	261,64 cd	50,44 c	41,67 a	16,80 a
Status	574,51 bc	641,78 b	354,08 ab	174,20 a	119,82 a	41,03 a

* Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

A análise dos efeitos de doses dentro de cada híbrido foi realizada mediante regressão não linear e correspondeu a um ajuste de tipo sigmoidal (Figura 16). Com aplicação de 40 g e.a ha⁻¹ os híbridos Celeron e Status apresentaram acréscimo no acúmulo de área foliar de 3,5 e 12%, respectivamente (Figura 15) enquanto que os demais apresentaram queda na formação de área foliar (2 e 21%). Doses maiores diminuíram o acúmulo de área foliar em todos os híbridos, porém com diferenças na resposta na medida que a dose foi aumentada. Apesar da diferença de magnitude de valores entre os híbridos, os comportamentos das curvas foram bastante similares.

Comportamento diferente das variáveis agronômicas mencionadas entre híbridos de milho foram verificadas também para outras espécies agrícolas como algodão em 270 g ha⁻¹ e 180 g ha⁻¹ de glyphosate (YAMASHITA e GUIMARAES, 2005), e com 54 g ha⁻¹ (NEVES e FULANE Jr., 2009), no cafeeiro após 120 dias da aplicação em doses de 57,8 g ha⁻¹ de glyphosate (FRANÇA et al., 2010), em cevada com dose próxima de 100 g e.a ha⁻¹ (CEDERGREEN et al., 2009), eucalipto com 43,2 g ha⁻¹ (TUFFI SANTOS et al., 2006 e MACHADO et al., 2010), pinhão-manso com até 45 g ha⁻¹ (COSTA et al., 2009), soja geneticamente modificada com tolerância ao glyphosate com doses acima de 800 g e.a ha⁻¹ (ZOBIOLE et al., 2010; 2011).

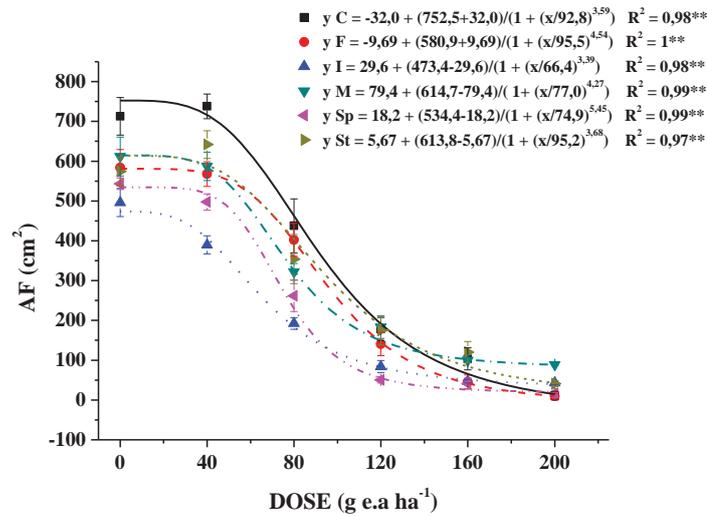


Figura 15. Representações gráficas das equações de regressão entre área foliar (AF) e doses de glyphosate em seis híbridos de milho. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. ■ Celeron, ● Fórmula, ▲ Impacto, ▼ Maximus, ▲ Speed e ▼ Status.

Em milho (MAGALHAES et al., 2001a) com doses variáveis de glyphosate até 115 g ha^{-1} não encontraram qualquer efeito negativo, assim como, no maracujazeiro com doses de até $86,4 \text{ g ha}^{-1}$ também não promoveram efeitos prejudiciais (WAGNER JUNIOR et al., 2008). Por outro lado, FIGUEREDO et al. (2007) concluíram que todas as dosagens testadas em tomate (15-90% dose comercial de 1260 g ha^{-1}) foram tóxicas à cultura com sintomas como clorose, paralisação de crescimento (dose de até 15%) e morte de plantas nas dosagens maiores (superior 30%).

No milho ELLIS et al. (2003) e BROWN et al. (2009) encontraram que todas as doses de glyphosate testadas ($9-140 \text{ g ha}^{-1}$ e $10-200 \text{ g ha}^{-1}$, respectivamente) provocaram redução na altura de planta. Respostas variáveis podem ocorrer quando diferentes espécies submetidas à exposição do glyphosate, entre cultivares da mesma espécie e ainda entre estádios diferentes de desenvolvimento considerando suas diferenças nas características morfológicas, anatômicas ou bioquímicas dessas plantas, alterando o processo de absorção e transporte do herbicida até atingir o local de ação (VELINI et al., 2008; ZOBIOLE et al., 2010; CARDOSO et al., 2010).

O desempenho da área foliar apresentou de modo geral diferenças na resposta entre híbridos. Esta resposta pode ser explicada como o resultado dos efeitos negativos das altas doses nos processos fotossintéticos que resultam na produção e acúmulo de massa das plantas como foi mencionado por outros autores em varias pesquisas em culturas diferentes (VELINI et al., 2008; FRANÇA et al., 2010; MACHADO et al., 2010), o qual é evidenciado pela acentuada queda no processo fotossintético e que foi refletido de forma direta na produção e acúmulo de massa.

As análises estatísticas realizadas para massa fresca de folha apresentaram diferenças entre os tratamentos (Tabela 24). Os híbridos o Status, Maximus e Fórmula apresentaram os maiores acúmulos de massa fresca de folha e foram significativamente superiores aos híbridos Speed, Impacto e Celeron. No caso da massa fresca de caule, os híbridos Status, Impacto e Celeron apresentaram valores estatisticamente similares e foram significativamente superiores aos outros híbridos.

Para massa fresca da parte aérea, assim como observado para massa fresca de caule os valores obtidos para os híbridos Status, Fórmula e Maximus foram significativamente maiores que os híbridos Celeron, Impacto e Speed (Tabela 24). Para doses de glyphosate foram realizadas análises de regressão não linear as quais mostraram tendência sigmoideal para massa fresca de folhas, de caule e da parte aérea.

As análises estatísticas também apresentaram significância para a interação H x D na produção de massa fresca de folhas (Tabela 25). Para os híbridos em cada dose de glyphosate, o híbrido Celeron acumulou a menor massa e foi significativamente inferior aos demais híbridos na testemunha. Com 40 g e.a ha⁻¹ o híbrido Status atingiu a maior massa fresca e foi significativamente superior aos híbridos Speed, Impacto e Celeron. Em 80 g e.a ha⁻¹ o maior acúmulo de massa fresca foi do híbrido Fórmula estatisticamente similar ao híbrido Status e significativamente superior aos demais híbridos. Em 120 g e.a ha⁻¹ o híbrido Maximus acumulou maior massa fresca, similar aos híbridos Status e Fórmula, porém, significativamente superior aos demais híbridos. Nas doses 160 e 200 g e.a ha⁻¹ não ocorreu diferenças entre os híbridos (Tabela 25).

Tabela 24. Análise de variância e médias \pm EP para massa fresca de folha (MFF, g), massa fresca de caule (MFC, g) e massa fresca aérea (MFA, g) no estudo de dose resposta de glyphosate em seis híbridos de milho. Experimento 3.

Variável	Massa fresca foliar		Massa fresca caule		Massa fresca aérea	
	F	p	F	p	F	p
Híbrido (H)	14,77	0,00010**	11,44	0,0001**	14,16	0,0001**
Dose (D)	207,99	0,00010**	95,19	0,0001**	150,79	0,0001**
Interação (H*D)	2,29	0,00100**	1,84	0,0780*	1,84	0,0140*
C.V. (%)	32,89		41,63		14,61	
Híbridos						
Celeron	7,51	c ^{1/} \pm 1,16	9,94	b \pm 1,27	17,45	b \pm 2,42
Fórmula	12,51	a \pm 2,06	16,05	a \pm 2,54	28,56	a \pm 4,59
Impacto	8,52	bc \pm 1,49	10,26	b \pm 1,62	18,79	b \pm 3,11
Maximus	12,88	a \pm 1,73	16,43	a \pm 1,82	29,31	a \pm 3,54
Speed	9,58	b \pm 1,90	10,46	b \pm ,77	20,04	b \pm 3,66
Status	13,21	a \pm 1,93	16,89	a \pm 1,99	30,10	a \pm 3,90
Dose (g e.a ha⁻¹)						
0	21,40	^{2/} \pm 0,75	24,48	\pm 1,09	45,88	\pm 1,79
40	21,69	\pm 0,91	24,24	\pm 0,98	45,93	\pm 1,88
80	12,47	\pm 0,62	16,87	\pm 1,01	29,34	\pm 1,60
120	5,02	\pm 0,53	7,70	\pm 0,64	12,73	\pm 1,14
160	2,54	\pm 0,26	4,67	\pm 0,43	7,21	\pm 0,69
200	1,08	\pm 0,21	2,07	\pm 0,34	3,16	\pm 0,54

^{1/} Valores seguidos da mesma letra para híbridos não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{2/} Análise desdobrada para a interação dos híbridos e doses (H x D) nas diferentes híbridos. * e **s Significativo a 5, 1%.

Tabela 25. Médias observadas no desdobramento de graus de liberdade da interação de híbridos x dose para massa fresca de folha (MFF, g) no estudo de dose resposta de glyphosate em seis híbridos de milho. Experimento 3.

Variável	Dose (g e.a ha ⁻¹)											
	0	40	80	120	160	200						
Híbridos												
Celeron	13,57	b ^{*1/}	15,22	c	10,30	bc	3,37	bc	2,39	a	0,20	a
Fórmula	23,94	a	25,59	ab	17,68	a	5,98	ab	1,53	a	0,36	a
Impacto	20,69	a	16,05	c	8,38	c	3,03	bc	1,66	a	1,33	a
Maximus	24,52	a	23,72	ab	13,27	b	9,22	a	3,51	a	3,06	a
Speed	21,87	a	22,30	b	10,54	bc	1,45	c	1,20	a	0,13	a
Status	23,80	a	27,27	a	14,67	ab	7,11	ab	4,98	a	1,42	a

* Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

A análise de regressão mostrou acréscimo no acúmulo de massa fresca foliar no híbrido Status (14%) e decréscimo no híbrido Impacto (22%) quando receberam 40 g e.a ha⁻¹, porém doses maiores diminuíram o seu desempenho (Figura 16). Acréscimos nas doses de glyphosate refletiram em forma diferente na queda de massa fresca foliar dos híbridos.

As análises estatísticas mostraram ocorrência de significância para a interação H x D na produção de massa fresca de caule. Comparando os híbridos em cada dose de glyphosate, o híbrido Celeron acumulou a menor massa e foi significativamente inferior aos demais híbridos na testemunha sem herbicida. Com 40 g e.a ha⁻¹ o híbrido Status atingiu a maior massa fresca e suplantou estatisticamente os híbridos Speed, Impacto e Celeron. Em 80 g e.a ha⁻¹ o maior acúmulo de massa fresca foi do híbrido Fórmula semelhante aos híbridos Status e Maximus e significativamente superior aos demais híbridos. Em 120 g e.a ha⁻¹ o híbrido Status acumulou maior massa fresca, significativamente superior aos híbridos Impacto e Speed. Nas doses 160 e 200 g e.a ha⁻¹ não ocorreram diferenças entre os híbridos (Tabela 26).

As médias das doses dentro de cada híbrido foram submetidas à análises de regressão não linear apresentando tendência sigmoideal. A aplicação de 40 g e.a ha⁻¹ promoveu acúmulo de massa fresca de caule entre 18 e 19% (híbridos Celeron e Status, respectivamente), mas também diminuiu o desempenho dos híbridos Impacto e Fórmula (14 e 17%, respectivamente). Doses maiores diminuíram o acúmulo de massa fresca de caule em todos os híbridos (Figura 17). Com exceção do híbrido Celeron, todos os demais híbridos apresentaram a mesma tendência frente às doses de glyphosate, com pontos de inflexão bastante próximos. No híbrido Celeron, ocorreu uma tendência sigmoideal, porém com forte componente linear sem definir um ponto de inflexão flagrante.

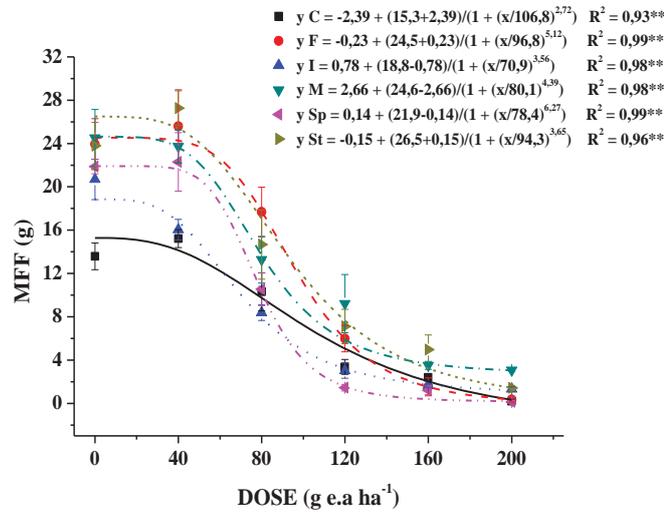


Figura 16. Representações gráficas das equações de regressão entre massa fresca foliar (MFF) e doses de glyphosate em seis híbridos de milho. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. ■ Celeron, ● Fórmula, ▲ Impacto, ▼ Maximus, ▲ Speed e ▼ Status.

Tabela 26. Médias observadas no desdobramento de graus de liberdade da interação de híbridos x dose para massa fresca de caule (MFC, g) no estudo de dose resposta de glyphosate em seis híbridos de milho. Experimento 3.

Variável	Dose (g e.a ha ⁻¹)					
	0	40	80	120	160	200
Híbridos						
Celeron	15,20 c ^{*1/}	17,92 c	14,88 bc	6,05 abc	4,94 a	0,67 a
Fórmula	33,03 a	28,49 ab	23,33 a	7,61 abc	2,95 a	0,90 a
Impacto	22,85 b	19,01 c	10,43 c	4,68 bc	2,34 a	2,28 a
Maximus	27,47 ab	26,82 ab	21,13 ab	11,12 ab	6,69 a	5,32 a
Speed	22,17 b	22,05 bc	10,99 c	4,12 c	2,96 a	0,46 a
Status	26,10 ab	31,20 a	20,50 ab	12,60 a	8,10 a	2,80 a

* Valores seguidos da mesma letra na coluna não deferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%)

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

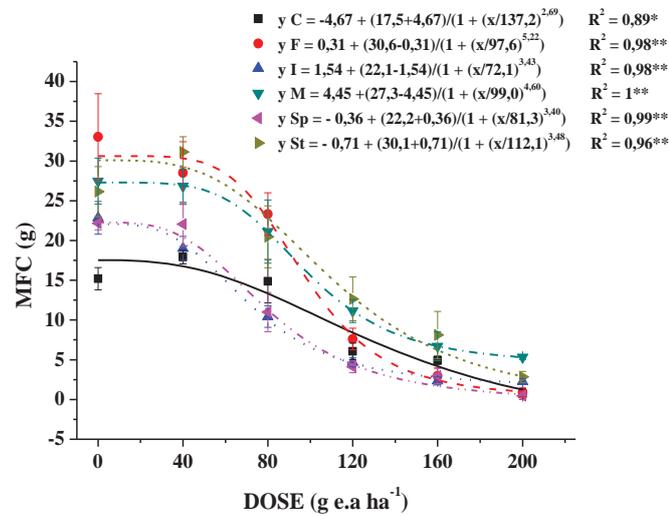


Figura 17. Representações gráficas das equações de regressão entre massa fresca de caule (MFC) e doses de glyphosate em seis híbridos de milho. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. ■ Celeron, ● Fórmula, ▲ Impacto, ▼ Maximus, ▲ Speed e ▼ Status.

Na interação H x D para massa fresca da parte aérea (Tabela 27), na comparação de híbridos para cada dose, na testemunha sem herbicida o híbrido Fórmula acumulou o maior valor e foi estatisticamente similar aos híbridos Status e Maximus e significativamente superior aos outros híbridos. Com 40 g e.a ha⁻¹ de glyphosate o híbrido Status atingiu o maior acúmulo de massa fresca aérea e foi estatisticamente similar aos híbridos Maximus e Fórmula e significativamente superior aos demais híbridos. Com 80 g e.a ha⁻¹ de glyphosate os híbridos apresentaram comportamento semelhante ao observado na testemunha com o híbrido Fórmula mostrando o maior valor. Na dose de 120 g e.a ha⁻¹ o híbrido Maximus obteve a maior massa fresca da parte aérea, foi estatisticamente similar aos híbridos Fórmula e Status, e significativamente superior aos outros híbridos. Ante aplicações de 160 e 200 g e.a ha⁻¹ de glyphosate não houve diferenças nos valores observados para os híbridos no acúmulo de massa fresca da parte aérea (Tabela 27).

As médias de doses na interação foram analisadas mediante modelo de regressão não linear e apresentaram ajuste de tipo sigmóide (Figura 18). A exemplo da

massa fresca de caule, as curvas de regressão mostraram comportamento similares para os pontos de inflexão, exceto para o híbrido Celeron em que houve um forte componente linear no modelo.

Tabela 27. Médias observadas no desdobramento de graus de liberdade da interação de híbridos x dose para massa fresca aérea (MFA, g) no estudo de dose resposta de glyphosate em seis híbridos de milho. Experimento 3.

Variável	Dose (g e.a ha ⁻¹)					
	0	40	80	120	160	200
Híbridos						
Celeron	28,77 c ^{*1/}	33,14 c	25,18 bc	9,42 bc	7,33 a	0,87 a
Fórmula	56,97 a	54,09 ab	41,01 a	13,59 abc	4,48 a	1,26 a
Impacto	43,54 b	35,06 c	18,81 c	7,70 c	4,00 a	3,61 a
Maximus	52,00 ab	50,55 abc	34,40 ab	20,34 a	10,21 a	8,38 a
Speed	44,04 b	44,35 bc	21,54 c	5,57 c	4,16 a	0,59 a
Status	49,94 ab	58,42 a	35,14 ab	19,75 ab	13,09 a	4,26 a

* Valores seguidos da mesma letra na coluna não deferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

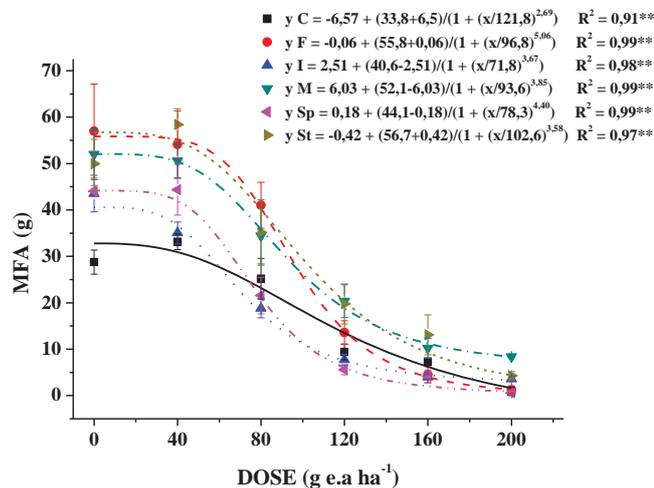


Figura 18. Representações gráficas das equações de regressão entre massa fresca aérea (MFA) e doses de glyphosate em seis híbridos de milho. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. ■ Celeron, ● Fórmula, ▲ Impacto, ▼ Maximus, ◆ Speed e ► Status.

Os efeitos positivos na produção de massa fresca também descritos por NEVES e FULANI Jr. (2009) em doses entre 0 e 72 g e.a ha⁻¹ de glyphosate na cultura de algodão refletindo o observado em outras variáveis como altura de planta e área foliar; e, comportamento diferenciado entre os híbridos e entre os diferentes órgãos da planta mensurados também foi comprovado. Esse efeito, o qual caracteriza-se como incremento no crescimento de um organismo em sub dosagens de um produto que em doses normais é letal tem sido denominado de hormese (CALABRESE, 2003), afetando o produto final do desempenho das atividades fotossintéticas das plantas e a formação de açúcares e amido além de compostos como proteínas e vitaminas que posteriormente são estocados e utilizados pelo vegetal no seu crescimento. Neste trabalho, as doses maiores afetaram severamente e até de forma irreversível (120-200 g e.a ha⁻¹) o crescimento e acúmulo de massa fresca das plantas de milho, resultado possivelmente da interferência nos processos ligados à formação especialmente de aminoácidos essenciais, e de compostos secundários em níveis tóxicos, e, que acumulados podem levar o vegetal a morte (RODRIGUES, 2001; VELINI et al., 2008). Presença de sinais diferenciados entre os híbridos avaliados como observado nesta pesquisa podem ser consideradas de forma particular às características genéticas (FORNASIERI, 2007), espécies e até idade da planta (RODRIGUES, 2001; VELINI et al., 2008; SANGOI, 2010 e CARDOSO, 2010).

As análises de variância efetuadas para massa seca de folhas, de caule e da parte aérea apresentou diferenças estatísticas para híbridos, doses de glyphosate e a interação (H x D). As médias de doses foram analisadas mediante regressão não linear e apresentaram ajuste de tipo sigmoidal.

No acúmulo de massa seca de folhas (Tabela 28), entre os híbridos, o híbrido Celeron obteve a maior produção (1,435 g) e foi significativamente superior aos demais híbridos avaliados. Na testemunha sem herbicida e na dose de 40 g e.a ha⁻¹ foram observados os maiores acúmulos de massa seca de folhas, de caules e da parte aérea dos diferentes híbridos. Na produção de massa seca de caule, o híbrido Celeron acumulou maior massa seca (1,16 g), foi estatisticamente similar ao híbrido Status e

significativamente superior aos demais. Para massa seca aérea, entre os híbridos observou-se a mesma tendência apresentada para MSF em que o híbrido Celeron acumulou maior massa e foi significativamente superior aos demais híbridos. (Tabela 28).

Tabela 28. Análise de variância e médias \pm EP para massa seca de folha (MSF, g), massa seca de caule (MSC, g) e massa seca aérea (MSA, g) no estudo de dose resposta de glyphosate em seis híbridos de milho. Experimento 3.

Variável	Massa seca de folhas		Massa seca de caule		Massa seca aérea	
	F	p	F	p	F	p
Híbrido (H)	27,10	0,0001**	28,68	0,0001**	29,47	0,0001**
Dose (D)	495,84	0,0001**	364,81	0,0001**	523,78	0,0001**
Interação (H*D)	5,23	0,0001**	3,86	0,0001**	4,65	0,0001**
C.V. (%)	20,50		23,10		19,62	
Híbridos						
Celeron	1,435	a ^{1/} \pm 0,22	1,160	a \pm 0,17	2,595	a \pm 0,39
Fórmula	1,258	b \pm 0,20	0,941	c \pm 0,14	2,199	b \pm 0,34
Impacto	0,818	e \pm 0,13	0,748	d \pm 0,13	1,566	c \pm 0,26
Maximus	1,084	cd \pm 0,15	1,044	bc \pm 0,13	2,128	b \pm 0,28
Speed	0,968	d \pm 0,16	0,627	e \pm 0,11	1,594	c \pm 0,27
Status	1,100	c \pm 0,16	1,115	ab \pm 0,15	2,214	b \pm 0,31
Dose (g e.a ha⁻¹)						
0	2,241	^{2/} \pm 0,055	1,811	\pm 0,041	4,050	\pm 0,078
40	2,242	\pm 0,10	1,868	\pm 0,068	4,110	\pm 0,157
80	1,103	\pm 0,070	1,027	\pm 0,083	2,130	\pm 0,148
120	0,486	\pm 0,020	0,463	\pm 0,034	0,950	\pm 0,053
160	0,326	\pm 0,012	0,277	\pm 0,023	0,600	\pm 0,033
200	0,264	\pm 0,010	0,188	\pm 0,014	0,450	\pm 0,023

^{1/} Valores seguidos da mesma letra para híbridos não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{2/} Análise desdobrada para a interação dos híbridos e doses (H x D) nos diferentes híbridos.

** Significativo a 1%.

Pela análise da Tabela 29 se observa-se que na testemunha sem herbicida o híbrido Celeron apresentou maior acúmulo de massa seca de folha e foi significativamente superior aos demais híbridos. Em 40 g e.a ha⁻¹ os híbridos Celeron Fórmula apresentaram maior produção de massa seca e foram significativamente

superiores aos demais híbridos. Com 80 g e.a ha⁻¹ o híbrido Celeron apresentou comportamento semelhante aquele observado na testemunha em que foi superior a todos os demais. Na aplicação de 120 g e.a ha⁻¹ o híbrido Speed acumulou a menor massa e foi significativamente inferior ao híbrido Maximus. Com aplicações de 160 e 200 g e.a ha⁻¹ de glyphosate não houve diferenças entre as massas de folhas dos diferentes híbridos estudados.

Tabela 29. Médias observadas no desdobramento de graus de liberdade da interação de híbridos x dose para massa seca de folha (MSF, g) no estudo de dose resposta de glyphosate em seis híbridos de milho. Experimento 3.

Variável	Dose (g e.a ha ⁻¹)					
	0	40	80	120	160	200
Híbridos						
Celeron	2,752 a ^{*1/}	2,924 a	1,710 a	0,514 ab	0,364 a	0,344 a
Fórmula	2,408 b	2,715 a	1,363 b	0,462 ab	0,353 a	0,248 a
Impacto	1,907 d	1,402 c	0,664 e	0,485 ab	0,222 a	0,226 a
Maximus	2,228 bc	2,045 b	0,964 cd	0,615 a	0,325 a	0,324 a
Speed	2,106 cd	2,073 b	0,810 de	0,287 b	0,284 a	0,246 a
Status	2,042 cd	2,294 b	1,106 bc	0,550 ab	0,410 a	0,197 a

* Valores seguidos da mesma letra na coluna não deferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

Pela avaliação dos efeitos de doses dentre os híbridos, as médias obtidas mostraram incremento no acúmulo de massa seca de folhas de 12% (híbrido Celeron) e queda de 26% do valor para essa variável (híbrido Impacto) com doses de até 40 g e.a ha⁻¹ quando comparadas com a testemunha sem herbicida. Doses maiores provocaram quedas maiores no acúmulo de massa seca foliar em todos os híbridos (Figura 19). Os híbridos reagiram de forma diferente diante das doses aplicadas com quedas fortes (híbridos Celeron e Fórmula) ou menos pronunciadas (híbrido Impacto). É interessante destacar que o ponto de inflexão para o híbrido Impacto ocorreu com doses menores que para os outros híbridos, sendo os maiores valores observados para os híbridos Celeron e Status.

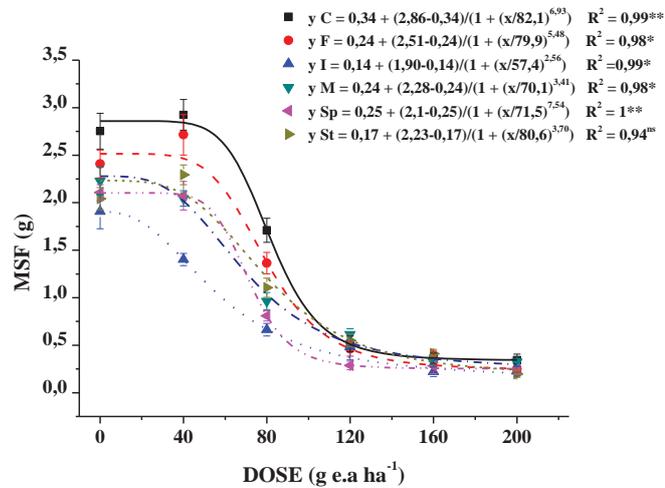


Figura 19. Representações gráficas das equações de regressão de massa fresca aérea (MSF) e doses de glyphosate em seis híbridos de milho. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. ■ Celeron, ● Fórmula, ▲ Impacto, ▼ Maximus, ◆ Speed e ► Status.

Na testemunha sem herbicida (Tabela 30), o híbrido Celeron produziu a maior massa seca de caule sendo apenas estatisticamente superior aos híbridos Fórmula e Speed. Na dose 40 g e.a ha⁻¹, também o híbrido Celeron acumulou maior massa seca de caule estatisticamente similar ao híbrido Status e significativamente superior aos demais. Em 80 g e.a ha⁻¹ de glyphosate, o maior acúmulo de massa seca de caule foi do híbrido Celeron que foi significativamente superior aos demais híbridos. Na dose 120 g e.a ha⁻¹ os híbridos Maximus e Status acumularam maior massa seca de caule e foram significativamente superiores aos híbridos Impacto e Speed. Em 160 g e.a ha⁻¹ de glyphosate, o híbrido Status desenvolveu maior massa seca de caule e foi significativamente superior aos híbridos Fórmula, Impacto e Speed. Finalmente, na aplicação de 200 g e.a ha⁻¹ de glyphosate não houve significância entre os diferentes híbridos estudados (Tabela 30).

Na avaliação dos efeitos das doses dentro os híbridos, as médias mostraram incremento no acúmulo de massa seca de caule de 12% (híbrido Fórmula) e queda de 24% do valor para essa variável (híbrido Impacto) com doses de até 40 g e.a ha⁻¹ em comparação com a testemunha sem herbicida. Incrementos nas doses provocaram

quedas maiores no acúmulo de massa seca de caule em todos os híbridos (Figura 20). Os híbridos comportaram-se de forma diferente diante das doses aplicadas com quedas fortes (híbridos Impacto, Speed) ou menos pronunciadas (híbrido Status). Assim como observado para massa seca de folha o ponto de inflexão para o híbrido Impacto ocorreu com doses menores que para os outros híbridos, sendo os maiores valores observados para os híbridos Celeron e Status.

No desdobramento da interação H x D (Tabela 31), observa-se que entre os híbridos, o híbrido Celeron acumulou a maior massa seca aérea e foi significativamente superior aos demais híbridos quando recebeu doses entre 0 e 80 g e.a ha⁻¹ de glyphosate. Com 120 g e.a ha⁻¹ o maior acúmulo de massa seca da parte aérea foi no híbrido Maximus suplantando estatisticamente os híbridos Impacto e Speed. Em doses de 160 e 200 g e.a ha⁻¹ não houve diferenças entre os híbridos.

Tabela 30. Médias observadas no desdobramento de graus de liberdade da interação de híbridos x dose para massa seca de caule (MSC, g) no estudo de dose resposta de glyphosate em seis híbridos de milho. Experimento 3.

Variável	Dose (g e.a ha ⁻¹)					
	0	40	80	120	160	200
Híbridos						
Celeron	2,042 a ^{*1/}	2,278 a	1,651 a	0,499 ab	0,272 ab	0,218 a
Fórmula	1,738 b	1,960 b	1,086 b	0,491 abc	0,214 b	0,154 a
Impacto	1,897 ab	1,431 c	0,561 c	0,264 b	0,182 b	0,152 a
Maximus	1,799 ab	1,972 b	1,084 b	0,732 a	0,351 ab	0,328 a
Speed	1,413 c	1,398 c	0,454 c	0,231 b	0,158 b	0,106 a
Status	1,975 ab	2,171 ab	1,325 b	0,562 a	0,487 a	0,167 a

* Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

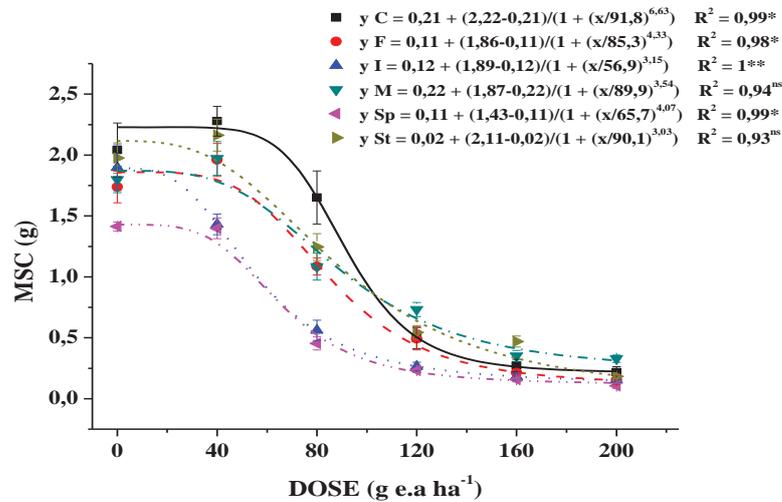


Figura 20. Representações gráficas das equações de regressão entre massa seca de caule (MSC) e doses de glyphosate em seis híbridos de milho. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. ■ Celeron, ● Fórmula, ▲ Impacto, ▼ Maximus, ◆ Speed e ► Status.

Tabela 31. Médias observadas no desdobramento de graus de liberdade da interação de híbridos x dose para massa seca aérea (MSA, g) no estudo de dose resposta de glyphosate em seis híbridos de milho. Experimento 3.

Variável	Dose (g e.a ha ⁻¹)					
	0	40	80	120	160	200
Híbridos						
Celeron	4,794 a *	5,202 a	3,361 a	1,013 abc	0,636 a	0,562 a
Fórmula	4,146 b	4,675 b	2,449 b	0,953 abc	0,567 a	0,402 a
Impacto	3,804 bc	2,833 e	1,225 c	0,749 bc	0,404 a	0,378 a
Maximus	4,027 b	4,017 c	2,048 b	1,347 a	0,676 a	0,652 a
Speed	3,519 c	3,471 d	1,264 c	0,518 c	0,442 a	0,352 a
Status	4,017 bc	4,465 bc	2,431 b	1,112 ab	0,897 a	0,364 a

* Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

Para o caso das doses dentro de cada híbrido após realizada a análise de regressão, a maioria dos híbridos apresentaram semelhança entre as doses 0 e 40 g e.a ha⁻¹, porém alguns deles acumularam maior massa seca aérea (híbridos Fórmula 12% e Status 10%), assim como alguns apresentaram queda no acúmulo dessa variável (híbrido Impacto 26%) quando são analisados os dados médios obtidos.

Sempre que receberam doses maiores todos os híbridos mostraram queda na produção de massa seca aérea (Figura 21), porém, com diferentes intensidades de diminuição.

O fenômeno de acúmulo de massa seca de folhas, de caule e da parte aérea em baixas doses de glyphosate, pode ser explicado pelos mesmos fenômenos mencionados para formação de massa fresca, com estímulo de fotossíntese em dosagens abaixo de 40 g e.a ha⁻¹.

Acréscimos no acúmulo de massa seca foliar e de caule tem sido relatados por vários autores em diferentes tipos de plantas (CEDERGREEN, 2008; WAGNER JUNIOR et al., 2008; COSTA et al., 2009; CEDERGREEN e OLESEN, 2010; MACHADO et al., 2010), mas, também foram relatadas respostas diferenciadas entre cultivares (RODRIGUES, 2001; VELINI et al., 2008; FRANÇA et al., 2010; MACHADO et al., 2010).

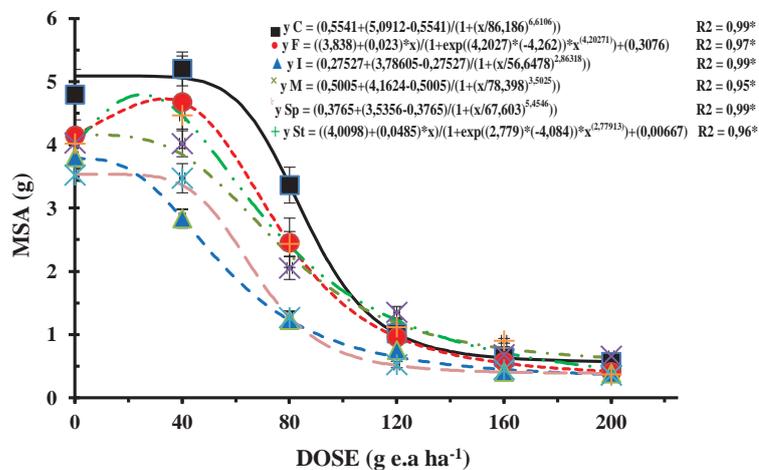


Figura 21. Representações gráficas das equações de regressão entre massa seca aérea (MSA) e seis híbridos de milho tratado com doses de glyphosate. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. ■ Celeron, ● Fórmula, ▲ Impacto, ▼ Maximus, ◀ Speed e ▶ Status.

O incremento na produção de biomassa pode ser explicado pelo melhor desempenho da atividade fotossintética (CEDERGREEN et al., 2009) em plantas crescendo sem estresse (LEAKEY et al., 2006), independente ou acompanhada da diminuição da taxa de fotorrespiração ou sua insensibilidade ou pelo estímulo de estresse químico causado pelo herbicida testado, fenômeno apresentado por vários tipos de plantas (milho, soja, trapoeraba e eucalipto) em vários níveis (VELINI et al., 2008). As sub doses aplicadas estimularam a aceleração de crescimento, por causa da contínua exportação de açúcares nas rotas fonte dreno facilitadas pelos sinalizadores o que pode explicar a diferença entre espécies e híbridos (JANG & SHEEN, 1994; HUIJSER et al., 2000; XIAO, et al., 2000).

Um quarto experimento foi conduzido com os híbridos Impacto e Status por apresentarem respostas diferentes às aplicações de glyphosate nos ensaios anteriores e as formulações Roundup Ready[®], Roundup WG[®] e Zapp QI[®] por conterem diferentes sais de glyphosate.

Aos 7 DAA (Tabela 32), ocorreu diferença entre os híbridos em que o híbrido Impacto desenvolveu sinais de intoxicação significativamente mais intensos (43,7%). Para as formulações, o Roundup Ready[®] desenvolveu sinais mais intensos (45,7%) sobre as plantas tratadas e que foram estatisticamente maiores que os apresentados pelo Zapp QI[®] e este, por sua vez, maior do que o Roundup WG[®]. As doses maiores de produto provocaram efeitos tóxicos superiores do que as demais. Na interação formulações e doses, ocorreram diferenças para formulações dentro das doses 80, 120 e 200 g e.a ha⁻¹ em que o Roundup Ready[®] (20,6%) provocou sinais significativamente maiores de intoxicação do que as demais formulações (Tabela 33). Os menores sintomas foram provocados pelo Roundup WG[®] sendo estatisticamente inferior a das demais formulações nas doses de 80 e 120 g e.a ha⁻¹.

Aos 14 DAA as maiores notas de fito intoxicação foram atribuídas ao híbrido Impacto. Na comparação entre as formulações de glyphosate, não ocorreram

diferenças. Em todas as avaliações, as menores notas de danos foram atribuídas ao Zapp QI®.

Tabela 32. Análise de variância e médias \pm EP para toxicidade (%) aos 7 e 14 dias após aplicação (DAA) no estudo de dose resposta de três formulações de glyphosate em dois híbridos de milho. Experimento 4.

Variável	7		14	
	F	p	F	p
Híbrido (H)	42,40	0,0001	122,86	0,0001
Formula (F)	41,48	0,0001	2,31	0,1040
Dose (D)	681,42	0,0001	1816,00	0,0001
Intera (H*F)	1,90	0,1537	2,54	0,0832
Intera (H*D)	0,46	0,7620	17,63	0,0001
Intera (F*D)	3,91	0,0004	6,13	0,0001
Intera (H*F*D)	2,96	0,0047	2,67	0,0099
C.V. (%)	12,56		7,55	
Híbridos				
Impacto	43,7 a \pm 2,70		70,2 a \pm 4,31	
Status	38,5 b \pm 2,59		61,5 b \pm 4,09	
Formulações				
R.R.	45,7 a \pm 3,32		67,0 ^{ns} \pm 5,23	
R.W.	36,8 c \pm 3,21		65,6 \pm 5,16	
Z QI	40,9 b \pm 3,21		65,0 \pm 5,04	
Dose (g e.a ha⁻¹)				
0	0,0 f \pm 0		0,0 f \pm 0	
40	7,7 e \pm 0,91		5,3 e \pm 0,82	
80	29,3 d \pm 1,40		56,0 d \pm 2,14	
120	44,8 c \pm 1,46		79,3 c \pm 1,69	
160	57,7 b \pm 0,69		92,7 b \pm 0,47	
200	66,2 a \pm 0,72		96,0 a \pm 0,20	

^{1/} Valores seguidos da mesma letra para híbridos e formulações não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%). ^{2/} Análise desdobrada para a interação dos híbridos e doses (H x D) nas diferentes híbridos. *, ** e ^{ns} Significativo a 5, 1% e Não Significativo.

As médias de doses de glyphosate e suas interações com os outros fatores foram analisados aplicando regressão não linear e discutidos como interação tripla, as quais mostraram tendência sigmoidal (Figura 22). O híbrido Impacto apresentou sinais

mais intensos de dano quando recebeu entre 40 e 120 g e.a ha⁻¹ Roundup Ready[®]. ao contrario do ocorrido com o híbrido Status pulverizado com até 120 g e.a ha⁻¹ de Roundup WG[®].

Tabela 33. Médias do desdobramento dos graus de liberdade par toxicidade na interação formulações e doses aos 7 DAA na avaliação de dose resposta de glyphosate em milho. Experimento 4.

Variável	Dose (g e.a ha ⁻¹)					
	0	40	80	120	160	200
Formulação						
RR	0 a ^{1/}	10,50 a	37,00 a	52,50 a	59,00 a	69,50 a
RWG	0 a	6,50 a	22,50 c	37,50 c	55,50 a	63,00 b
Z QI	0 a	6,00 a	29,50 b	44,50 b	58,50 a	66,00 ab

* Valores seguidos da mesma letra na coluna não deferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

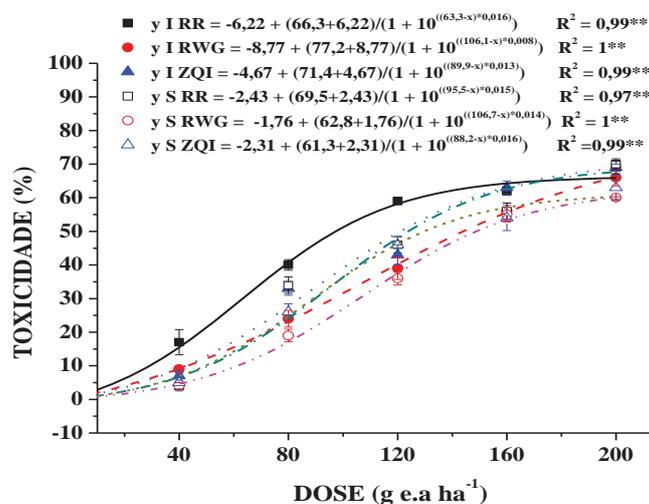


Figura 22. Representações gráficas das equações de regressão entre toxicidade 7 DAA e doses de três formulações de glyphosate em dos híbridos de milho. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. ■ RR Imp., ● RWG Imp., ▲ Z QI Imp., □ RR Stat., ○ RWG Stat., e △ Z QI Stat.

Aos 14 DAA (Tabela 32), também ocorreu diferenças entre os tratamentos em estudo. O híbrido Impacto apresentou sinais de danos significativamente superiores (70,2%) ao híbrido Status. As formulações, por sua vez, não apresentaram diferenças entre elas. Entre as doses, observou-se comportamento semelhante aquele obtido aos 7 DAA. Para a avaliação da interação de doses e outros fatores foram feitas análises de regressão não linear e apresentadas como interação tripla.

Na interação híbrido e dose (H x D), para os híbridos em cada dose testada, o híbrido Impacto apresentou sinais de intoxicação significativamente superiores nas doses entre 40 e 160 g e.a ha⁻¹ de glyphosate (Tabela 34). Para a interação formulações e doses (F x D), apenas ocorreu diferenças nas doses 40 e 80 g e.a ha⁻¹ quando o Roundup WG[®] e o Zapp QI[®] apresentaram os menores valores de dano (1,5 e 49%, respectivamente, Tabela 35).

Tabela 34. Médias do desdobramento dos graus de liberdade para toxicidade na interação híbridos e doses aos 14 DAA na avaliação de dose resposta de glyphosate em milho. Experimento 4.

Variável	Dose (g e.a ha ⁻¹)					
	0	40	80	120	160	200
Híbridos						
Impacto	0 a ^{1/}	7,30 a	64,70 a	87,30 a	94,70 a	97,00 a
Status	0 a	3,30 b	47,30 b	71,30 b	90,70 b	95,00 a

* Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

Para as diferentes doses na interação ocorreram diferenças entre híbridos. O híbrido Impacto apresentou sinais de dano mais intensos do que o híbrido Status quando recebeu doses entre 40 g e.a ha⁻¹ e 120 g e.a ha⁻¹ do Roundup Ready[®] e, por sua vez o híbrido Status apresentou menores sinais ao receber doses de entre 80 e 120 g e.a ha⁻¹ em relação ao híbrido Impacto. Os efeitos observados com as pulverizações de doses superiores a 120 g e.a ha⁻¹ não foram recuperados pelas plantas as quais morreram com doses acima de 160 g e.a ha⁻¹.

Na interação híbridos e doses formulações nas diferentes doses, após análise de regressão realizada, ocorreu comportamento sigmoidal dos tratamentos. O híbrido Impacto comportou-se de forma significativamente diferente e mais sensível quando recebeu entre 80 e 120 g e.a ha⁻¹ da formulação Roundup Ready[®] comparada com o híbrido Status pulverizado na mesma dose com igual formulação e Roundup WG[®]. (Figura 23). Doses iguais ou superiores a 160 g e.a ha⁻¹ não permitiram efeitos diferentes, porém suficiente para interromper processos fisiológicos vitais da planta levando-a morte.

Tabela 35. Médias do desdobramento dos graus de liberdade para toxicidade na interação formulações e doses aos 14 DAA na avaliação de dose resposta de glyphosate em milho. Experimento 4.

Variável	Dose (g e.a ha ⁻¹)					
	0	40	80	120	160	200
Formulações						
RR	0 a ^{1/}	6,00 ab	62,00 a	77,00 a	94,10 a	95,90 a
RW	0 a	1,50 b	57,00 a	81,00 a	92,50 a	96,20 a
Z QI	0 a	8,50 a	49,00 b	80,00 a	91,50 a	95,90 a

* Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

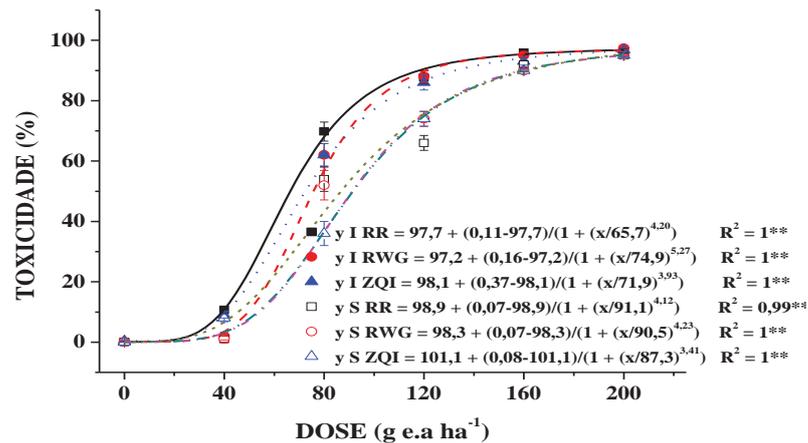


Figura 23. Representações gráficas das equações de regressão entre toxicidade aos 14 DAA e doses de três formulações de glyphosate em dos híbridos. Barras verticais indicam ± erro padrão da média. ■ RR Imp., ● RWG Imp., ▲ Z QI Imp., □ RR Stat., ○ RWG Stat., e △ Z QI Stat.

Sintomas menores de intoxicação de 4 e 11%, foram obtidos por THOMAS et al. (2005) em algodão quando aplicaram entre 11 e 112 g ha⁻¹, respectivamente, e maiores (45-55%) em milho com dose de 105 g ha⁻¹ por REDDY et al. (2010). Efeitos diferentes entre formulações foram observados por SANTOS et al. (2007a, 2007b) em avaliações de várias formulações de glyphosate feitas sobre soja geneticamente modificada com tolerância a glyphosate em que a formulação a base de sal amina apresentou maiores sinais de intoxicação.

Por sua vez, diferente do obtido por AGOSTINETO et al. (2009) que observaram maiores efeitos tóxicos em soja geneticamente modificada com tolerância a glyphosate na aplicação da formulação de amônio e de WAGNER JUNIOR et al. (2008) que não observaram diferenças entre formulações de glyphosate utilizadas em maracujazeiro. Nesse sentido características genéticas e morfológicas da planta como espécie, idade, estruturas foliares podem favorecer ou não a apresentação de sinais de toxicidade mais ou menos intensas após aplicação do herbicida (RODRIGUES, 2001; VELINI et al., 2008; FORNASIERI, 2009, RODRIGUES, 2011).

Para a altura de planta ocorreu significância entre os tratamentos (Tabela 36). Aos 7 DAA, apenas as doses promoveram diferença no desenvolvimento de altura do milho em que a testemunha e 40 g e.a ha⁻¹ foram estatisticamente similares, porém significativamente superiores às demais doses. Também ocorreram diferenças na interação híbridos e formulações (Tabela 37). Entre eles, apenas o Status mostrou maior desenvolvimento de altura quando foi pulverizado com Roundup WG[®].

Para a interação híbridos e doses (Tabela 41), também ocorreu significância. Para doses, na testemunha sem aplicação o híbrido Status foi significativamente superior. No caso de doses dentro de híbridos, as médias foram analisadas com regressão não linear, apresentando comportamento sigmoidal. Pode-se observar maior desenvolvimento inicial no híbrido Status em doses de até 40 g e.a ha⁻¹. Aplicações de doses maiores de 80 g e.a ha⁻¹ provocaram menor desenvolvimento deste mesmo híbrido (Figura 24).

Tabela 36. Análise de variância e médias \pm EP para altura de planta (7 e 14 DAA, cm) e área foliar (AF, cm²) no estudo de dose resposta três formulações de glyphosate em dois híbridos de milho. Experimento 4.

Variável	7		14		AF	
	F	p	F	p	F	p
Híbrido (H)	0,97	0,3255 ^{ns}	7,24	0,0079**	144,43	0,0000**
Formula (F)	1,75	0,1785 ^{ns}	2,87	0,0596 ^{ns}	18,98	0,0000**
Dose (D)	27,92	0,0000**	356,90	0,0000**	971,80	0,0000**
Intera (H*F)	3,93	0,0218*	4,80	0,0095**	1,61	0,2044 ^{ns}
Intera (H*D)	2,98	0,0139*	11,56	0,0000**	23,61	0,0000**
Intera (F*D)	1,57	0,1207 ^{ns}	6,90	0,0000**	5,52	0,0000**
Intera (H*F*D)	0,66	0,7597 ^{ns}	0,96	0,4775 ^{ns}	1,57	0,1211 ^{ns}
C.V. (%)	9,93		9,00		16,57	
Híbridos						
Impacto	12,5	a \pm 0,39	17,8	a \pm 0,72	436,3	b ^{1/} \pm 43,27
Status	12,3	a \pm 0,4	17,2	a \pm 0,65	604,3	a \pm 58,35
Formulação						
RR	12,3	a \pm 0,55	17,0	a \pm 0,91	458,8	b ^{1/} \pm 57,68
RWG	12,7	a \pm 0,56	17,3	a \pm 0,93	547,7	a \pm 63,68
Z QI	12,3	a \pm 0,55	19,3	a \pm 0,93	554,5	a \pm 66,45
Dose (g e.a ha⁻¹)						
0	14,1	^{2/} \pm 0,23	23,9	\pm 0,09	1291,8	\pm 87,47
40	14,1	\pm 0,16	24,2	\pm 0,16	1085,1	\pm 36,44
80	11,9	\pm 0,12	17,7	\pm 0,57	335,8	\pm 37,41
120	11,7	\pm 0,08	17,7	\pm 1,48	165,7	\pm 8,59
160	11,9	\pm 0,11	14,5	\pm 0,12	146,0	\pm 5,90
200	11,7	\pm 0,14	14,3	\pm 0,15	97,4	\pm 4,80

^{1/} Valores seguidos da mesma letra para híbridos e formulações não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%). ^{2/} Análise desdobrada para a interação dos híbridos e doses (H x D) nas diferentes híbridos. *, ** e ^{ns} Significativo a 5, 1% e Não Significativo.

Aos 14 DAA, na análise de altura de planta (Tabela 36) ocorreu diferença entre híbridos sendo que o híbrido Status atingiu valor significativamente maior que o híbrido Impacto. Os valores de formulações foram semelhantes entre eles. Para doses, foram aplicadas análises de regressão não linear na interpretação das interações.

Tabela 37. Médias do desdobramento dos graus de liberdade para altura de planta aos 7 DAA na interação híbridos e formulações na avaliação de dose resposta de glyphosate em milho. Experimento 4.

Variável	Formulações		
	RR	RWG	Z QI
Híbridos			
Impacto	12,4 a S	12,1 a S	12,2 a S
Status	11,7 a T	12,5 a S	11,9 a T

* Valores seguidos da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

Tabela 38. Médias do desdobramento dos graus de liberdade para altura de planta aos 7 DAA na interação híbridos e doses na avaliação de dose resposta de glyphosate em milho. Experimento 4.

Variável	Dose (g e.a ha ⁻¹)					
	0	40	80	120	160	200
Híbridos						
Impacto	13,1 b ^{1/}	13,4 a	11,6 a	11,6 a	11,9 a	11,6 a
Status	14,2 a	13,8 a	11,2 a	10,9 a	11,0 a	11,0 a

* Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

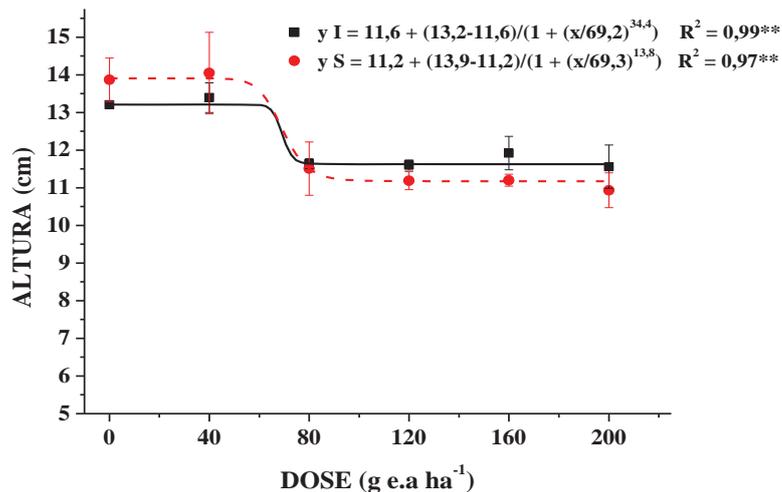


Figura 24. Representações gráficas das equações de regressão entre altura de planta aos 7 DAA e doses de glyphosate em dos híbridos de milho. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. \blacksquare Impacto, \bullet Status.

Na interação híbridos em cada formulação (Tabela 39) apenas ocorreu diferença para a formulação Roundup WG[®] em que o híbrido Status foi significativamente superior (16,0 cm). Dentro dos híbridos, a formulação Zapp QI[®] foi significativamente superior no híbrido Impacto (15,4 cm); e, para o híbrido Status o Roundup WG[®] (16,0 cm) foi significativamente superior ao Roundup Ready[®].

Tabela 39. Médias do desdobramento dos graus de liberdade para altura de planta aos 14 DAA na interação formulações e híbridos na avaliação de dose resposta de glyphosate em milho. Experimento 4.

Variável	Formulações		
	RR	RWG	Z QI
Híbridos			
Impacto	15,1 a ST	14,6 b T	15,4 a S
Status	14,9 a T	16,0 a S	15,9 a S

* Valores seguidos da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

Para a interação híbridos e doses (Tabela 40) houve diferença de híbridos dentro de dose apenas com a aplicação de 80 g e.a ha⁻¹ onde o híbrido Status foi significativamente superior. Para melhor entender o desempenho dos híbridos foram realizadas análises de regressão não linear apresentando comportamento sigmoidal.

A interação mostrou altura significativamente maior do híbrido Status com aplicações de até 80 g e.a ha⁻¹, porém doses maiores diminuíram o seu desempenho comparado com o Impacto que nessas condições foi superior (Figura 25) e, para doses dentro de híbridos, os maiores valores de altura de planta foram atingidos com doses de até 40 g e.a ha⁻¹ para os dois híbridos. O comportamento da curva permite observar que o híbrido Impacto teve diminuição diferente e evidente na altura de planta quando recebeu doses de glyphosate entre 40 e 80 g e.a ha⁻¹ comparado com o híbrido Status.

Para a interação formulações e doses (Tabela 44), também ocorreu significância. Para as aplicações das doses 40 e 80 g e.a ha⁻¹ o Roundup WG[®] e o Zapp QI[®] promoveram a maior altura de planta aos 14 DAA.

Tabela 40. Médias do desdobramento dos graus de liberdade para altura de planta aos 14 DAA na interação híbridos e doses na avaliação de dose resposta de glyphosate em milho. Experimento 4.

Variável	Dose (g e.a ha ⁻¹)					
	0	40	80	120	160	200
Híbridos						
Impacto	20,9 a ^{1/}	20,9 a	13,0 b *	11,7 a	12,1 a	11,7 a
Status	21,3 a	21,7 a	16,7 a	11,3 a	11,3 a	11,1 a

* Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

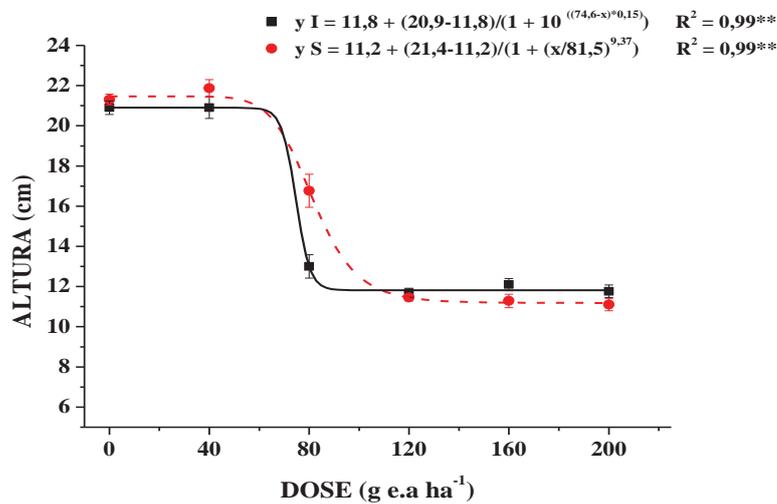


Figura 25. Representações gráficas das equações de regressão entre altura de planta aos 14 DAA e doses de glyphosate em dos híbridos de milho. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. ■ Impacto, ● Status.

A análise de regressão não linear aplicada aos dados da interação apresentou um comportamento sigmoideal. Esses resultados permitem observar que na dose 80 g e,a ha⁻¹ a menor altura foi atingida com a aplicação Roundup Ready[®] diferente do ocorrido com Zapp QI[®] (Figura 26) mostrando pontos de inflexão diferentes entre as formulações.

Na variável área foliar (Tabela 36), a análise estatística também apresentou significância para os tratamentos. O híbrido Status acumulou área foliar (604,3 cm²)

significativamente maior do que o híbrido Impacto. O uso da formulação Roundup Ready® prejudicou o acúmulo de área foliar dentre as formulações; e, para as doses, a testemunha sem aplicação acumulou maior área foliar do que todas as doses testadas as quais foram significativamente inferiores. Nas doses, foram aplicadas análises de regressão não linear, as quais apresentaram comportamento sigmoidal.

Tabela 41. Médias do desdobramento dos graus de liberdade para altura de planta aos 14 DAA na interação formulações e doses na avaliação de dose resposta de glyphosate em milho. Experimento 4.

Variável	Dose (g e.a ha ⁻¹)					
	0	40	80	120	160	200
Formulações						
RR	20,9 a ^{1/}	21,6 ab	12,4 c *	11,2 a	11,9 a	11,9 a
RWG	21,1 a	21,9 a	14,7 b	11,7 a	11,3 a	11,1 a
Z QI	21,1 a	20,6 b	17,5 a	11,5 a	11,8 a	11,3 a

* Valores seguidos da mesma letra na coluna não deferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

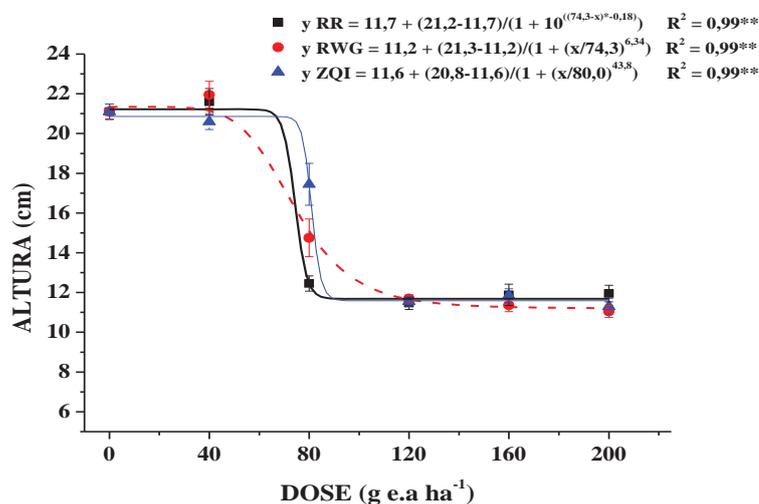


Figura 26. Representações gráficas das equações de regressão entre altura de planta aos 14 DAA e doses de três formulações de glyphosate em milho. Barras verticais indicam ± erro padrão da média. ■ Roundup Ready, ● Roundup WG, ▲ Zapp QI

Na interação híbridos e doses (Tabela 42) também ocorreu diferenças; entre os híbridos em cada dose. O híbrido Status acumulou área foliar significativamente maior nas doses até 80 g e.a ha⁻¹, porém em doses maiores os valores foram iguais estatisticamente.

Na interação formulações e doses (Tabela 43) ocorreu significância estatística. Para as formulações em cada dose, milho pulverizado com 40 g. e.a ha⁻¹ de Roundup WG[®] desenvolveu área foliar significativamente maior (1200,3 cm²); porém, em doses de 80 e 120 g e.a ha⁻¹ o Zapp QI[®] foi significativamente superior. Doses maiores não apresentaram diferença entre as formulações.

Tabela 42. Médias do desdobramento dos graus de liberdade para área foliar (AF, cm²) na interação híbridos e doses na avaliação de dose resposta de glyphosate em milho. Experimento 4.

Variável	Dose (g e.a ha ⁻¹)					
	0	40	80	120	160	200
Híbridos						
Impacto	1099,4 b	925,5 b	218,7 b	142,0 a	134,5 a	95,1 a
Status	1490,6 a	1227,9 a	448,4 a	189,5 a	157,6 a	99,8 a

* Valores seguidos da mesma letra na coluna não deferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

Tabela 43. Médias do desdobramento dos graus de liberdade para área foliar (AF, cm²) na interação formulações e doses na avaliação de dose resposta de glyphosate em milho. Experimento 4.

Variável	Dose (g e.a ha ⁻¹)					
	0	40	80	120	160	200
Formulações						
RR	1291,8 a ^{1/}	980,2 b	165,3 c	118,9 b	117,6 a	77,1 a
RWG	1290,1 a	1200,3 a	358,2 b	174,4 ab	141,1 a	84,9 a
Z QI	1293,1 a	1056,1 b	467,2 a	203,6 a	177,7 a	130,3 a

* Valores seguidos da mesma letra na coluna não deferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

A análise da regressão realizada na interação dos híbridos pulverizados com diferentes formulações de glyphosate em várias doses mostrou comportamento sigmoidal (Figura 27). A aplicação de 40 g e.a ha⁻¹ de Roundup Ready[®] diminuiu a formação de área foliar do híbrido Status comparada com a formulação Roundup WG[®]. A dose de 80 g e.a ha⁻¹ das formulações Roundup WG[®] e Zap QI[®] no híbrido Status afetaram em menor grau o acúmulo de AF, ao invés do apresentado no híbrido Impacto com aplicação da formulação Roundup Ready[®]. Doses superiores em todas as formulações afetaram de forma similar a formação de área foliar nos dois híbridos.

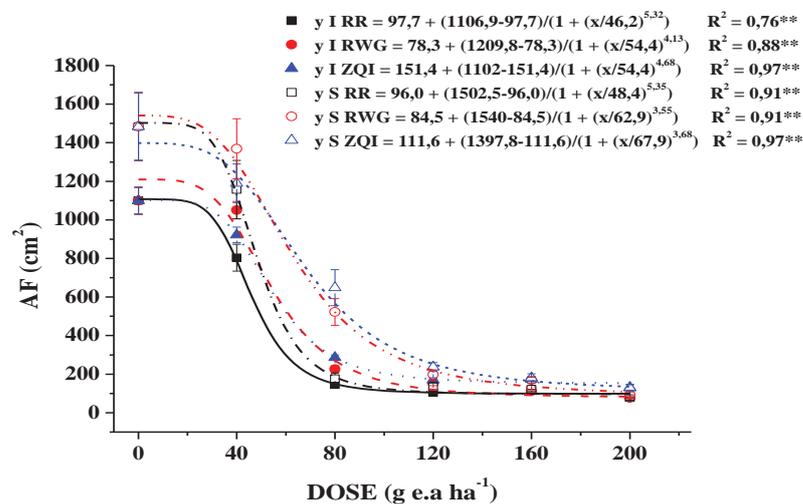


Figura 27. Representações gráficas das equações de regressão entre área foliar (AF cm²) e doses de três formulações de glyphosate em dois híbridos de milho. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. ■ RR Imp., ● RWG Imp., ▲ Z QI Imp., □ RR Stat., ○ RWG Stat., e △ Z QI Stat.

Efeitos diferentes foram obtidos por MAGALHÃES et al. (2001a e 2001b) em culturas de milho e sorgo sem encontrar diferenças estatísticas em altura de planta e área foliar com aplicações até 115,2 g ha de glyphosate. Quedas no desenvolvimento em altura das plantas tratadas podem ter sido reflexo dos efeitos tóxicos observados especialmente nas doses maiores a 40 g e.a ha⁻¹ de glyphosate. WAGNER JUNIOR et al. (2008) observaram os menores efeitos tóxicos sobre área foliar em maracujazeiro

com sal potássico comparado com outros sais de glyphosate. Diferenças na resposta entre híbridos podem ser devidas a sua constituição genética assim como morfológicas limitando a quantidade de produto que atinge o sítio de ação (CATANEO, 2003; VELINI, et al., 2008; FORNASIERI, 2009; SANGOI, 2010). Propriedades inerentes aos produtos aplicados que diferenciam sua capacidade de penetração, absorção e translocação podem também ser responsáveis por o comportamento apresentado (UOTILA, 1995; RODRIGUES 2001, RODRIGUES e ALMEIDA, 2011).

Nas avaliações realizadas sobre produção de massa fresca de folha (MFF), de caule (MFC) e de parte aérea (MFA) ocorreram diferenças estatísticas para os diferentes tratamentos (Tabela 44). Para as variáveis mencionadas o híbrido Status obteve acúmulos de massa significativamente superiores do que o híbrido Impacto. Por sua vez, entre formulações, o Zapp QI[®] obteve valores de massa fresca foliar, de caule e da parte aérea significativamente superiores ao Roundup Ready[®] (Tabela 47). Para doses de glyphosate, a testemunha sem aplicação de herbicida produziu maior quantidade de massa fresca foliar, de caule e da parte aérea sendo estatisticamente superior a todas as doses testadas (Tabela 47). As médias de doses nas varias interações foram analisadas mediante regressão não linear apresentando comportamento sigmoidal.

As interações também apresentaram diferenças entre os tratamentos. Para os híbridos dentro de doses, na testemunha sem herbicida, 40 e 80 g e.a ha⁻¹ o híbrido Status acumulou massa fresca foliar significativamente maior que o híbrido Impacto. Doses maiores não mostraram diferenças entre os híbridos (Tabela 45).

Na análise da interação de híbridos e formulações em diferentes doses, a aplicação de 40 g e.a ha⁻¹ da formulação Roundup Ready[®] promoveu maiores quedas no acúmulo de massa fresca foliar nos dois híbridos e foi inferior significativamente às outras formulações (Figura 28). Com 80 g e.a ha⁻¹ quedas menos intensa ocorreram quando foram aplicadas no híbrido Status as formulações Roundup WG[®] e Zapp QI[®]. Doses acima de 120 g e.a ha⁻¹ não mostraram diferenças.

Tabela 44. Análise de variância e médias \pm EP para massa fresca de folha (MFF, g), de caule (MFC, g) e aérea (MFA, g) no estudo de dose resposta de três formulações de glyphosate em dois híbridos de milho. Experimento 4.

Variável	Massa fresca foliar		Massa fresca caule		Massa fresca aérea	
	F	p	F	p	F	p
Híbrido (H)	144,43	0,000**	27,19	0,000**	14,87	0,000**
Formula (F)	18,98	0,000**	4,86	0,009**	6,61	0,002**
Dose (D)	971,80	0,000**	250,79	0,000**	207,55	0,000**
Intera (H*F)	1,61	0,204 ^{ns}	0,43	0,651 ^{ns}	0,07	0,935 ^{ns}
Intera (H*D)	23,61	0,000**	4,21	0,001**	3,18	0,003**
Intera (F*D)	5,52	0,152 ^{ns}	1,48	0,152 ^{ns}	1,89	0,051*
Intera (H*F*D)	1,57	0,121 ^{ns}	0,45	0,916 ^{ns}	0,65	0,769 ^{ns}
C.V. (%)	33,03		32,50		31,15	
Híbridos						
Impacto	9,4 b ^{1/} \pm 0,96		14,3 b \pm 1,21		23,7 b \pm 2,15	
Status	12,4 a \pm 1,2		17,3 a \pm 1,48		29,8 a \pm 2,71	
Formulação						
RR	9,7 b ^{1/} \pm 1,25		13,8 b \pm 1,62		23,5 b \pm 2,84	
RW	11,3 ab \pm 1,33		16,4 ab \pm 1,65		27,7 ab \pm 3,02	
Z QI	11,8 a \pm 1,38		17,2 a \pm 1,71		29,1 a \pm 3,12	
Dose (g e.a ha⁻¹)						
0	27,7 ^{2/} \pm 1,35		34,5 \pm 1,77		62,2 \pm 3,12	
40	22,4 \pm 0,64		31,8 \pm 0,95		54,2 \pm 1,39	
80	7,3 \pm 0,86		13,5 \pm 1,17		20,8 \pm 1,94	
120	3,2 \pm 0,18		6,3 \pm 0,51		9,5 \pm 0,63	
160	3,0 \pm 0,13		5,2 \pm 0,25		8,2 \pm 0,29	
200	1,9 \pm 0,09		3,6 \pm 0,19		5,5 \pm 0,22	

^{1/} Valores seguidos da mesma letra para híbridos e formulações não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%). ^{2/} Análise desdobrada para a interação dos híbridos e doses (H x D) nas diferentes híbridos. *, ** e ^{ns} Significativo a 5, 1% e Não Significativo.

Tabela 45. Médias do desdobramento de graus de liberdade de massa fresca foliar (MFF, g) na interação híbridos e doses na avaliação de dose resposta de glyphosate em milho. Experimento 4.

Variável	Dose (g e.a ha ⁻¹)					
	0	40	80	120	160	200
Híbridos						
Impacto	24,70 b ^{1/}	19,40 b	4,80 b	2,90 a	2,70 a	1,80 a
Status	30,73 a	25,20 a	10,30 a	3,80 a	3,00 a	2,00 a

* Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

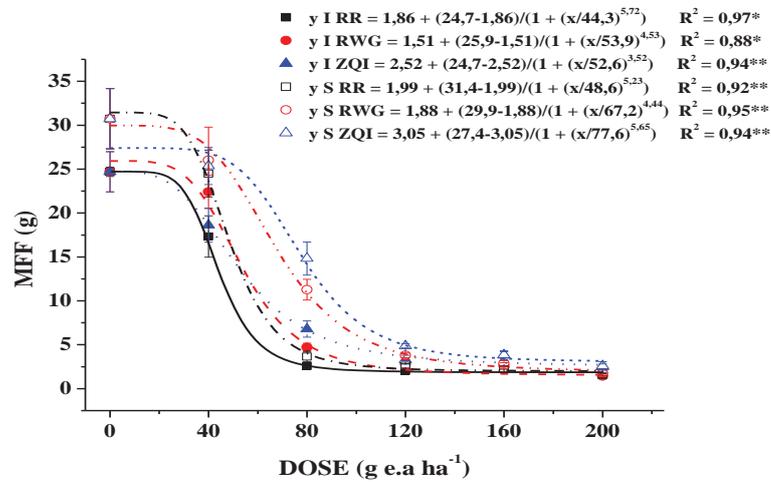


Figura 28. Representações gráficas das equações de regressão entre massa fresca foliar (MFF) e doses de três formulações de glyphosate em dois híbridos de milho. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. ■ RR Imp., ● RWG Imp., ▲ Z QI Imp., □ RR Stat., ○ RWG Stat., e △ Z QI Stat.

Na produção de massa fresca de caule também ocorreu significância na interação entre híbridos e doses (Tabela 46). Para híbridos dentro de cada dose, o híbrido Status obteve valores de massa fresca de caule estatisticamente superiores do que o híbrido Impacto quando recebeu doses até 80 g e.a ha⁻¹. Doses maiores não mostraram diferenças entre os híbridos.

Tabela 46. Médias do desdobramento dos graus de liberdade para massa fresca de caule (MFC, g) da interação híbridos e doses na avaliação de dose resposta de glyphosate em milho. Experimento 4.

Variável	Dose (g e.a ha ⁻¹)					
	0	40	80	120	160	200
Híbridos						
Impacto	30,49 b ^{1/}	28,96 b	11,85 b	5,48 a	5,4 a	3,80 a
Status	38,43 a	34,68 a	15,93 a	7,39 a	5,0 a	3,43 a

* Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

A interação de híbridos e doses mostrou comportamento sigmoidal para os híbridos (Figura 29). Aplicações de doses de 40 e 80 g e.a ha⁻¹ promoveram quedas no acúmulo de massa fresca de caule de forma acentuada na magnitude no híbrido Status diferente do ocorrido no híbrido Impacto, porém com tendência semelhante. Doses de glyphosate superiores a 120 g e.a ha⁻¹ não mostraram diferenças.

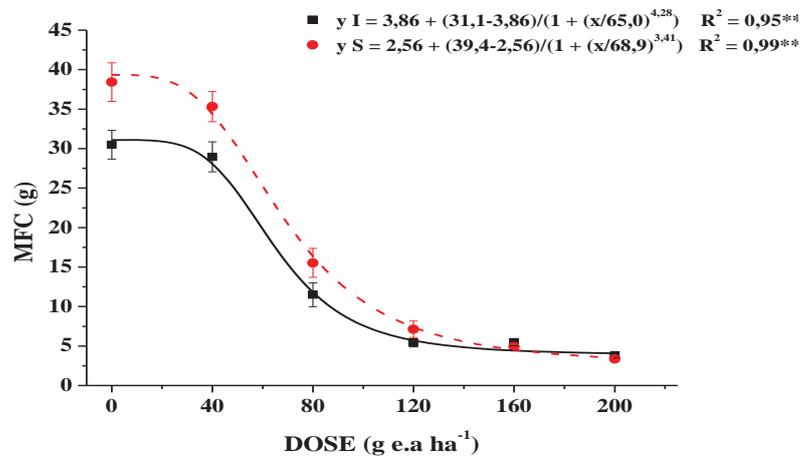


Figura 29. Representações gráficas das equações de regressão entre massa fresca de caule (MFC) e doses de glyphosate em dois híbridos de milho. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. ■ Impacto, ● Status.

Na avaliação da interação de acúmulo de massa fresca aérea (MFA), também ocorreu significância (Tabela 47). Para híbridos dentro de doses de glyphosate, o híbrido Status acumulou maior massa fresca aérea em comparação ao híbrido Impacto nas doses até 80 g e.a ha⁻¹. Doses superiores não mostraram diferenças entre os híbridos.

A análise de regressão da interação para massa fresca aérea mostrou comportamento semelhante ao ocorrido para a variável massa fresca de caule. O híbrido Status teve queda na formação de massa fresca da parte aérea de forma

acentuada comparada ao híbrido Impacto na aplicação de doses de até 80 e.a ha⁻¹, porém sem diferenças em doses iguais ou superiores à 160 g e.a ha⁻¹ (Figura 30).

Tabela 47. Médias do desdobramento dos graus de liberdade para massa fresca aérea (MFA, g) na interação híbridos e doses na avaliação de dose resposta de glyphosate em milho. Experimento 4.

Variável	Dose (g e.a ha ⁻¹)					
	0	40	80	120	160	200
Híbridos						
Impacto	55,19 b ^{1/}	48,36 b	16,7 b	8,38 a	8,12 a	5,64 a
Status	69,16 a	59,88 a	26,22 a	11,19 a	8,05 a	5,43 a

* Valores seguidos da mesma letra na coluna não deferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

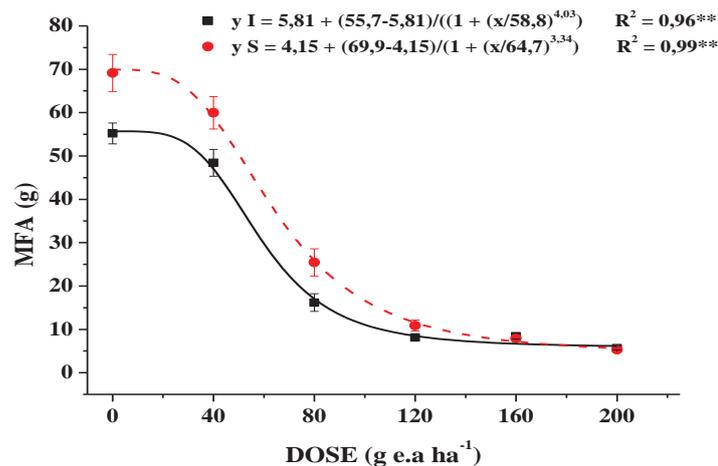


Figura 30. Representações gráficas das equações de regressão entre massa fresca aérea (MFA) e doses de glyphosate em dois híbridos de milho. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. \blacksquare Impacto, \bullet Status.

Quedas na produção de massa fresca em milho também foi observada por WAGNER et al. (2003) em condições de meio de cultura em doses superiores a 1 μ g e ainda assinala que foi alocado em maior quantidade nas folhas jovens (79%) interferindo com seu crescimento. Esses valores baixos obtidos como acúmulo de massa fresca podem ser resultado dos danos causados pelo herbicida decorrente dos

efeitos tóxicos provocados na falta de formação de aminoácidos essenciais necessários para o crescimento e desenvolvimento das plantas (RODRIGUES, 2001; RODRIGUES e ALMEIDA, 2011) na medida em que foi incrementada a dose do produto e da qual a planta não conseguiu se recuperar.

Foi analisada também a acúmulo de massa seca de folha, de caule e da parte aérea total (Tabela 48). Na produção de massa seca foliar e da parte aérea, os valores obtidos pelo híbrido Status foram significativamente superiores, enquanto que para massa seca de caule não houve diferença estatística,

A aplicação da formulação de Roundup Ready[®] prejudicou a formação de massa seca da parte aérea de forma significativa em relação às outras formulações testadas. No acúmulo de massa seca foliar para as doses de produto, a testemunha sem aplicação de herbicida obteve valor significativamente maior do que as demais doses aplicadas (Tabela 48). Comportamento semelhante ocorreu para massa seca aérea, porém, para massa seca de caule a testemunha sem aplicação foi igual a 40 g e.a ha⁻¹ e estatisticamente superior aos demais tratamentos. Para melhor análise das médias foram aplicadas regressões não lineares as quais apresentaram comportamento sigmoidal.

Para a interação híbridos e doses na produção de massa seca foliar (Tabela 49), no caso dos híbridos em cada dose de glyphosate, o híbrido Status acumulou massa em quantidades significativamente maiores do que o híbrido Impacto na testemunha (4,82 g), assim como nas doses 40 e 80 g e.a ha⁻¹ (3,84 e 1,50 g, respectivamente). Doses maiores não apresentaram diferenças.

A análise de regressão para a interação híbridos e doses sobre massa seca de folha mostrou comportamento sigmoidal (Figura 31). Ocorreu decréscimo no acúmulo de MSF com aplicação de 40 g e.a ha⁻¹, mantendo-se constante até doses de 80 g e.a ha⁻¹, sem diferença com doses superiores a 160 g e.a ha⁻¹ entre os híbridos.

Tabela 48. Análise de variância e médias \pm EP para massa seca de folha (MSF, g), de caule (MSC, g) e aérea (MSA, g) no estudo de dose resposta de três formulações de glyphosate em dois híbridos de milho. Experimento 4.

Variável	Massa seca foliar		Massa seca caule		Massa seca aérea	
	F	p	F	p	F	p
Híbrido (H)	24,85	0,000**	0,32	0,573 ^{ns}	11,08	0,001**
Formula (F)	4,88	0,090 ^{ns}	1,91	0,151 ^{ns}	5,50	0,051*
Dose (D)	234,26	0,000**	32,47	0,000**	185,35	0,000**
Intera (H*F)	0,19	0,828 ^{ns}	0,01	0,989 ^{ns}	0,19	0,823 ^{ns}
Intera (H*D)	4,11	0,001**	1,22	0,300 ^{ns}	4,05	0,001**
Intera (F*D)	1,45	0,168 ^{ns}	0,41	0,942 ^{ns}	1,49	0,152 ^{ns}
Intera (H*F*D)	0,51	0,880 ^{ns}	0,15	0,998 ^{ns}	0,16	0,998 ^{ns}
C.V. (%)	30,21		40,18		29,50	
Híbridos						
Impacto	1,53 b ^{1/} \pm 0,14		1,36 a \pm 0,08		2,89 b* \pm 0,22	
Status	1,98 a \pm 0,18		1,43 a \pm 0,11		3,40 a \pm 0,28	
Formulação						
RR	1,56 a \pm 0,13		1,21 a \pm 0,13		2,78 b \pm 0,25	
RWG	1,82 a \pm 0,15		1,48 a \pm 0,16		3,30 a \pm 0,23	
Z QI	1,89 a \pm 0,16		1,46 a \pm 0,15		3,36 a \pm 0,27	
Dose (g ha⁻¹)						
0	4,27 ^{2/} \pm 0,28		2,57 \pm 0,10		6,84 \pm 0,28	
40	3,46 \pm 0,10		2,50 \pm 0,06		5,95 \pm 0,19	
80	1,20 \pm 0,11		1,09 \pm 0,06		2,29 \pm 0,16	
120	0,67 \pm 0,03		0,82 \pm 0,04		1,49 \pm 0,05	
160	0,55 \pm 0,02		0,78 \pm 0,03		1,33 \pm 0,02	
200	0,38 \pm 0,02		0,60 \pm 0,03		0,98 \pm 0,05	

^{1/} Valores seguidos da mesma letra para híbridos e formulações não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%). ^{2/} Análise desdobrada para a interação dos híbridos e doses (H x D) nas diferentes híbridos. *, ** e ^{ns} Significativo a 5, 1% e Não Significativo.

Tabela 49. Médias do desdobramento de graus de liberdade da massa seca foliar (MSF, g) na interação híbridos e doses na avaliação de dose resposta de glyphosate em milho. Experimento 4.

Variável	Dose (g e.a ha ⁻¹)					
	0	40	80	120	160	200
Híbridos						
Impacto	3,72 b ^{1/}	3,08 b	0,90 b	0,61 a	0,50 a	0,38 a
Status	4,82 a	3,84 a	1,50 a	0,73 a	0,59 a	0,38 a

* Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

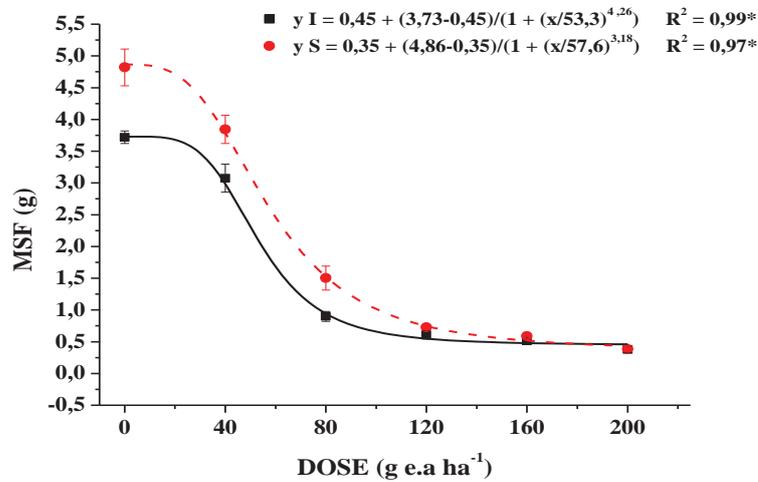


Figura 31. Representações gráficas das equações de regressão entre massa seca foliar (MSF) e doses de glyphosate em dois híbridos de milho. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. ■ Impacto, ● Status.

Para massa seca da parte aérea (Tabela 50), assim como da folha foi observada significância estatística para interação entre híbridos e doses. No caso de híbridos em cada dose, o híbrido Status acumulou maior massa aérea do que o híbrido Impacto e de forma semelhante na dose 40 g e.a ha⁻¹.

Tabela 50 Médias do desdobramento dos graus de liberdade de massa seca aérea (MSA, g) na interação híbridos e doses na avaliação de dose resposta de glyphosate em milho. Experimento 4.

Variável	Dose (g e.a ha ⁻¹)					
	0	40	80	120	160	200
Híbridos						
Impacto	6,21 b ^{1/}	5,19 b	1,95 a	1,48 a	1,39 a	1,12 a
Status	7,47 a	6,72 a	2,63 a	1,50 a	1,26 a	0,84 a

* Valores seguidos da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (LSD Fischer, 5%).

^{1/} Comparação das médias como interação em forma gráfica.

Após análise de regressão para a interação de massa seca aérea foi observado comportamento sigmoide (Figura 32) semelhante ao apresentado para a variável folha.

Ocorreu decréscimo no acúmulo de massa com aplicação de 40 g e.a ha⁻¹, mantendo-se constante até doses de 80 g e.a ha⁻¹, e com queda acentuada em doses iguais e superiores a 120 g e.a ha⁻¹, porém sem diferença entre eles. Ocorreram quedas na produção de massa com aplicação de glyphosate em magnitudes diferentes, mas a tendência teve comportamento semelhante.

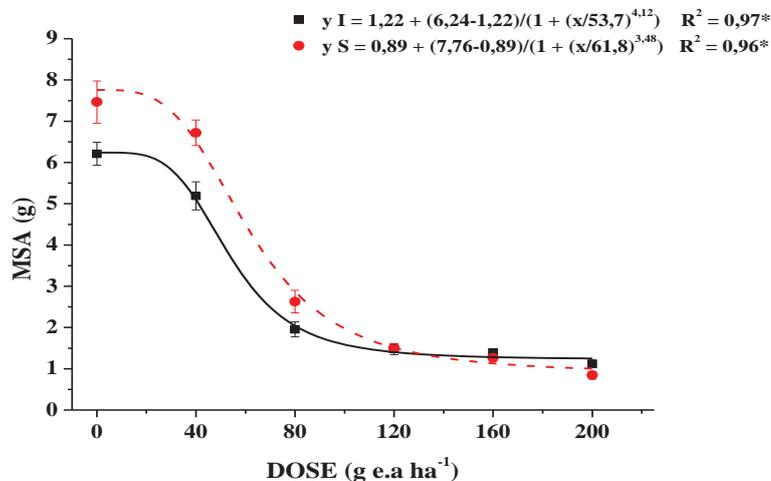


Figura 32. Representações gráficas das equações de regressão entre massa seca aérea (MSA) e doses de glyphosate em dois híbridos de milho. Barras verticais indicam \pm erro padrão da média. \blacksquare Impacto, \bullet Status.

O acúmulo de massa seca foi diferente em avaliações de formulações de glyphosate sobre maracujazeiro amarelo segundo pesquisas feitas por WAGNER JUNIOR et al. (2008). O acúmulo de massa seca, considerado o produto final do processo fotossintético foi também afetado pelas aplicações de glyphosate no qual as formulações não apresentaram diferenças, e sem os híbridos expostos ao herbicida.

Assim como observado nas variáveis de massa fresca, ocorreu queda na produção de massa seca dos híbridos independente da formulação utilizada fato decorrente do efeito tóxico do produto sobre os processos fotossintéticos relacionados com a fixação e metabolismo do carbono. Esses efeitos foram observados em outras

pesquisas por diversos autores em doses variáveis, porém maiores a 75 g e.a ha⁻¹ (GRAVENA et al ., 2009; MACHADO et al., 2010; ZOBIOLE et al., 2010 CARVALHO, 2011).

Diferente do acontecido no experimento um e três, neste último não ocorreu hormese na aplicação de subdoses de glyphosate nos híbridos testados. Possivelmente uma das causas tenham sido as variações de temperatura durante o desenvolvimento do experimento as quais podem ter mascarado o efeito estimulante do herbicida. Condições de excessiva luminosidade e em especial elevada temperatura, assim como umidade relativa muito baixa podem provocar inibição de processos enzimáticos envolvidos com a síntese e assimilação de CO₂ e transporte de açúcares com conseqüente diminuição da fotossíntese, além do fechamento dos estômatos procurando evitar a perda de água e no processo de troca gasosa com o ambiente (TAIZ e ZEIGER, 2004).

V. CONCLUSÕES

Nas condições nas quais foram conduzidos os experimentos foi possível concluir:

1. O glyphosate promoveu aumento na taxa fotossintética com reflexo no acúmulo de massa seca do milho em doses inferiores a 40 g e.a ha⁻¹; sugerindo efeito de hormese;
2. O híbrido Status respondeu de forma diferente e positiva às aplicações de subdoses de glyphosate;
3. O híbrido Impacto apresentou maior suscetibilidade quando submetido a doses maiores a 40 g e.a ha⁻¹;
4. O glyphosate promoveu incrementos nos teores foliares de N, P, B, Cu e Fe nos híbridos estudados; e,
5. A formulação Roundup Ready[®] apresentou os maiores efeitos de toxicidade entre as formulações testadas.

VI. REFERÊNCIAS

AGOSTINETTO, D.; DAL MAGRO, T.; GALON, L.; MORAES, P.V.D.; TIRONI, S.P. Respostas de cultivares de soja transgênica e controle de plantas daninhas em função de épocas de aplicação e formulações de glyphosate. **Planta Daninha**, v. 27, n. 4, p. 739-746, 2009.

BROWN, L.R.; ROBINSON, D.E.; YOUNG, B.G.; LOUX, M.M.; JOHNSON, W.G.; NURSE, R.E.; SWANTON, C.J.; SIKKEMA, P.H. Response of Corn to Simulated Glyphosate Drift Followed by In-Crop Herbicides. **Weed Technol.**, v. 23, n. 1, p.11–16, 2009.

CAKMAK, I.; YAZICI, A.; TUTUS, Y.; OZTURK, L. Glyphosate reduced seed and leaf concentrations of calcium, manganese, magnesium, and iron in non-glyphosate resistant soybean. **Europ. J. Agrono.**, v. 31, p.114–119, 2009.

CALABRESE, E.J.; BALDWIN, L.A. Evidence of dose response in NTP dose-range studies. **Nonlina. Biol. Toxicol. Medi.**, v. 1, p. 455-467, 2003.

CALABRESE, E.J. Hormese: A revolution in toxicology, risk assessment and medicine. **Scienc. Societ.**, EMBO Report, v. 5, p. 35-38, 2004. Special Issue.

CARVALHO, L.B. **Interferência de *Digitaria insularis* em *Coffea arábica* e respostas de estas espécies ao glyphosate**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 119 p. 2011.

CATANEO, A.C.; DÉSTRO, G.F.G.; FERREIRA, L.C.; CHAMMA, K.L.; SOUSA, D.C.F. Atividade de glutathione S-transferase na degradação do herbicida glyphosate em plantas de milho (*Zea mays*). **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 307-312, 2003.

CAVALIERI, S.D.; SILVA, S.M.L.; ANDRADE, G.J.M.; SÃO JOSE. A.R; VELINI, E.D. Efeito de formulações de glyphosate sobre o acúmulo de matéria seca de duas cultivares de soja RR. In: III Simpósio internacional sobre glyphosate: uso sustentável.

Anais.... Botucatu, FEPAF. 2007, p. 61-63. CEDERGREEN, N. Is the growth stimulation by low doses of glyphosate sustained over time?. **Environ. Pollution**, n. 156, p. 1099–1104, 2008.

CEDERGREEN, N.; FELBY, C.; PORTER, J.R.; STREIBIG, J.C. Chemical stress can increase crop yield. **Field Crops Research**, n. 114, p. 54–57, 2009.

CEDERGREEN, N.; OLESEN, C.F. Can glyphosate stimulate photosynthesis. **Pestic. Biochem. Physiol**, n. 96, p. 140–148, 2010.

CONAB. Acompanhamento da safra Brasileira: Grãos, 2010-2011. Agosto, 2011. 41 p.

CORREIA, N. M.; DURIGAN, J.C. Seletividade de diferentes herbicidas a base de glyphosate a soja. **Planta Daninha**. v. 25, n. 2, p. 375-379, 2007.

COSTA, N.V.; ERASMO, E.A.L.; QUEIROZ, P.A.; DORNELAS, D.F.; DORNELAS, B.F. Efeito da deriva simulada de glyphosate no crescimento inicial de plantas de pinhão-mansão. **Planta Daninha**. v. 27, p. 1105-1110, 2009. NÚMERO ESPECIAL.

COUTINHO, C.F.B.; MAZO, L.H. Complexos metálicos com o herbicida glyphosate: Revisão. **Quim. Nova**, v. 28, n. 6, p. 1038-1045, 2005.

CUNHA, J.P.A.R.; TEIXEIRA, M.M.; COURY, J.R.; FERREIRA, L.R. Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas. **Planta Daninha**. v. 21, n. 2, p. 325-32, 2003.

ELLIS, J.M; GRIFFIN, J.L; LINSCOMBE, S.D; ERIC P; WEBSTER, E.P. Rice (*Oryza sativa*) and Corn (*Zea mays*) Response to Simulated Drift of Glyphosate and Glufosinate1, **Weed Technol.**, v. 17, n. 3, p. 452–460, 2003.

FRANÇA, A.C.; FREITAS, M.A.M.; FIALHO, C.M.T.; SILVA, A.A.; REIS, M.R.; GALON, L.; VICTORIA FILHO, R. Crescimento de cultivares de café arábica submetidas a doses do glyphosate, **Planta Daninha**. v. 28, n. 3, p. 599-607, 2010.

FERREIRA, E.A.; SILVA, A.A.; REIS, M.R.; SANTOS, J.B.; OLIVEIRA, J.A.; VARGAS, L.; KHOURI, K.R.; GUIMARÃES, A.A. Distribuição de glyphosate e acúmulo de nutrientes em biótipos de azevém. **Planta Daninha**. v. 26, n. 1, p. 165-173, 2008.

FIGUEREDO, S.S.; LOECK, A.E.; ROSENTHAL, M.D.; AGOSTINETTO, D.; FONTANA, L.C.; RIGOLI, R.P. Influencia de doses reduzidas do glyphosate no tomateiro (*Lycopersicon esculentum*). **Planta Daninha**. v. 25, n. 3, p. 849-857, 2007.

FORNASIERI, D. **Manual da cultura do milho**. Domingos Fornasieri Filho, Ed. Funep, Jaboticabal. 2009. 576 p.

GALLI, J.B.A.; MONTEZUMA, M.C. Alguns aspectos da utilização do herbicida glifosato na agricultura. Monsanto do Brasil, 2005. 66p.

GRAVENA, R.; VICTORIA FILHO, R.; ALVES, P.L.C.A.; MAZZAFERA P.; GRAVENA, A.R. Low glyphosate rates do not affect *Citrus limonia* (L.) Osbeck seedlings. **Pest Manag. Sci.**, n. 65, p. 420–425, 2009.

HUIJSER, C.; KORTSTEE, A.; PEGO, J.; WEISBEEK, P.; WISMAN, E.; SMEEKENS, S. The Arabidopsis sucrose uncoupled-6 gene is identical to abscisic acid insensitive-4: involvement of abscisic acid in sugar responses. **Plant J**. v. 23, n. 5, p. 577-585, 2000.

JANG, J.C.; SHEEN, J. Sugar Sensing in Higher Plants. **The Plant Cell**, v. 6, 1665-1679, 1994.

JORGENSEN, S.S. **Metodologia utilizada para análises químicas de rotina: guia analítico**. Piracicaba,: CENA, 1977. 24p.

LASSITER, B.R.; BURKE, I.C.; THOMAS, W.E.; PLINE-SRNIC, W.A.; JORDAN, D.L.; WILCUT, J.W.; WILKERSON, G.G. Yield and Physiological Response of Peanut to Glyphosate Drift. **Weed Technol.**, v. 21, p. 954–960, 2007.

LATORRE, D.O.; PERES, L.L.; ARRUDA, D.P.; ALVEZ, E.; VELINI, E.D. Glyphosate: alterações nos teores de macronutrientes em plantas de milho. **Anais...** Botucatu, FEPAF. p. 77-79, 2011a.

LATORRE, D.O.; PERES, L.L.; ARRUDA, D.P.; ALVEZ, E; VELINI, E.D. Sobdoses de glyphosate e alterações nos teores de alguns micronutrientes em plantas de milho. III Simpósio internacional sobre glyphosate: uso sustentável. **Anais...** Botucatu, FEPAF. p. 80-82, 2011b.

LEAKEY, A.D.B.; URIBE-LARREA, M.; AINSWORTH, E.A.; SHAWNA, L.; ALISTAIR, N.; ORT, D.R.; LONG, S.P. Photosynthesis, Productivity, and Yield of Maize Are Not Affected by Open-Air Elevation of CO₂ Concentration in the Absence of Drought. **Plant Physiol.**, v. 140, p. 779–790, 2006.

LEITE, G.H.P.; CRUSCIOL, C.A.C. Reguladores vegetais no desenvolvimento e produtividade da cana de açúcar. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 43, n. 8, p. 995-1001, 2008.

LEITE, G.H.P.; CRUSCIOL, C.A.C.; SILVA, M.A.; FILHO, W.G.V. Maturadores e qualidade tecnológica da cana de açúcar variedade RB855453 em início de safra. **Bragantia**, v. 68, n. 3, p. 781-787, 2009.

LEITE, G.H.P.; CRUSCIOL, C.A.C.; SIQUEIRA, G.F.; SILVA, M.A. Qualidade tecnológica em diferentes porções do colmo e produtividade da cana de açúcar sob efeitos de maturadores. **Bragantia**, v. 69, n. 4, p. 861-870, 2010.

MACHADO, A.F.L.; FERREIRA, L.R.; SANTOS, L.D.T.; FERREIRA, F.A.; VIANA, R.G.; MACHADO, M.S.; FREITAS, F.C.L. Eficiência fotossintética e uso da água em plantas de eucalipto pulverizadas com glyphosate. **Planta Daninha**, v. 28, n. 2, p. 319-327, 2010.

MAGALHÃES, P.C.; SILVA, J.B.; DURÃES, F.O.M.; KARAM, D; RIBEIRO, L.S. Efeito de doses reduzidas de glyphosate e paraquat simulando deriva na cultura do milho. **Planta Daninha**, v. 19, n. 2, p. 247-253, 2001a.

MAGALHÃES, P.C.; SILVA, J.B.; DURÃES, F.O.M.; KARAM, D; RIBEIRO, L.S. Efeito de doses reduzidas de glyphosate e paraquat simulando deriva na cultura do sorgo. **Planta Daninha**, v. 19, n. 2, p. 255-262, 2001b.

MATUO, T. **Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaboticabal: Ed. FUNEP, 1990. 139p.

NEVES, D.C.; FULANI JUNIOR, E. Hormese no crescimento do algodoeiro por subdoses de glyphosate. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 7., 2009, Foz do Iguaçu. **Anais...** Sustentabilidade da cotonicultura Brasileira e Expansão dos Mercados. Embrapa Algodão. p. 915-922.

OZTURK, L.; YAZICI, A.; EKER, S.; GOKMEN, O.; ROMHELD, V.; CAKMAK, I. Glyphosate inhibition of ferric reductase activity in iron deficient sunflower roots. **New Phytologist**, n. 177, p. 899–906, 2008.

PADGETTE, R.S.; KOLACS, K.H.; DELANNAY, X.; RE, D.B; LAVALLEE, B.J.; TINIUS, C.N.; RHODES, W.K.; OTERO, Y.I.; EICHHOLTZ, D.A.; PESCHKE V.M.; NIDA, D.L.; TAYLOR, N.B.; KISHORE, G.M. Development, identification and characterization of a glyphosate-tolerant soybean line. **Crop Science**, v. 35, p. 1451-1461. 1995.

REDDY, K.N.; BELLALOU, N.; ZABLOTOWICZ, R.M. Glyphosate Effect on Shikimate, Nitrate Reductase Activity, Yield, and Seed Composition in Corn. **J. Agric. Food Chem.** v. 58, p. 3646–3650, 2010.

RIGOLI, R.P.; FONTANA, L.C.; FIGUEREDO, S.S.; NOLDIN, J.A. Resposta de plantas de beterraba (*Beta vulgaris*) e de cenoura (*Daucus carota*) à deriva simulada de glyphosate e clomazone. **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 451-456, 2008.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA F.S. **Guia de herbicidas** 6 ED. Londrina, p. 324-354. 2011.

RODRIGUES, J.R. **Absorção, translocação de solutos e modo de ação dos herbicidas Roundup e Scout**. Instituto de Biociências, Botucatu - UNESP. 70p. 2001.

ROGERS, A.; AINSWORTH, E.A. The Response of Foliar Carbohydrates to Elevated [CO₂]. **Ecological Studies**, v. 187, p. 293-308. 2006.

ROIDER, C.A. **Wheat (*Triticum aestivum*) response to simulated drift of glyphosate**. Master of Science Thesis. The Department of Agronomy and Environmental Management, Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College. August, 2006.

SANGOI, L. Evolução Genética e Morfo-Fisiológica de Cultivares de Milho, Eficiência Nutricional e Interações com o Ambiente. In; XXVIII Congresso nacional de Milho e Sorgo. **Anais...** Goiânia, GO – 29 agosto a 02 de setembro, 2010.

SANTOS, J.B.; FERREIRA, E.A.; REIS, M.R.; SILVA, A.A.; FIALHO, C.M.T.; FREITAS, M.A.M. Avaliação de formulações de glyphosate sobre soja Roundup Ready. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 165-171, 2007a.

SANTOS, J.B.; FERREIRA, E.A.; OLIVEIRA, J.A.; SILVA, A.A.; FIALHO, C.M.T. Efeito de formulações na absorção e translocação do glyphosate em soja transgênica¹. **Planta Daninha**, v. 25, n. 2, p. 381-388, 2007b.

SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, USP, 1974. 56p.

SERRA, A.P.; MARCHETTI, M.E.; CANDIDO, A.C.S.; DIAS, A.C.R.; CRISTOFFOLETI, P.J. Influência do glifosato na eficiência nutricional do nitrogênio, manganês, ferro, cobre e zinco em soja resistente ao glifosato. **Ciência Rural**, v.41, n.1, p.77-84, 2011.

SOLTANI, N.; VAN EERD, L.L.; VYN, R.J.; SHROPSHIRE, C.; SIKKEMA, P.H. Weed control, environmental impact and profitability with glyphosate tank mixes in glyphosate-tolerant corn. **Can. J. Plant Sci.**, v. 90, p. 125-132, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. São Paulo: Artmed, 2004. 719 p.

THOMAS, W.E.; BURKE, I.C.; ROBINSON, B.L.; PLINE-SRNIC, W.A.; EDMISTEN, K.L.; WELLS, R.; WILCUT, J.W. Yield and Physiological Response of Nontransgenic Cotton to Simulated Glyphosate Drift. **Weed Technol.** v. 19, p. 35–42, 2005.

TUFFI SANTOS, L.D.; SANTOS, J.B.; FERREIRA, F.A.; OLIVEIRA, J.A.; BENTIVENHA, S.; MACHADO, A.F.L. Exsudação radicular de glyphosate por *Brachiaria decumbens* e seus efeitos em plantas de eucalipto. **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 369-374, 2008.

TUFFI SANTOS, L.D.; FERREIRA, F.A.; FERREIRA, L.R.; DUARTE, W.M.; TIBURCIO, R.A.S.; SANTOS, M.V. Intoxicação de espécies de eucalipto submetidas à deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 359-364, 2006.

UOTILA, M.; GULLNER, G.; KOMIVES, T. Induction of glutathione S-transferase activity and glutathione level in plants exposed to glyphosate. **Physiol. Plantarum**, v. 93, n. 4, p. 689–694, 1995.

VELINI, E.D.; ALVES, E.; C GODOY, C.M.; MESCHEDE, D.K.; SOUZA, R.T.; DUKE, S.O. Glyphosate applied at low doses can stimulate plant grow. **Pest Manag. Sci.**, v. 64, p. 489–496, 2008.

VITTI, G.G. **Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta**. Jaboticabal: FUNEP, 1989. 37p.

WAGNER, R.; KOGAN, M.; PARADA, A.M. Phytotoxic activity of root absorbed glyphosate in corn seedlings (*Zea mays* L.). **Weed Biol. Manag.**, v. 3, p. 228–232, 2003.

WAGNER JÚNIOR, A.; TUFFI SANTOS, L.D.; SANTOS, C.E.M.; SILVA, J.O.C.; PIMENTEL, L.D.; BRUCKNER, C.H.; FERREIRA, F.A. Deriva simulada de formulações comerciais de glyphosate sobre maracujazeiro amarelo. **Planta Daninha**, v. 26, n. 3, p. 677-683, 2008.

XIAO, W.; SHEEN, J.; JANG, JC. The role of hexokinase in plant sugar signal transduction and growth and development. **Plant Mol. Biol.**, v.44, n. 4, p. 451-61, 2000.

YAMASHITA, O.M.; GUIMARÃES, S.C. Resposta de cultivares de algodoeiro a subdoses de glyphosate, **Planta Daninha**, v 23, n. 4, p. 627-633, 2005.

YAMASHITA, O.M.; GUIMARÃES, S.C. Deriva simulada de glyphosate em algodoeiro: Efeito de dose, cultivar e estado de desenvolvimento, **Planta Daninha**, v 24, n. 4, p. 821-826, 2005.

ZOBIOLE, L.H.S.; KREMER, R.J.; OLIVEIRA Jr.R.S.; CONSTANTIN, J. Glyphosate affects photosynthesis in first and second generation of glyphosate-resistant soybeans. **Plant Soil.**, n. 336, p. 251–265, 2010.

ZOBIOLE, L.H.S.; KREMER, R.J.; OLIVEIRA Jr. R.S.; CONSTANTIN, J. Glyphosate affects chlorophyll, nodulation and nutrient accumulation. **Pest. Biochem. Physiol.**, v. 99, p. 53–60, 2011.