

GABRIELLE DE CASTRO MACEDO

**CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DE ARROZ
SUBMETIDO A BAIXAS DOSES DE GLYPHOSATE**

Botucatu

2018

GABRIELLE DE CASTRO MACEDO

**CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DE ARROZ
SUBMETIDO A BAIXAS DOSES DE GLYPHOSATE**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp – Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia (Agricultura)

Orientador: Prof. Dr. Caio Antonio Carbonari

Botucatu

2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

M141c Macedo, Gabrielle de Castro, 1988-
Crescimento, desenvolvimento e produtividade de arroz submetido a baixas doses de glyphosate / Gabrielle de Castro Macedo. - Botucatu: [s.n.], 2018
87 p.: fots. color., grafs. color., tabs.

Tese (Doutorado)- Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2018
Orientador: Caio Antonio Carbonari
Inclui bibliografia

1. *Oryza sativa* L. 2. Efeitos secundários de herbicidas. 3. Efeito hormético. 4. EPSPs. 5. Subdoses. I. Carbonari, Caio Antonio. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DE ARROZ SUBMETIDO A BAIXAS DOSES DE GLYPHOSATE

AUTORA: GABRIELLE DE CASTRO MACEDO

ORIENTADOR: CAIO ANTONIO CARBONARI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



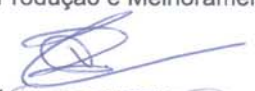
Prof. Dr. CAIO ANTONIO CARBONARI
Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP



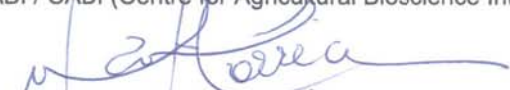
Prof. Dr. EDIVALDO DOMINGUES VELINI
Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal / FCA / UNESP de Botucatu/SP



Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA
Depto de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP



Dra. NATÁLIA CORNIANI
CABI / CABI (Centre for Agricultural Bioscience International – Centro Internacional de Biociência Agrícola)



Dr. MARCELO ROCHA CORRÊA
/ TECHFIELD ASSESSORIA E CONSULTORIA EM AGRICULTURA LTDA

Botucatu, 18 de maio de 2018.

Aos meus pais, Gilberto e Neide,

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida, por ser minha fortaleza e refúgio nos dias em que pensei que não chegaria até aqui.

Aos meus pais, Gilberto de Castro Macedo e Neide Maria de Castro, que com amor e atenção, além de sábias palavras e ensinamentos, foram parte essencial da minha formação como pessoa e profissional. Vocês devotaram a mim e meus irmãos suas vidas e não existem palavras que consigam expressar, de fato, o tamanho da minha admiração e gratidão. Mesmo a distância, se fizeram presentes em cada passo dessa caminhada.

Aos meus irmãos, Isabelle de Castro Macedo e Rafael de Castro Souza, pelo apoio, compreensão, ajuda e pelos momentos de descontração quando estamos juntos.

À minha melhor amiga e a irmã que tive a honra de escolher, Olga Juliana de Curcio. Nesses 19 anos de amizade, não houve um dia em que eu não pudesse contar com suas palavras, nem sempre doces, mas sempre sábias. Verdadeiros amigos não dizem o que queremos ouvir, mas o que precisamos.

Ao Prof. Dr. Caio A. Carbonari, pela oportunidade, orientação, paciência, aconselhamento e ensinamentos, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho e a finalização de mais esta importante etapa da minha vida profissional.

Ao Prof. Dr. Edivaldo D. Velini, pelos sábios conselhos e ensinamentos, além de ajuda indispensável na análise dos dados.

Ao Dr. Greg R. Kruger, pela oportunidade de realizar o intercâmbio junto ao Pesticide Application Technology Laboratory da University of Nebraska-Lincoln.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura, da Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu/UNESP pela oportunidade de realização do Doutorado.

Ao Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM) e a todas as pessoas com as quais tive a oportunidade de conviver e trabalhar durante os últimos cinco anos, em especial aos grandes amigos Diego Belapart, Edicarlos Batista de Castro, Saulo Simões, Giovanna Gomes, José Guilherme, José Roberto, Leandro Bianchi, Luis Marcelo (Chinha), Roque Dias, Vitor Anunciato e, em especial, Renan Nascentes, pela indispensável ajuda na análise dos dados.

Ao amigo Jefferson Sandi, pelo companheirismo, amizade e ajuda, desde minha seleção para o Doutorado, até a finalização deste trabalho.

À Faculdade Eduvale de Avaré, em especial ao coordenador do curso de Agronomia, Prof. Dr. Luis Rodrigo Miyamoto Barberis, pela oportunidade de fazer membro do corpo docente da instituição. Foram 18 meses de intenso aprendizado e desenvolvimento das minhas habilidades como docente.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pelo apoio financeiro, concedido por meio de bolsa de estudos.

Enfim, a todos que estiveram direta ou indiretamente envolvidos nesta conquista pessoal e profissional, minha eterna gratidão.

RESUMO

O emprego de substâncias tóxicas as plantas, como o glyphosate, em doses muito menores que as recomendadas comercialmente pode ocasionar alterações em variáveis como crescimento, acúmulo de biomassa, altura, conteúdo de proteína e resistência a doenças. Desta forma, os objetivos deste trabalho foram realizar estudos para uma melhor compreensão das alterações bioquímicas, fisiológicas e fenológicas do arroz causadas por subdoses de glyphosate. O experimento 1 foi realizado à campo, na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas, FCA/UNESP, Botucatu/SP, nos anos agrícolas de 2015/2016 e 2016/2017. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, arranjado em esquema fatorial 2x7, sendo o primeiro fator época de aplicação do glyphosate (V3 ou R1) e, o segundo, as doses do herbicida (0; 7,5; 15; 30; 60; 120 e 240 g e.a. ha⁻¹), com quatro repetições. Foram avaliados a produtividade, o comprimento de panículas, número de perfilhos por m², peso de 1000 grãos, número de grãos por panícula, a fertilidade de espiguetas e o número de dias entre a aplicação e o início de cada fase fenológica. Os experimentos 2 e 3 foram realizados em casa de vegetação, no Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM), pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas, FCA/UNESP, Botucatu/SP. O experimento 2 seguiu delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial (7x3) com cinco repetições. Os tratamentos foram constituídos por sete doses do herbicida glyphosate (0; 7,5; 15; 30; 60; 120 e 240 g e.a. ha⁻¹) aplicados no estágio V3, e 3 períodos de chuva após a aplicação (12, 24 horas e ausência). Foram avaliados o perfilhamento e o acúmulo de massa das plantas. O experimento 3 foi arranjado em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial (7x3) com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por dez doses do herbicida glyphosate (0; 1,5; 3; 6; 12; 24; 36; 72; 180 e 360 g e.a. ha⁻¹), aplicadas quando as plantas se encontravam em estágio V4, e três regimes de fornecimento de água (fornecimento contínuo, RH1 e RH2). Foram avaliados o consumo de água diário, o perfilhamento e o acúmulo de massa das plantas. A aplicação de subdoses de glyphosate em condições de campo não influenciou a produtividade e os componentes de produtividade das plantas de arroz até a dose de 60 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate quando a aplicação ocorreu em V3, e até 30 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate quando a aplicação ocorreu em R1. A partir destas doses, houve severo efeito de intoxicação

da cultura. Observou-se que os diferentes períodos de chuva após a aplicação de subdoses de glyphosate não interferiram na resposta das plantas de arroz aos tratamentos. Não foi observado efeito hormético para acúmulo de biomassa e consumo de água em casa de vegetação. A aplicação de doses entre 30 e 240 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate proporcionou incremento do perfilhamento das plantas de arroz em todos os estudos realizados, sendo a dose que causou incremento dependente das condições de condução do estudo.

Palavras-chave: efeito hormético, EPSPs, *Oryza sativa* L., subdoses, efeitos secundários de herbicidas.

ABSTRACT

The use of toxic substances in plants, such as glyphosate, in doses much smaller than those recommended commercially can cause changes in variables such as growth, biomass accumulation, height, protein content and resistance to diseases. In this way, the objectives of this work were to carry out studies for a better understanding of the biochemical, physiological and phenological alterations of the paddy rice caused by glyphosate subdoses. Experiment 1 was carried out at the Experimental Farm Lageado, belonging to the College of Agronomic Sciences, FCA / UNESP, in Botucatu, Sao Paulo, in the agricultural years of 2015/2016 and 2016/2017. The experimental design was a randomized block arranged in a 2x7 factorial scheme, with the first factor being the glyphosate application time (V3 or R1) and the second herbicide dose (0, 7.5, 15, 30, 60, 120 and 240 g a.e. ha⁻¹), with four replications. The productivity, panicle length, number of tillers per m², weight of 1000 grains, number of grains per panicle, spikelet fertility and the number of days between the application and the beginning of each phenological phase were evaluated. Experiments 2 and 3 were carried out in a greenhouse at the Weed Science Advanced Research Center (NUPAM), belonging to the Faculty of Agronomic Sciences, FCA / UNESP, in Botucatu, Sao Paulo. Experiment 2 was in a completely randomized design in a factorial scheme (7x3) with five replications. The factor one was doses of the herbicide glyphosate (0, 7.5, 15, 30, 60, 120 and 240 g a.e. ha⁻¹) applied in the V3 and factor two was rainy periods after application (12, 24 hours and without rain). The tillering and mass accumulation of plants were evaluated. Experiment 3 was arranged in a completely randomized design in a factorial scheme (7x3) with four replications. The factor one consisted of ten doses of the herbicide glyphosate (0, 1.5, 3, 6, 12, 24, 36, 72, 180 and 360 g a.e. ha⁻¹) applied when plants were in the V4 stage, and factor two was 3 water supply schemes (no stress, RH1 and RH2). Daily water consumption, tillering and plant mass accumulation were evaluated. The application of glyphosate subdoses under field conditions did not influence yield, productivity components or phenology of paddy rice plants up to the 60 g a.e. ha⁻¹ of glyphosate when the application occurred in V3 and up to 30 g a.e. ha⁻¹ of glyphosate when application occurred at R1. From these doses, there was a severe effect of intoxication of the culture. It was observed that different rainy periods after application of glyphosate subdoses did not interfere in the response of paddy rice plants to the treatments. At greenhouse conditions, no hormesis effect was observed

for biomass accumulation and water consumption. The application of doses from 30 to 240 g a.e. ha⁻¹ of glyphosate increased the tillering of paddy rice plants in all the studies carried out, being the dose that caused increment dependent of the conditions of conduction of each study.

Keywords: hormesis, EPSPs, *Oryza sativa* L., subdoses, secondary effects of herbicides.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Rota do ácido chiquímico e produção de aminoácidos aromáticos e	26
Figura 2 – Temperaturas mínimas, máximas e precipitação pluvial durante a condução no experimento na safra 2015/2016. Botucatu/SP, 2018.....	38
Figura 3 – Temperaturas mínimas, máximas e precipitação pluvial durante a condução no experimento na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.....	39
Figura 4 – Detalhe do equipamento utilizado para aplicação dos tratamentos. Botucatu/SP, 2018.	41
Figura 5 – Detalhe do processo de colheita mecanizada do arroz. Botucatu/SP, 2018.	43
Figura 6 – Processo de aplicação do experimento 2. Botucatu/SP, 2018.	45
Figura 7 – Processo de simulação de chuva no experimento 2. Botucatu/SP, 2018.	45
Figura 8 – Processo de aplicação do experimento 3. Botucatu/SP, 2018.....	47
Figura 9 – Produtividade (kg ha^{-1}) do arroz após a aplicação de glyphosate em V3 (A) e R1 (B) na safra 2015/2016 e em V3 (C) e R1 (D) na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.	51
Figura 10 – Comprimento de panículas de arroz (cm) após a aplicação de glyphosate em V3 (A) e R1 (B) na safra 2015/2016 e em V3 (C) e R1 (D) na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.	53
Figura 11 – Número de grãos em 20 panículas de arroz após a aplicação de glyphosate em V3 (A) e R1 (B) na safra 2015/2016 e em V3 (C) e R1 (D) na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.....	54
Figura 12 – Número de perfilhos m^{-2} de arroz após a aplicação de glyphosate em V3 (A) e R1 (B) na safra 2015/2016 e em V3 (C) e R1 (D) na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.	56
Figura 13 – Altura de plantas de arroz (cm) após a aplicação de glyphosate em V3 (A) e R1 (B) na safra 2015/2016 e em V3 (C) e R1 (D) na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.	58
Figura 14 – Peso de 1000 grãos de arroz após a aplicação de glyphosate em V3 (A) e R1 (B) na safra 2015/2016 e em V3 (C) e R1 (D) na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.	60

Figura 15 – Fertilidade de espiguetas de arroz (%) após a aplicação de glyphosate em V3 (A) e R1 (B) na safra 2015/2016 e em V3 (C) e R1 (D) na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.....	61
Figura 16 – Número de perfilhos de três plantas de arroz aos 28 dias após a aplicação de glyphosate em V3 sem a simulação de chuva (A), com simulação de chuva 12 horas após a aplicação (B) e com simulação de chuvas 24 horas após a aplicação (C). Botucatu/SP, 2018.....	63
Figura 17 – Massa de matéria seca de três plantas de arroz aos 28 dias após a aplicação de glyphosate em V3 sem a simulação de chuva (A), com simulação de chuva 12 horas após a aplicação (B) e com simulação de chuvas 24 horas após a aplicação (C). Botucatu/SP, 2018.....	64
Figura 18 – Massa de matéria seca de rebrota de plantas de arroz aos 58 dias após a aplicação de glyphosate em V3 e 30 dias após o corte da parte aérea, sem a simulação de chuva (A), com simulação de chuva 12 horas após a aplicação (B) e com simulação de chuvas 24 horas após a aplicação (C). Botucatu/SP, 2018.	66
Figura 19 – Plantas de arroz aos 7 dias após a aplicação de glyphosate nos grupos sem simulação de chuva (A), com simulação de chuva 12 horas após a aplicação (B) e com simulação de chuva 24 horas após a aplicação (C). Botucatu/SP, 2018.	67
Figura 20 – Plantas de arroz 14 dias após a aplicação de glyphosate nos grupos sem simulação de chuva (A), com simulação de chuva 12 horas após a aplicação (B) e com simulação de chuva 24 horas após a aplicação (C). Botucatu/SP, 2018.	67
Figura 21 – Plantas de arroz 21 dias após a aplicação de glyphosate nos grupos sem simulação de chuva (A), com simulação de chuva 12 horas após a aplicação (B) e com simulação de chuva 24 horas após a aplicação (C). Botucatu/SP, 2018.	68
Figura 22 – Plantas de arroz 28 dias após a aplicação de glyphosate nos grupos sem simulação de chuva (A), com simulação de chuva 12 horas após a aplicação (B) e com simulação de chuva 24 horas após a aplicação (C). Botucatu/SP, 2018.	68
Figura 23 – Rebrota de plantas de arroz aos 58 dias após a aplicação de glyphosate e 30 dias após o primeiro corte, no grupo sem corte no fornecimento de água. Botucatu/SP, 2018.....	69
Figura 24 – Rebrota de plantas de arroz aos 58 dias após a aplicação de glyphosate e 30 dias após o primeiro corte, no grupo com simulação de chuva 12 horas após a aplicação. Botucatu/SP, 2018.....	69

Figura 25 – Rebrota de plantas de arroz aos 58 dias após a aplicação de glyphosate e 30 dias após o primeiro corte, no grupo com simulação de chuva 24 horas após a aplicação. Botucatu/SP, 2018.	70
Figura 26 – Número de perfilhos de quatro plantas de arroz aos 28 dias após a aplicação de glyphosate em V4 sem estresse hídrico (A), com estresse hídrico no grupo RH1 (B) e com estresse hídrico no grupo RH2 (C). Botucatu/SP, 2018.	71
Figura 27 – Massa de matéria seca de quatro plantas de arroz aos 28 dias após a aplicação de glyphosate em V4 sem estresse hídrico (A), com estresse hídrico no grupo RH1 (B) e com estresse hídrico no grupo RH2 (C). Botucatu/SP, 2018.	73
Figura 28 – Plantas de arroz aos 28 dias após a aplicação de glyphosate em V4, no grupo sem estresse hídrico. Botucatu/SP, 2018.	74
Figura 29 – Plantas de arroz aos 28 dias após a aplicação de glyphosate em V4, com estresse hídrico no grupo RH1. Botucatu/SP, 2018.	74
Figura 30 – Plantas de arroz aos 28 dias após a aplicação de glyphosate em V4, com estresse hídrico no grupo RH2. Botucatu/SP, 2018.	75
Figura 31 – Consumo acumulado de água por plantas de arroz durante 28 dias após a aplicação de glyphosate em V4, sem estresse hídrico (A), com estresse hídrico no grupo RH1 (B) e com estresse hídrico no grupo RH2 (C). Botucatu/SP, 2018.	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultado da análise química do solo da área experimental na safra 2015/2016. Botucatu/SP, 2018.....	40
Tabela 2 – Resultado da análise química do solo da área experimental na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.....	40
Tabela 3 – Horário e condições climáticas no momento das aplicações na área experimental nas safras 2015/2016 e 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.....	42
Tabela 4 – Tratamentos e épocas de aplicação de glyphosate na área experimental. Botucatu/SP, 2018.	42
Tabela 5 – Esquema de fornecimento e corte do fornecimento de água dos grupos RH1 e RH2 durante os 28 dias de condução do experimento. Botucatu/SP, 2018...	48
Tabela 6 – Parâmetros da equação de regressão, valor de F e coeficiente de variação (CV%) da produtividade estimada de arroz após a aplicação de glyphosate em V3 e R1 na safra 2015/2016 e em V3 e R1 na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.	50
Tabela 7 – Valor de F e coeficiente de variação (CV%) do comprimento de panículas de arroz após a aplicação de glyphosate em V3 e R1 na safra 2015/2016 e em V3 e R1 na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.....	52
Tabela 8 – Parâmetros da equação de regressão, valor de F e coeficiente de variação (CV%) do número de grãos em 20 panículas de arroz após a aplicação de glyphosate em V3 e R1 na safra 2015/2016 e em V3 e R1 na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.	54
Tabela 9 – Parâmetros da equação de regressão, valor de F e coeficiente de variação (CV%) do número de perfilhos m ⁻² de arroz após a aplicação de glyphosate em V3 e R1 na safra 2015/2016 e em V3 e R1 na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.	55
Tabela 10 – Parâmetros da equação de regressão, valor de F e coeficiente de variação (CV%) da altura de plantas de arroz após a aplicação de glyphosate em V3 e R1 na safra 2015/2016 e em V3 e R1 na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018. ...	57
Tabela 11 – Parâmetros da equação de regressão, valor de F e coeficiente de variação (CV%) do peso de 1000 grãos de arroz após a aplicação de glyphosate em V3 e R1 na safra 2015/2016 e em V3 e R1 na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.	59
Tabela 12 – Parâmetros da equação de regressão, valor de F e coeficiente de variação (CV%) da fertilidade de espiguetas de plantas de arroz após a aplicação de	

glyphosate em V3 e R1 na safra 2015/2016 e em V3 e R1 na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018..... 61

Tabela 13 – Parâmetros da equação de regressão, valor de F e coeficiente de variação (CV%) do número de perfilhos de três plantas de arroz aos 28 dias após a aplicação de glyphosate, sem a simulação de chuva e com simulação de chuva 12 horas e 24 horas após a aplicação. Botucatu/SP, 2018. 62

Tabela 14 – Parâmetros da equação de regressão, valor de F e coeficiente de variação (CV%) da massa de matéria seca de três plantas de arroz 28 dias após a aplicação de glyphosate, sem a simulação de chuva e com simulação de chuva 12 horas e 24 horas após a aplicação 64

Tabela 15 – Parâmetros da equação de regressão, valor de F e coeficiente de variação (CV%) da massa de matéria seca de rebrota de plantas de arroz aos 58 dias após a aplicação de glyphosate em V3 e 30 dias após o corte da parte aérea, sem a simulação de chuva e com simulação de chuva 12 horas e 24 horas após a aplicação. Botucatu/SP, 2018..... 65

Tabela 16 – Parâmetros da equação de regressão, valor de F e coeficiente de variação (CV%) do número de perfilhos de três plantas aos 28 dias após a aplicação de glyphosate em V4, sem estresse hídrico, com estresse hídrico no grupo RH1 e com estresse hídrico no grupo RH2. Botucatu/SP, 2018. 71

Tabela 17 – Parâmetros da equação de regressão, valor de F e coeficiente de variação (CV%) da massa de matéria seca de três plantas aos 28 dias após a aplicação de glyphosate em V4, sem estresse hídrico, com estresse hídrico no grupo RH1 e com estresse hídrico no grupo RH2. Botucatu/SP, 2018..... 72

Tabela 18 – Parâmetros da equação de regressão, valor de F e coeficiente de variação (CV%) do consumo acumulado de água por plantas de arroz durante 28 dias após a aplicação de glyphosate em V4, sem estresse hídrico, com estresse hídrico no grupo RH1 e com estresse hídrico no grupo RH2. Botucatu/SP, 2018. 75

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
2	REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1	A Cultura do Arroz.....	23
2.2	Glyphosate: uso, características físico-químicas, modo de ação e degradação.....	24
2.3	Efeitos secundários de herbicidas em plantas: efeito hormético	30
2.4	Efeitos de subdoses de glyphosate em plantas.....	32
3	MATERIAL E MÉTODOS	38
3.1	Experimento 1: Avaliação da influência de subdoses de glyphosate na produtividade da cultura do arroz em condições de campo	38
3.2	Experimento 2: Avaliação dos efeitos da chuva em diferentes períodos após a aplicação de glyphosate no desenvolvimento de plantas de arroz.....	44
3.3	Experimento 3: Avaliação do efeito de subdoses de glyphosate sobre o consumo de água de plantas de arroz submetidas a diferentes regimes hídricos	46
3.4	Análise dos dados.....	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1	Experimento 1: Avaliação da influência de subdoses de glyphosate na produtividade da cultura do arroz em condições de campo	50
4.2	Experimento 2: Avaliação dos efeitos da chuva em diferentes períodos após a aplicação de glyphosate no desenvolvimento de plantas de arroz.....	62
4.3	Experimento 3: Avaliação do efeito de subdoses de glyphosate sobre o consumo de água de plantas de arroz submetidas a diferentes regimes hídricos	70
5	CONCLUSÕES	78
	REFERÊNCIAS.....	79

1 INTRODUÇÃO

A nível mundial, o arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais produzidos e consumidos, sendo considerado o principal alimento na dieta de mais de metade da população do mundo, sobretudo em países em desenvolvimento. No Brasil, configura-se como uma das culturas mais importantes para o agronegócio, representando um volume expressivo da produção de grãos no país e apresentando elevado consumo interno.

A partir de 2004, com a liberação do cultivo da soja geneticamente modificada resistente ao glyphosate no Brasil, a utilização deste herbicida aumentou em larga escala. O glyphosate é o herbicida mais utilizado no mundo e o Brasil tem se destacado como um de seus maiores consumidores. Um conjunto de características torna-o um produto com uso crescente, como baixa toxicidade a mamíferos, sua eficiência em controlar uma ampla gama de espécies daninhas, tanto anuais quanto perenes, além de seu baixo custo. Além disso, o emprego de sementes geneticamente modificadas resistentes ao mecanismo de ação do herbicida e, sobretudo no Brasil, a utilização em larga escala do sistema de semeadura direta na palha, no qual herbicidas são indispensáveis no momento de preparo (dessecação) da área em pré-semeadura/plantio das culturas, contribuem para sua ampla utilização.

Dentro deste cenário, é comum que, em função da tecnologia de aplicação utilizada, ocorra a chegada de doses menores aos alvos e/ou que ocorra deriva do herbicida para áreas adjacentes à área onde se realizou a aplicação, sobretudo quando as condições de aplicação não são adequadas, como ventos acima de 10 km ha⁻¹, altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar. Ainda, pode ocorrer contaminação da calda de pulverização, se houver resíduos no tanque.

Quando o glyphosate entra em contato com as plantas, seja esta exposição decorrente de aplicação direta ou por deriva do herbicida, podem ocorrer alterações fisiológicas, metabólicas e morfológicas, culminando ou não em morte.

O emprego de substâncias tóxicas às plantas, como o glyphosate, em doses muito menores do que as recomendadas comercialmente, para estimular o desenvolvimento vegetal, é conhecido como efeito hormético. Diversos autores têm demonstrado que a aplicação de subdoses de glyphosate pode resultar em efeito hormético, tanto em plantas daninhas quanto cultivadas. Os efeitos horméticos dos herbicidas nas plantas foram observados por muitos pesquisadores e para muitas variáveis, como

crescimento, biomassa, altura, conteúdo de proteína, resistência a doenças, entre outros. No entanto, poucas foram as pesquisas realizadas até hoje no sentido de estudar este efeito no aprimoramento das culturas e usá-los em escala comercial.

Os efeitos de subdoses de herbicidas em plantas, tanto daninhas quanto cultivadas, ainda não são amplamente conhecidos e podem ser benéficos, maléficos ou mesmo inexistentes ou imperceptíveis. No entanto, a maior parte dos estudos não aponta evidências de que subdoses de glyphosate podem causar um efeito estimulante que resulte em aumento de produtividade, pois as avaliações, em geral, são feitas por curtos períodos e próximas ao período de exposição da planta ao herbicida. Existem poucos trabalhos conduzidos em condições de campo para a avaliação da produtividade, evidenciando que o tema ainda necessita de mais estudos que corroborem os resultados obtidos em condições controladas.

Partindo deste pressuposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de subdoses de glyphosate aplicadas na cultura do arroz sobre suas características morfológicas, fisiológicas e fenológicas em condições controladas e de campo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Cultura do Arroz

O arroz (*Oriza sativa* L.) destaca-se como a oitava *commoditie* mais produzida no mundo (FAOSTAT, 2018). É uma fonte de alimento rica em carboidratos e proteínas e possui versatilidade de adaptação aos mais diversos ecossistemas e sistemas de cultivo, climas e solos, motivo pelo qual é cultivado em todos os continentes, sobretudo na Ásia (VIEIRA et al., 2012).

No Brasil, durante as últimas quatro décadas, o arroz teve sua produtividade aumentada em 315% em função do constante avanço nas tecnologias empregadas em seu cultivo (CONAB, 2017). O Brasil é, atualmente, o nono maior produtor de arroz do mundo (FAOSTAT, 2018), com área plantada de 1,98 milhão de hectares e produção de 12,3 milhões de toneladas do grão na safra 2016/2017 (CONAB, 2017). Sua produtividade média foi de 6224 kg ha⁻¹, a maior desde que a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) passou a monitorar a produção nacional.

A área plantada divide-se em regime de sequeiro e irrigado, com 524,4 mil e 1456,5 mil hectares semeados, respectivamente. A Região Sul, com destaque para o Rio Grande do Sul, situa-se como principal produtora, sendo responsável por cerca de 64% da área plantada e 81% da produção nacional na safra 2016/2017, utilizando predominantemente o cultivo em Ecossistema de Várzeas (CONAB, 2017).

O arroz é consumido majoritariamente *in natura*, sendo os carboidratos os principais constituintes do grão, que contém, aproximadamente, 90% de amido na matéria seca do grão polido (JULIANO, 1993). Nos países em desenvolvimento, o arroz constitui-se como um dos principais elementos da dieta da população. Pode fornecer, em média, 27% dos carboidratos, 20% das proteínas e 3% dos lipídeos necessários diariamente, dependendo da quantidade consumida (KENNEDY et al., 2002).

O gênero *Oryza* pertence à família Poaceae e possui cerca de 20 espécies, sendo a espécie *Oryza sativa* originária do Sul e Sudeste da Ásia (SMITH; DILDAY, 2003), onde foi domesticada há, aproximadamente, 10.000 anos (ABREU; OLIVEIRA, 2015). Trata-se de uma gramínea de ciclo anual, com adaptações fisiológicas e morfológicas para ambiente aquático. Seus órgãos são divididos em raízes (adventícias), colmos, folhas, flores arranjadas numa inflorescência do tipo panícula, sementes e frutos

(cariopse). Seu ciclo de vida pode variar entre 100 e 210 dias, na maioria das vezes situando-se entre 110 e 150 dias (MOREIRA; KLUGE, 1999), dividindo-se em três fases: vegetativa, reprodutiva e maturação (COUNCE et al., 2000; ABREU; OLIVEIRA, 2015).

As faixas de temperatura ótimas para seu desenvolvimento variam entre 20 a 35 °C durante a germinação; entre 30 a 33 °C durante o florescimento e 20 a 25 °C durante os estádios de maturação (YOSHIDA, 1981). Temperaturas acima de 35 °C durante o estágio de florescimento podem causar esterilidade das espiguetas (YOSHIDA; PARAO, 1976). A temperatura afeta também a taxa de emergência foliar, que requer 100 graus-dias para o desenvolvimento de uma folha antes da indução do primórdio floral e 170 graus-dias depois dela (MOREIRA; KLUGE, 1999). É classificada como uma planta de dias curtos quanto a sua resposta ao fotoperíodo, que é considerado ótimo quando sua duração tem entre 9 e 10 horas (YOSHIDA; PARAO, 1976).

Salvo o Rio Grande do Sul, a maior parte do arroz cultivada no Brasil está sob as condições de sequeiro, na qual a produtividade é dependente da precipitação, sobretudo na fase reprodutiva, sendo a fase mais crítica as duas semanas que antecedem o florescimento (MOREIRA; KLUGE, 1999). De acordo com Yoshida (1981), o consumo de água da cultura pode variar entre 2,0 e 6,0 mm dia⁻¹.

2.2 Glyphosate: uso, características físico-químicas, modo de ação e degradação

O glyphosate (N-(fosfonometil)glicina) é o herbicida mais utilizado no mundo e o Brasil tem se destacado como um de seus maiores consumidores. Um conjunto de características torna-o um produto com uso crescente: baixa toxicidade a mamíferos, custo relativamente baixo, utilização de sementes geneticamente modificadas resistentes ao mecanismo de ação do herbicida (VELINI et al., 2012) e, sobretudo no Brasil, utilização em larga escala do sistema de semeadura direta na palha, no qual herbicidas são indispensáveis no momento de preparo (dessecação) da área em pré-semeadura/plantio das culturas.

A comercialização de glyphosate teve início na década de 1970, porém, antes do advento das culturas geneticamente modificadas resistentes ao herbicida, sua utilização ficava restrita a entressafra, em operações de dessecação no sistema de

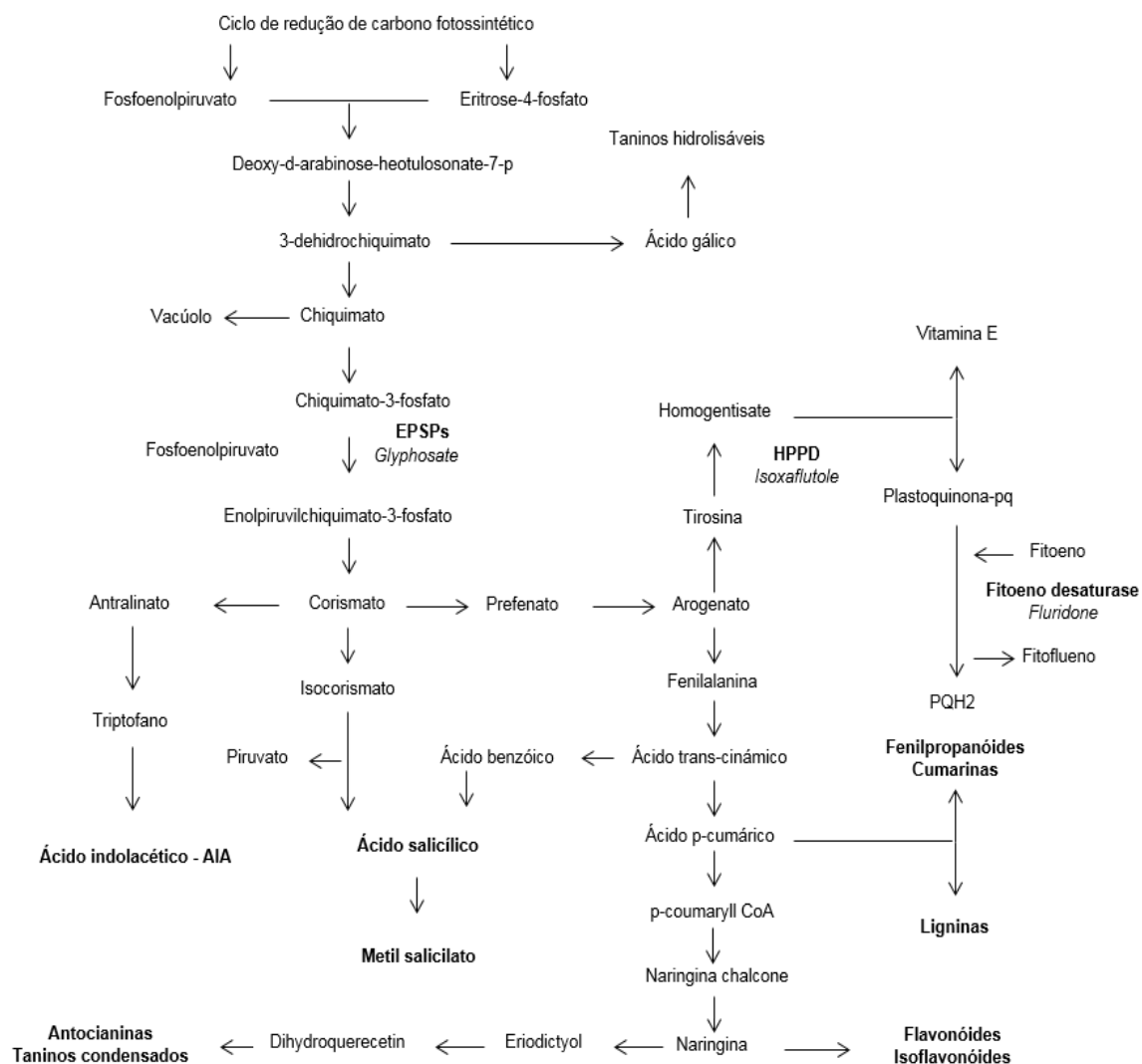
semeadura direta. Com a inserção dos transgênicos no mercado, o glyphosate passou a ser largamente empregado em pós-emergência das culturas resistentes, sobretudo milho e soja (GAZZIERO et al., 2012).

O glyphosate pertence ao grupo químico dos derivados da glicina, sendo considerado bastante solúvel em água, com solubilidade de 15700 mg L^{-1} a 25°C e pH 7,0. É um ácido fosfônico fraco, com densidade de $1,74 \text{ g mL}^{-1}$ (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). É pouco volátil, com pressão de vapor de $7,5 \times 10^{-8} \text{ mm Hg}$ e ponto de fusão a $189,9^\circ\text{C}$ (FRANZ et al., 1997). Possui coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}) de 0,000033 (LINDERS et al., 1994), que é considerado baixo, classificando-o como polar ou hidrofílico (alta afinidade com os coloides orgânicos do solo e baixa afinidade com a fração mineral) e seu coeficiente de sorção normalizado para carbono orgânico (K_{oc}) é de 300 a 20100 L kg^{-1} (REGITANO; CASTRO, 2009), demonstrando sua tendência em ser adsorvido pelo carbono orgânico no solo. É considerado estável à degradação por fotólise e hidrólise (REGITANO; CASTRO, 2009).

Apesar de ser considerado altamente solúvel em água, possui alta sorção aos coloides orgânicos (em função de sua ligação aos sítios do fosfato), o que contribui para o baixo risco de contaminação de águas subterrâneas (AMARANTE JR. et al., 2002; VELINI et al., 2012). Desta forma, a qualidade da água em aplicações de glyphosate é de suma importância, pois em águas duras, contendo cátions como ferro, cálcio, magnésio, sódio, potássio e cobre, seu contato com estes pode resultar na formação de complexos insolúveis de glyphosate, sobretudo com cálcio e magnésio, impedindo sua absorção pelas plantas e reduzindo sua eficácia (KOGAN; PÉREZ JR., 2003; COUTINHO; MAZO, 2005).

O glyphosate é um herbicida de ação sistêmica para aplicação em pós-emergência. É comercializado em mais de 100 países (REGITANO; CASTRO, 2009) e, no Brasil, é registrado para mais de 20 culturas (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). Considera-se que, antes do advento da transgenia ou da seleção de biótipos/espécies resistentes, todas as espécies de plantas eram sensíveis ao glyphosate, em maior ou menor grau (VELINI et al., 2012). É classificado como não seletivo, controlando um amplo espectro de plantas daninhas mono e eudicotiledôneas, tanto anuais quanto perenes. Sua ação ocorre devido à inibição da enzima 5-enolpiruvilchiquimato 3-fosfato sintase (EPSPs; EC 2.5.1.19) na rota do ácido chiquímico (FRANZ et al., 1997), sendo o único herbicida com esse mecanismo de ação comercializado no Brasil.

Figura 1 – Rota do ácido chiquímico e produção de aminoácidos aromáticos e alguns compostos fenólicos.



Fonte: Velini et al., 2012.

O modo de ação de herbicidas corresponde ao conjunto de eventos desde o contato da molécula com a planta até a morte ou paralização do crescimento, envolvendo os processos de contato, penetração, absorção, translocação, metabolização, interação com o sítio de ação e, finalmente, surgimento dos sintomas, culminando em morte (VELINI et al., 2009). A eficiência da ação do glyphosate sobre o alvo depende de uma série de fatores, como sua retenção na superfície foliar, sua penetração nos tecidos da planta e posterior translocação, além da inibição do sítio onde atua (MONQUERO, 2003). Deve-se levar em consideração também, o fato de que as doses requeridas para controlar diferentes plantas numa mesma população, dentro da mesma espécie, podem variar em função do estágio de desenvolvimento,

altura e características genéticas de cada planta (VILA-AIUB; GHERSA, 2005; BRITO et al., 2016).

O potencial de absorção do glyphosate pelas raízes é muito pequeno, sobretudo em função de sua alta sorção aos colóides orgânicos do solo (REGITANO; CASTRO, 2009). A adsorção de glyphosate é tanto menor quanto maior for o pH da solução do solo. Uma vez em contato com o solo, é rapidamente adsorvido pelos colóides da fração orgânica, tornando-se indisponível para absorção pelas plantas. Essa característica permite a semeadura das culturas, mesmo as não resistentes por transgenia, logo após sua aplicação (MONQUERO, 2003).

A absorção de glyphosate pela cutícula foliar ocorre de forma lenta (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011) e sua entrada na célula é mediada por proteínas de transporte de fosfato, presentes na membrana celular (MERVOSH; BALKE, 1991). O fato de se tratar de um ácido fosfônico fraco facilita sua translocação (VELINI et al., 2012), que ocorre majoritariamente via floema, partindo das partes fotossinteticamente ativas (fonte) para as partes em crescimento (dreno), podendo causar a morte do sistema radicular e de estruturas reprodutivas de plantas perenes, como rizomas, bulbos e tubérculos (KRUSE et al., 2000; HETHERINGTON et al., 1999).

A enzima 5-enolpiruvilchiquimato 3-fosfato sintase (EPSPs) é codificada no núcleo (WEAVER; HERRMANN, 1997; STAUFFERR et al., 2001), sendo transportada para o cloroplasto, onde é responsável por catalisar a reação de ligação entre chiquimato 3-fosfato (S3P) e fosfoenolpiruvato (PEP), dando origem a enolpiruvilchiquimato-3-fosfato e fosfato inorgânico (PETERSON et al., 1996).

Em microrganismos e plantas, todos os compostos aromáticos considerados chave no metabolismo primário, incluindo os aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano, encontrados em proteínas, são produzidos via rota do ácido chiquímico (ARCURI et al., 2004). Esta rota está presente em algas, bactérias, fungos e vegetais superiores (COGGINS et al., 2003) e a afinidade da EPSPs com o glyphosate pode variar de acordo com a espécie, o que poderia explicar a diferença de sensibilidade entre plantas ao herbicida (FEDTKE; DUKE, 2004).

A ação da enzima inibida pelo glyphosate (EPSPs) ocorre na rota do ácido chiquímico e, após sua inibição, vários processos e rotas essenciais ao crescimento e desenvolvimento da planta são afetados, numa reação em cadeia que culmina em morte da planta. Os compostos fenólicos, por exemplo, que podem representar até 35% da biomassa vegetal, são produzidos nesta rota (BOUDET et al., 1985).

Inicialmente, a EPSPs reage com o S3P, formando o complexo EPSPs-S3P. O segundo passo na reação é a ligação do complexo EPSPs-S3P ao PEP. A ação do glyphosate ocorre entre a primeira e a segunda etapa da reação: o herbicida possui uma afinidade cerca de 75 vezes maior com o complexo EPSPs-S3P do que o PEP, além de sua velocidade de dissociação ao sítio de ação (EPSPs-S3P) ser, aproximadamente, 2000 vezes menor que a do PEP. Desta forma, ocorre uma inibição do tipo competitiva, com o glyphosate ligando-se fortemente ao complexo EPSPs-S3P (REAM et al., 1992).

A enzima 3-deoxi-D-arabino-heptulose-7-fosfato sintase (DAHPS) é responsável pela catalisação da condensação da eritrose-4-fosfato com PEP, na primeira reação da rota do ácido chiquímico, sendo uma enzima reguladora da rota. A DAHPS, por sua vez, tem sua atividade regulada pelos níveis de arogenato na célula, considerado seu inibidor alostérico. O arogenato é produzido posteriormente à ação da EPSPs na rota do ácido chiquímico. A aplicação de glyphosate e posterior inibição da EPSPs interfere na entrada de carbono na rota e aumenta a atividade da DAHPS, em função da redução da concentração de arogenato (DEVINE et al., 1983).

Após a aplicação do herbicida e inibição da enzima, ocorre falha na produção de compostos oriundos desta rota metabólica, interrupção do fluxo ou interferência na alocação de carbono e redução na síntese de proteínas em função da ausência ou baixa concentração dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano, cuja via do ácido chiquímico é a principal rota de produção (BECERRIL et al., 1989; FISHER et al. 1986). Em condições normais, aproximadamente 20% do carbono fixado pelas plantas pelo processo de fotossíntese é direcionado para esta rota (HASLAM, 1993).

O bloqueio na rota do ácido chiquímico resulta em acúmulo de ácido chiquímico em tecidos de plantas que foram tratadas com glyphosate e causa deficiência de lignina, alcaloides, flavonoides, diminuição na taxa de fixação de CO₂ e produção de biomassa, em função da dose do herbicida empregada (OLESEN; CEDERGREEN, 2010). Além disso, devido ao acúmulo de ácido chiquímico causado pela inibição da EPSPs, o aumento na concentração desse e outros metabólitos têm sido relacionados aos efeitos estimulantes causados por subdoses de glyphosate (SINGH; SHANER, 1998; VELINI et al., 2008; NASCENTES, 2016).

O produto da rota do ácido chiquímico é o corismato, cuja conversão em p-hidroxibenzoato, prefenato, isocorismato, antranilato e aminodeoxicorismato ocorre

pela ação de cinco enzimas. Estes metabólitos do corismato são os precursores na biossíntese dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, triptofano e tirosina, entre outras substâncias (DOSSELAERE; VANDERLEYDEN, 2001). Cada um dos aminoácidos aromáticos dá origem a diversas famílias de substâncias que atuam na regulação do crescimento ou na defesa das plantas e são de suma importância para o crescimento e desenvolvimento vegetal, como os taninos condensados, antocianinas, vitamina E, ácido indolacético (AIA), ácido salicílico, lignina, flavonas, isoflavonas, fenilpropanóides e cumarinas (AMRHEIN et al., 1980; ANDERSON; JOHNSON, 1990; HERMAN, 1995; VELINI et al., 2009).

O AIA é um importante regulador vegetal, fundamental para o processo de alongamento celular, dominância apical, crescimento de caules e raízes e formação de tecidos vasculares (TAIZ; ZEIGER, 2009). Alterações na produção dos aminoácidos aromáticos e compostos fenólicos podem aumentar/diminuir sua concentração de forma significativa (GOMES, 2014). Já os compostos fenólicos têm efeito sobre a absorção de luz, podendo interferir no processo de fotossíntese ou ainda atuar na proteção da planta à radiação ultravioleta (GITZ et al., 2004). Quando disponível na solução do solo, o glyphosate é rapidamente metabolizado por microrganismos, sendo seu principal metabólito o ácido aminometilfosfônico (AMPA), que posteriormente é mineralizado a CO₂ (REGITANO; CASTRO, 2009).

A degradação do glyphosate no solo ocorre majoritariamente por microorganismos, com sua meia-vida no solo variando de alguns dias a alguns meses (DUKE, 1988; DUKE, 2012), o que dependerá da atividade microbiana no solo e dos fatores que afetam esta atividade (LUCHINI, 2009). Este processo pode ocorrer de duas formas no solo. Na primeira, ocorre a transformação do glyphosate em sarcosina mediada pela ação das bactérias *Agrobacterium radiobacter* ou *Enterobacter aerogenes*. A sarcosina, por sua vez, pode ser metabolizada por microorganismos, degradando-se. Na segunda, o glyphosate é transformado em AMPA, também mediada por microrganismos (DICK; QUINN, 1995; FRANZ; MAO; SIKORSKI, 1997; AMARANTE JR. et al., 2002). A degradação de AMPA, por sua vez, ocorre de forma mais lenta quando comparada à do glyphosate, possivelmente por sua maior capacidade de adsorção aos colóides do solo, sendo considerado mais persistente que o glyphosate no solo (COX, 1998; LUCHINI, 2009).

2.3 Efeitos secundários de herbicidas em plantas: efeito hormético

Para Paracelsus (1493-1541), todas as substâncias podem causar efeitos benéficos ou maléficos e, o que definirá o tipo de efeito causado em um organismo seria a dosagem empregada. Em outras palavras, de acordo com sua afirmação, agentes considerados tóxicos em certas doses, causariam nenhum ou quase nenhum malefício quando utilizados em baixas doses. Além disso, algumas substâncias, enquanto tóxicas em altas doses, podem causar efeitos estimulantes ou benéficos em baixas doses (DUKE et al., 2006).

Os efeitos horméticos de substâncias químicas têm sido observados nos mais diversos grupos de organismos, desde bactérias e fungos até organismos superiores, como plantas e animais, incluídos neste grupo os mamíferos, como o próprio homem (CALABRESE, 2005).

Os efeitos promotores de crescimento causados pela aplicação de subdoses são chamados de efeito hormético ou hormesis. O termo *hormesis* foi primeiramente utilizado por Southam e Erlich (1943) que, baseados nos preceitos pregados por Paracelsus e na palavra de origem grega *hormo*, que significa excitar, nomearam um fenômeno que já havia sido reconhecido anteriormente. Em seu estudo, os autores observaram que um composto retirado da casca de carvalho promovia o crescimento fúngico em baixas doses e inibia fortemente em doses mais altas.

De acordo com Calabrese e Baldwin (2002), a definição de efeito hormético diz respeito ao estímulo ao parâmetro avaliado e não ao efeito estimulante ou não causado no organismo como um todo.

Baixas e ultrabaixas doses de herbicidas podem ser empregadas para modular o crescimento, desenvolvimento ou composição das plantas (BRITO et al., 2017). Os efeitos horméticos podem ocorrer com a exposição a doses muito baixas de herbicidas, sendo necessário considerar uma ampla gama de doses em cada estudo, doses estas, em muitos casos, mais de 100 vezes menores do que as doses comercialmente empregadas dos herbicidas.

Para determinar ou não a existência de efeito hormético, primeiramente deve-se construir uma curva de dose-resposta, incluindo uma ampla gama de doses abaixo da dose que causa toxidez do herbicida em estudo (DUKE et al., 2006).

O efeito hormético ocorre quando uma curva de dose-resposta apresenta um comportamento bifásico, com dois tipos de respostas biológicas como resposta a

exposição de um organismo a diferentes doses de um agente causador de estresse: uma estimulante e uma inibitória (MATTSON et al., 1997; BUKOWSKI; LEWIS, 2000; CALABRESE, 2004; MURADO; VÁZQUEZ, 2010).

Minarik et al. (1951) foram os primeiros a relatar efeitos horméticos de herbicidas em plantas. De acordo com Cedergreen et al. (2005), o efeito promotor causado pela aplicação de baixas doses de herbicidas causa, em média, um aumento de 20 a 30% no parâmetro avaliado quando comparado ao tratamento controle.

Em estudos realizados por Cedergreen (2008), os herbicidas glyphosate e metsulfuron-methyl causaram o aumento na biomassa de aveia, em doses que variaram de 5% a 10% da dose comercial recomendada para uso em campo. Duke et al. (2006) citam exemplos de efeito hormético causados em várias espécies, como soja, trigo, milho e centeio, pela aplicação de diversos herbicidas, que resultaram em incremento em altura, área foliar, massa seca, conteúdo proteico, entre outros.

O intervalo de doses que promove estímulo, bem como a magnitude do estímulo, pode variar de acordo com o herbicida utilizado, a espécie em estudo e ainda com estágio de desenvolvimento da planta dentro de uma mesma espécie (VELINI et al., 2008; CARVALHO et al., 2013). Embora a ocorrência de efeito hormético seja amplamente aceita e discutida, ela se traduz em um fenômeno complexo e que pode ser afetado por diversos fatores (BELZ; DUKE, 2014).

O efeito de estímulo observado em um órgão da planta não necessariamente será o mesmo em outro (DUKE et al., 2006). Alguns herbicidas como bromacil, bromoxynil, EPTA, MSMA, entre outros, podem estimular o crescimento do sistema radicular quando utilizados em baixas doses, mas não causam o mesmo efeito na parte aérea das mesmas plantas, independentemente da dose empregada (WEIDMAN; APPLEBY, 1972).

Em geral, os dados obtidos por meio das avaliações são submetidos a testes comparativos simples, como teste t, que compara o tratamento controle (sem aplicação) aos demais tratamentos. Em se tratando do estudo do efeito hormético, testes mais robustos são obtidos empregando-se regressões, que comparam modelos não-lineares, com e sem o efeito estimulante e, desta forma, determina-se qual modelo de regressão mais se ajusta aos dados em questão (CEDERGREEN et al., 2005). O uso de modelos estatísticos apropriados para analisar os dados é essencial para identificar e caracterizar efeito hormético.

Existem algumas hipóteses para explicar quais mecanismos fisiológicos estariam envolvidos nos efeitos promotores observados em plantas tratadas com subdoses de herbicidas. Poderia existir, por exemplo, uma tentativa da planta de compensar o estresse sofrido por sua exposição a um agente químico que levaria ao aumento no crescimento (DUKE et al., 2006). Outras formas de resposta a uma situação de estresse poderiam ser a maior produção de sementes (GOMES, 2014; NADEEM et al., 2016), o que resultaria em uma oportunidade de germinação da progênie em condições mais favoráveis.

2.4 Efeitos de subdoses de glyphosate em plantas

Os efeitos promotores resultantes da aplicação de subdoses de glyphosate têm sido reportados em muitas espécies, incluindo culturas e plantas daninhas. Alterações morfológicas, fisiológicas e nas características químicas das plantas têm sido avaliadas em diversos estudos.

Efeitos estimulantes da aplicação de subdoses de glyphosate sobre características morfológicas têm sido observados em diversas culturas como eucalipto (VELINI et al., 2008; NASCENTES, 2016), pinus (VELINI et al., 2008), soja (VELINI et al., 2008; SILVA et al., 2015), milho (WAGNER et al., 2003; VELINI et al., 2008), capim-braquiária (NASCENTES et al., 2015; MORAES, 2016), cevada (CEDERGREEN, 2008; CEDERGREEN et al., 2009), cana-de-açúcar (VELINI et al., 2008; SILVA et al., 2009; CARBONARI et al., 2014) e café (CARVALHO et al., 2013).

Silva et al. (2009) observaram aumento no crescimento inicial e perfilhamento de plantas de cana-de-açúcar quando estas foram expostas a dose de 1,8 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate. Carbonari et al. (2014) demonstraram incremento na massa de matéria seca de parte aérea de cana-de-açúcar com a aplicações de glyphosate em doses variando de 7,2 a 36 g e.a. ha⁻¹. Os mesmos autores observaram aumento na concentração de chiquimato, ácido quínico e chiquimato-3-fosfato, além de redução da biomassa seca com emprego de doses superiores a 72 g e.a. ha⁻¹.

Velini et al. (2008) observaram efeitos horméticos pela aplicação de glyphosate em milho, soja, eucalipto e pinus, em doses variando de 1,8 a 36 g e.a. ha⁻¹. Para soja e milho, o máximo incremento observado na massa de matéria seca de parte aérea foi de 27,8% e 25,5% para as doses de 14,2 e 22,6 g e.a. ha⁻¹, respectivamente.

Carvalho et al. (2013), trabalhando com plantas de café, observaram que o máximo efeito estimulante na altura de planta, diâmetro de caule, número de folhas, área foliar, massa seca de caule, massa seca de folhas e massa seca total foram de 21%, 18%, 28%, 39%, 24%, 31% e 27%, respectivamente, e ocorreram com a aplicação glyphosate aos 45 dias após o transplante das mudas, em doses que variaram de 416 a 738 g e.a. ha⁻¹. Em comparação com outros experimentos do gênero em diferentes espécies, as doses citadas são consideradas altas, o que pode estar relacionado com a tolerância do café ao glyphosate.

Em trabalho com *U. decumbens*, Moraes (2016) observou máximo estímulo com a dose de 11,3 g e.a. ha⁻¹. De acordo com autor, a mesma dose não promoveu estímulo em todos os experimentos realizados, levando-o a conclusão de que, as doses que causam estímulo ou inibição podem ser muito próximas. Ainda segundo o autor, a utilização de glyphosate para promover crescimento desta espécie em condições de campo seria difícil, levando-se em consideração que existe desuniformidade nas doses que efetivamente atingem as plantas durante uma pulverização, além da diferença entre indivíduos da própria espécie, como altura e número de perfilhos, pois o próprio processo de germinação não é uniforme.

Em capim-braquiária cv. Marandu (*Urochloa brizantha*), a dose de 10,5 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate aplicada em pastagem estabelecida resultou em aumento de 31,8% na produção de massa de matéria seca em comparação ao tratamento sem aplicação do herbicida, em avaliação realizada 15 dias após a aplicação do tratamento. Já em avaliação realizada aos 30 dias após a aplicação de glyphosate, a dose de 12,6 g e.a. ha⁻¹ foi a que mais se destacou, resultando em 21,8% de incremento de massa de *U. brizantha* (NASCENTES et al., 2015).

A alta capacidade de sorção do glyphosate aos coloides orgânicos do solo e sua baixa atividade e disponibilidade na solução do solo é amplamente conhecida. No entanto, Bott et al. (2011) inferem que aplicação de fósforo no solo pode remobilizar o glyphosate sorvido, deixando baixas concentrações do herbicida disponíveis no solo e permitindo sua absorção pelas raízes, o que poderia resultar em estímulo no crescimento das plantas.

Sementes de *Lactuca sativa* expostas a subdoses de glyphosate aplicado no solo tiveram a concentração de ácido chiquímico aumentada nas raízes em estudo conduzido por Belz e Liberle (2012). No mesmo estudo, os autores inferiram que o acúmulo de ácido chiquímico não estava relacionado ao estímulo de crescimento das

plantas, pois o aumento da concentração desta substância foi observado mesmo nos tratamentos onde o efeito hormético não ocorreu.

Carbonari et al. (2014) relataram que a presença de AMPA, principal metabólito do glyphosate, foi detectada em folhas de cana-de-açúcar expostas a doses de glyphosate superiores a 72 g e.a. ha⁻¹ e foram tanto maiores, quanto maior a dose do herbicida aplicada. Maiores incrementos nos níveis dos aminoácidos fenilalanina e tirosina foram observados com a aplicação de doses variando entre 72 e 180 g e.a. ha⁻¹ aos 2 dias após os tratamentos, com as concentrações diminuindo com o decorrer dos dias.

A aplicação de subdoses de glyphosate levou ao incremento de produção em cevada com a exposição das plantas a doses que variaram de 11 a 45 g e.a. ha⁻¹ (CEDERGREEN; OLESEN, 2010).

Carvalho et al. (2012) trabalhando com subdoses de glyphosate na cultura do café, relataram que a aplicação do herbicida resultou em maior estímulo na condutância estomática, transpiração e assimilação de CO₂ em plantas expostas aos herbicidas aos 10 dias após o transplante do que aquelas expostas as mesmas doses (180 a 360 e.a. ha⁻¹) aos 45 dias após o transplante. Já em trabalho conduzido por Nascentes (2016), foi observado aumento na taxa de transpiração, condutância estomática e na taxa de assimilação de CO₂ de folhas de cana-de-açúcar após a aplicação de doses entre 8,1 e 9,7 g de e.a. de glyphosate ha⁻¹. Ainda, o autor relatou aumento na massa de matéria seca de folhas e massa de matéria seca do colmo com a exposição das plantas as doses de 11,5 e 16,1 g e.a. de glyphosate ha⁻¹, respectivamente.

A taxa de transporte de elétrons (ETR) no fotossistema II de soja convencional sofreu aumento de 16% em relação ao tratamento controle, nove dias após a aplicação de 1,8 g e.a. de glyphosate ha⁻¹, em trabalho conduzido por Silva et al. (2015). Os mesmos autores inferiram que a avaliação da ETR pode constituir-se em método não destrutivo para a avaliação do efeito hormético causado por glyphosate.

Alterações no acúmulo de ácido chiquímico em diferentes tecidos de plantas tratadas com doses comerciais ou subdoses de glyphosate são um eficiente indicador na presença e ação do herbicida (SINGH; SHANER, 1998). No entanto, relativamente poucos estudos têm medido a concentração de chiquimato. Alguns estudos têm reportado efeitos de subdoses de glyphosate na concentração de compostos presentes na rota do ácido chiquímico (BRITO et al., 2017).

Velini et al. (2008), trabalhando com soja convencional, relataram aumento na concentração de ácido chiquímico nas plantas expostas a subdoses de glyphosate. No mesmo trabalho, nenhuma alteração no conteúdo de ácido chiquímico foi observada pelos autores quando as mesmas subdoses foram aplicadas em soja resistente ao herbicida.

Embora espécies transgênicas resistentes à glyphosate sejam mundialmente e largamente cultivadas, poucos estudos avaliando suas respostas à aplicação de subdoses de glyphosate estão disponíveis na literatura (BRITO et al., 2017).

Um fator que poderia influenciar o efeito hormético seria a exposição à subdoses de um herbicida por consecutivas vezes. Silva et al. (2015) relataram que a pré-exposição de plântulas de soja não resistente a glyphosate a subdoses do herbicida, resultou em aumento no estímulo de crescimento, quando realizada uma segunda aplicação de subdoses de glyphosate. As doses que resultaram nos incrementos mais promissores foram maiores em plantas que haviam sido previamente expostas ao herbicida do que as observadas em plantas que não receberam o pré-tratamento. Desta forma, a pré-exposição à subdoses de glyphosate poderia modificar a resposta hormética em subseqüentes aplicações de subdoses, resultando em um maior efeito hormético.

Velini et al. (2008) não observaram efeito hormético quando o glyphosate foi aplicado em subdoses em soja resistente à glyphosate. No mesmo estudo, empregando soja convencional, as doses de 14,2 e 23 g e.a. ha⁻¹ resultaram em 28% e 22% de incremento na massa de matéria seca de raízes e parte aérea, respectivamente. Há indicativo, portanto, de que o efeito hormético está ligado ao sítio de ação do glyphosate, ouse já, relacionado à inibição parcial da EPSPS por baixas doses de glyphosate (VELINI et al. 2008, CEDERGREEN; OLESEN 2010).

Em estudo conduzido por Silva et al. (2015), plântulas de soja convencional com três semanas foram expostas a subdoses de glyphosate, e os níveis de fenilalanina e triptofano foram aumentados em 60 e 80%, respectivamente, na dose 7,2 g e.a. de glyphosate ha⁻¹. O aumento nas concentrações destes aminoácidos pode ser uma resposta compensatória ao estresse sofrido pelas plantas. Os autores observaram ainda um aumento médio de 99% na massa seca de raízes na dose de 1,8 g e.a. ha⁻¹. Para massa seca total (raízes + parte aérea), o incremento foi de 44%, na mesma na dose.

Como exposto anteriormente, o glyphosate inibe uma enzima (EPSPs) crucial na rota do ácido chiquímico, fonte de substâncias precursoras da lignina. A redução na concentração de lignina pode tornar a parede celular mais elástica, favorecendo seu alongamento durante o desenvolvimento da planta. Tal processo resultaria em plantas com maior crescimento longitudinal (DUKE et al., 2006). Contudo, em estudo realizado por Nascentes (2016) não foi observada redução nos teores de lignina após a aplicação de subdoses de glyphosate tanto em cana-de-açúcar quanto em eucalipto.

Outra questão a ser considerada é exposição de plantas à subdoses de glyphosate, em função do seu contato com restos de culturas de cobertura que foram dessecadas com o emprego de doses comerciais do herbicida. Nascente et al. (2013) observaram que o conteúdo de ácido chiquímico em plântulas de arroz sofreu incremento em comparação ao tratamento controle quando estas entraram em contato com restos culturais de *Panicum maximum*, *Urochloa ruziziensis*, *Urochloa brizantha* cv Marandu e vegetação espontânea (composta predominantemente por *Bidens pilosa*, *Commelina benghalensis*, *Conyza bonariensis* e *Cenchrus echinatus*) durante o processo de emergência.

Os efeitos horméticos resultantes da aplicação de glyphosate também foram relatados em plantas daninhas. Velini et al. (2006), estudando a resposta de *Commelina benghalensis*, com duas e quatro folhas, à aplicação de subdoses de glyphosate, observaram que os efeitos estimulantes foram maiores em plantas mais jovens (duas folhas) na dose de 0,2 g e.a. ha⁻¹. Gomes (2014) observou incremento de cerca 20% na altura de plantas de *Conyza sumatrensis* quando uma dose de 90 g e.a. de glyphosate ha⁻¹ foi aplicada.

Nadeem et al. (2016), estudando *Coronopus didymus*, *Chenopodium album*, *Rumex dentatus* e *Lathyrus aphaca*, plantas daninhas de folha larga no Paquistão, observaram incremento no crescimento de raízes e parte aérea das mesmas com o emprego de subdoses de glyphosate, além de aumento no número de sementes produzidas por planta. O aumento na capacidade reprodutiva de plantas daninhas devido a sua exposição à subdoses de glyphosate foi observado também por Gomes (2014), que relatou antecipação do florescimento e aumento no número de capítulos em *Conyza sumatrensis* resistente a glyphosate, quando as plantas foram expostas a uma dose de 90 g e.a. de glyphosate ha⁻¹.

De acordo com Belz e Duke (2014), quando plantas daninhas resistentes à glyphosate são expostas a doses comerciais do herbicida, os efeitos horméticos

tendem a aumentar, pois as doses que efetivamente chegam ao sítio de ação do herbicida podem ser reduzidas em função de mecanismos de resistência. Absorção e/ou translocação reduzidas ou inativação da molécula por metabolização são exemplos de mecanismos que podem reduzir a concentração do herbicida que efetivamente atinge o sítio de ação (no caso, a enzima EPSPs). Segundo os mesmos autores, o efeito hormético em plantas daninhas resistentes pode variar ainda em função do grau de resistência ou suscetibilidade ao herbicida, o que resultaria em efeito hormético mesmo com a exposição a doses altas de glyphosate, usualmente aquelas empregadas comercialmente. Indiretamente, poderia ocorrer uma pressão de seleção em função do favorecimento dos biótipos resistentes, tornando-os mais competitivos ou mais resistentes a uma segunda medida de controle, em detrimento dos biótipos suscetíveis no campo.

De acordo com as explanações feitas nesta revisão, os efeitos de glyphosate no efeito hormético de plantas podem variar amplamente, em função de diversos fatores. A maior parte dos relatos de ocorrência deste efeito ocorre em trabalhos realizados em condições controladas e em avaliações realizadas por curtos períodos, subsequentes à exposição ao herbicida. Tais resultados sugerem a necessidade de mais pesquisas sobre os efeitos de subdoses de herbicidas quando estas são aplicadas em condições de campo, visando demonstrar se o efeito pode se repetir e qual sua durabilidade durante o ciclo da cultura, permitindo ainda observar se ocorreriam efeitos estimulantes na produção e/ou nos componentes de produtividade.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Experimento 1: Avaliação da influência de subdoses de glyphosate na produtividade da cultura do arroz em condições de campo

Foram desenvolvidos dois experimentos na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, em Botucatu, São Paulo. A localização de ambos os experimentos foi a 22°50'31,87"S e 48°25'26,62"O e 789 m de altitude.

Segundo o sistema Koppen, o clima da Fazenda Experimental Lageado é classificado como Cwa, com clima temperado quente (mesotérmico), verão chuvoso e inverno seco, com temperatura média do mês mais frio inferior a 17°C e temperatura média do mês mais quente superior a 22°C (CUNHA et al., 1999).

Os experimentos foram conduzidos em sistema de semeadura direta na palha, por dois anos consecutivos, sendo as safras 2015/2016 e 2016/2017. Nas figuras 2 e 3 estão apresentadas as condições climáticas durante a condução dos experimentos no primeiro e segundo ano, respectivamente.

Figura 2 – Temperaturas mínimas, máximas e precipitação pluvial durante a condução no experimento na safra 2015/2016. Botucatu/SP, 2018.

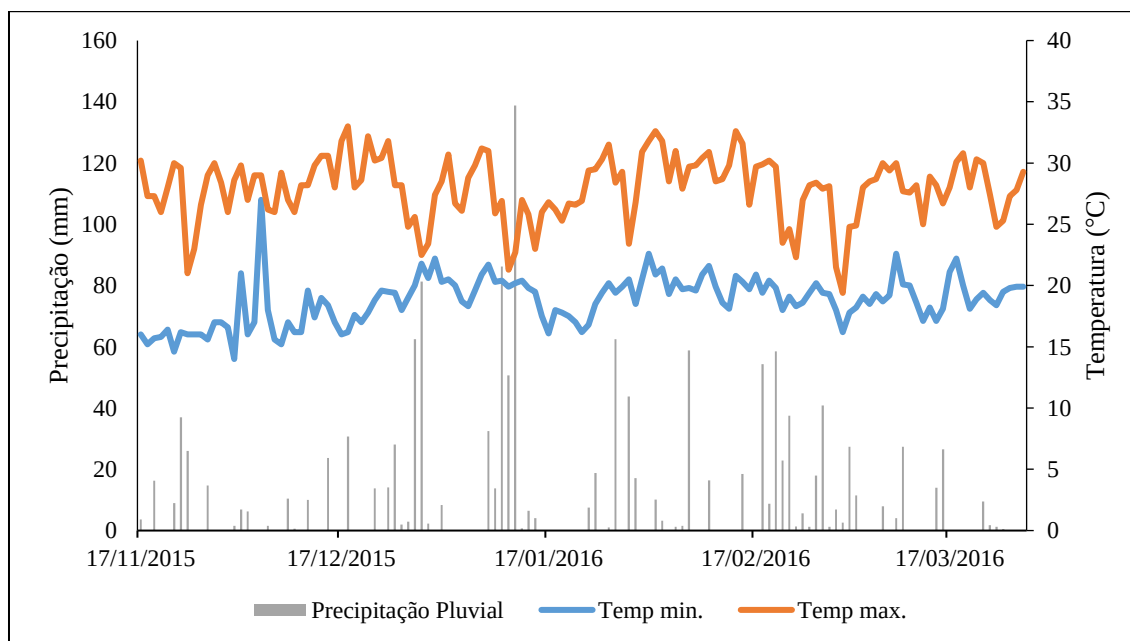
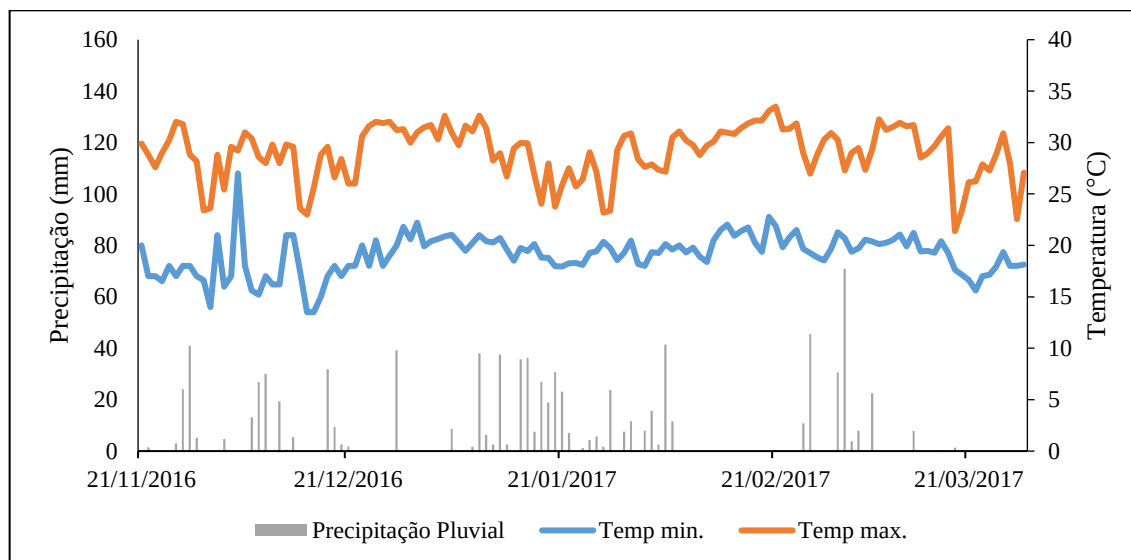


Figura 3 – Temperaturas mínimas, máximas e precipitação pluvial durante a condução no experimento na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.



Em ambos, o delineamento estatístico empregado foi o de blocos casualizados com quatro repetições. Cada parcela possuía sete metros de comprimento e oito linhas da cultura, espaçadas entre si por 0,35 metros, totalizando uma área de 19,6 m². As parcelas foram mantidas livres da infestação de plantas daninhas durante todo o ciclo da cultura por meio de capina manual.

Antes da implantação dos experimentos, o solo da área experimental foi amostrado nas profundidades de 0 – 20 e 20 – 40 cm de profundidade por meio do uso de trados tipo sonda. As amostras foram acondicionadas em sacos e encaminhadas ao laboratório de solos da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP), onde foi realizada a análise química do solo.

O solo da área experimental é classificado como Terra Roxa Estruturada distrófica por Carvalho et al. (1983), sendo atualizado para NITOSSOLO VERMELHO distrófico (NVd) pela EMBRAPA (2013). As características químicas da área experimental estão descritas da Tabela 1.

Tabela 1 – Resultado da análise química do solo da área experimental na safra 2015/2016. Botucatu/SP, 2018.

Prof. cm	pH CaCl ₂	M.O. g dm ⁻³	P _{resina} mg dm ⁻³	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
							mmol _c dm ⁻³				
0-20	4,2	20	45	3	73	2,4	29	10	41	114	36
20-40	4,2	15	17	6	96	1,0	24	9	34	130	26

Prof. cm	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg dm ⁻³					
0-20	19	0,35	7,3	30	18,4	1,9
20-40	6	0,31	6,7	23	8,5	0,5

Tabela 2 – Resultado da análise química do solo da área experimental na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018

Prof. cm	pH CaCl ₂	M.O. g dm ⁻³	P _{resina} mg dm ⁻³	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
				mmol _c dm ⁻³							
0-20	4,4	24	44	9	61	3,1	27	9	38	97	39
20-40	4,5	20	15	11	65	1,1	25	9	35	100	35
Prof. cm	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn					
	mg dm ⁻³										
0-20	14	0,53	6,6	46	15,8	2,8					
20-40	24	0,39	7,6	38	9,2	0,9					

Previamente à semeadura do arroz, a área foi dessecada com glyphosate na dose de 720 g e.a. ha⁻¹ (Roundup WG®). A semeadura do arroz, cultivar ANA 8001, no primeiro ano (safra 2015/2016), ocorreu no dia 17 de novembro de 2015 e no segundo ano (safra 2016/2017), no dia 21 de novembro de 2016. No ano agrícola 2016/2017, foram empregadas sementes salvas do primeiro ano de produção da cultura, tendo as mesmas sido armazenadas sob condições controladas para manter sua viabilidade e vigor, utilizando-se 300 sementes viáveis por m⁻². O espaçamento entre linhas empregado foi de 0,35 m. como adubação de base, foram utilizados 200 kg ha⁻¹ de NPK (8-28-16) e 60 kg ha⁻¹ de N, utilizando como fonte o sulfato de amônia.

Imediatamente após a semeadura do arroz, a área foi pulverizada com pendimethalin, na dose de 1200 g i.a. ha⁻¹ (Herbadox® 400 EC), seguida de 5 mm de irrigação para incorporação do herbicida, pelo fato de se tratar de uma molécula volátil.

Esta segunda aplicação visou a inibição da germinação de emergência de espécies gramíneas, cuja área tem histórico de infestação. Este procedimento foi repetido nos anos de condução do experimento.

Na ausência de chuvas, empregou-se irrigação suplementar por aspersão para o suprimento adequado de água à cultura. Durante a condução dos experimentos o controle de pragas, doenças e plantas daninhas foi realizado segundo as recomendações técnicas para a cultura na região.

No dia 18 de janeiro de 2016, 63 dias após a semeadura (DAS), no primeiro ano agrícola de condução, foi realizada a adubação nitrogenada em cobertura utilizando 40 kg ha⁻¹ de N, sendo o sulfato de amônio empregado como fonte de N. Na segunda safra, a adubação foi realizada no dia 17 de janeiro de 2017, 62 DAS.

Na entressafra ocorrida entre o final do primeiro estudo (2015/2016) e o início do segundo (2016/2017), foi cultivada aveia para cobertura do solo.

As aplicações dos tratamentos foram realizadas empregando um pulverizador costal pressurizado à CO₂, com barra de seis bicos e pontas de jato plano, modelo Teejet® XR 110.02 VS, espaçados entre por 0,5 m, pressão de 276 kPa e taxa de aplicação de 200 L ha⁻¹ (Figura 4). O horário de início e fim das aplicações, em ambas as safras, bem como as condições atmosféricas no momento de cada uma constam na Tabela 3.

Figura 4 – Detalhe do equipamento utilizado para aplicação dos tratamentos. Botucatu/SP, 2018.



Foram testados 13 tratamentos sobre a cultura. Os tratamentos foram constituídos por seis doses do herbicida glyphosate aplicado em duas fases fenológicas da cultura:

V3 e R1, além de uma testemunha sem aplicação. As doses de glyphosate utilizadas, bem como as épocas e datas de aplicação em cada safra são descritas na Tabela 4.

Tabela 3 – Horário e condições climáticas no momento das aplicações na área experimental nas safras 2015/2016 e 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.

Safra 2015/2016				
	1ª Aplicação		2ª Aplicação	
	Início	Fim	Início	Fim
Horário	9:46	11:11	10:08	11:07
Temperatura (°C)	30,9	34,3	31,5	36,5
Umidade relativa do ar (%)	63,7	55,6	56,8	47,7
Velocidade do vento (km h ⁻¹)	1,9	1,2	1,6	1,9
Safra 2016/2017				
	1ª Aplicação		2ª Aplicação	
	Início	Fim	Início	Fim
Horário	9:38	10:42	10:22	11:36
Temperatura (°C)	30,6	33,7	27,2	35,1
Umidade relativa do ar (%)	65,3	56,5	66,1	45,7
Velocidade do vento (km h ⁻¹)	1,4	1,9	2,3	1,2

Tabela 4 – Tratamentos e épocas de aplicação de glyphosate na área experimental. Botucatu/SP, 2018.

	Tratamento	Dose (g e.a. ¹ ha ⁻¹)	Época	Safra	
				2015/2016	2016/2017
				Data	
1	-				
2		7,5			
3		15,0			
4	glyphosate ²	30,0	V3	18/12/2015	17/12/2016
5		60,0			
6		120,0			
7		240,0			
8		7,5			
9		15,0			
10	glyphosate ²	30,0	R1	26/01/2016	23/01/2017
11		60,0			
12		120,0			
13		240,0			

1: equivalente ácido. 2: Roundup® Original.

Para avaliação dos componentes de rendimento (comprimento de panícula, número de grãos por panícula, fertilidade de espiguetas e massa de 1000 grãos), no dia 23 de março de 2016, no primeiro ano de experimento, e no dia 28 de março de 2017, para o segundo ano, foram coletadas manualmente 20 panículas de cada parcela. Para determinação da fertilidade de espiguetas, os grãos coletados destas 20 panículas foram separados em cariopses cheias e vazias por meio de fluxo de ar, em equipamento denominado “soprador”, com posterior cálculo da porcentagem de cariopses cheias. A determinação da massa de 1000 grãos foi realizada de acordo com metodologia proposta por Brasil (2009).

Foram também realizadas as avaliações de altura de plantas e número de perfilhos m^{-2} . A avaliação de altura de plantas foi realizada por meio da determinação da distância, em cm, entre a superfície do solo e extremidade superior da panícula mais alta da planta. Para tanto, foram escolhidas, ao acaso, dez plantas na área útil de cada parcela. Para a avaliação do número de perfilhos m^{-2} , os mesmos foram contados em duas linhas da área útil de cada parcela, sendo um metro linear por parcela, com posterior cálculo para m^2 .

Para estimativa da produtividade por hectare, a colheita do arroz foi realizada mecanicamente, no dia 23 de março de 2016 no primeiro ano de condução do experimento e no dia 29 de março de 2017 no segundo, quando 90% dos grãos apresentavam coloração típica de maduros, colhendo-se as quatro linhas centrais de cada parcela, excluindo-se 0,5 de cada bordadura, totalizando uma área de 8,4 m^2 (Figura 5).

Figura 5 – Detalhe do processo de colheita mecanizada do arroz. Botucatu/SP, 2018.



Para a colheita foi empregada uma colhedora de parcelas, modelo Classic da Wintersteiger®. Após a colheita, os grãos foram acondicionados em sacos plásticos, pesados e sua umidade aferida, a fim de corrigir a umidade de todas as amostras para 13% (base úmida).

3.2 Experimento 2: Avaliação dos efeitos da chuva em diferentes períodos após a aplicação de glyphosate no desenvolvimento de plantas de arroz

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia, (NUPAM), pertencente ao Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, em Botucatu, São Paulo.

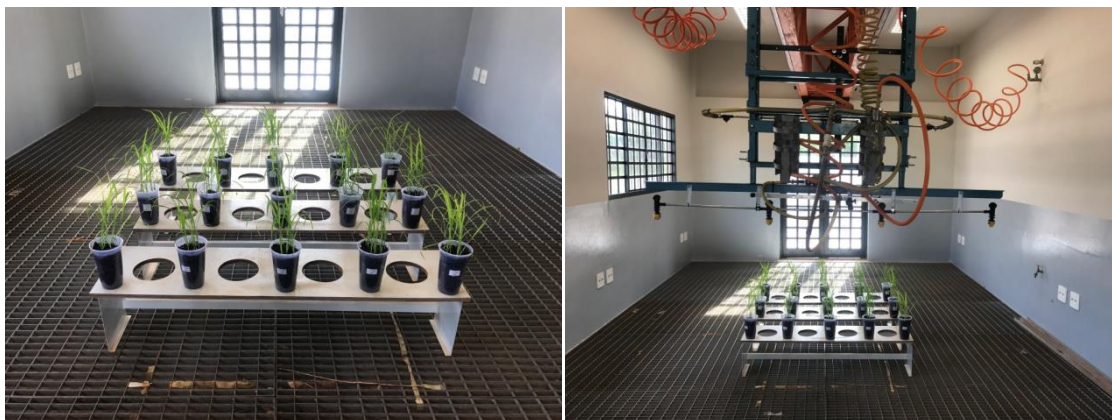
O arroz, cultivar ANA 8001, foi semeado em vasos com capacidade para 700 mL contendo substrato Carolina® (turfa de Sphagnum 70%, vermiculita expandida, resíduo orgânico de casca de arroz torrefada 20%, calcário dolomítico, gesso agrícola, traços de fertilizante NPK, densidade de 155 kg m^{-3} e capacidade de retenção de água de 55%) com pH 5,5. A semeadura ocorreu no dia 22 de dezembro de 2017 e a emergência no dia 26 de dezembro de 2017. As plântulas foram desbastadas para que cada vaso permanecesse com cinco plantas.

O experimento seguiu delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial (7x3) com cinco repetições. Os tratamentos foram constituídos por sete doses do herbicida glyphosate (0; 7,5; 15; 30; 60; 120 e 240 g e.a. ha^{-1}) e 3 períodos de chuva após a aplicação (12, 24 horas e sem chuva). A aplicação dos tratamentos foi realizada quando a cultura se encontrava no estágio V3, realizada no dia 11 de janeiro de 2018.

Para a aplicação dos tratamentos foi utilizado um pulverizador instalado em laboratório (Figura 6), pertencente ao NUPAM, constituído por estrutura metálica que suporta uma barra de pulverização com 1,5 m de largura, que se desloca por uma área útil de 6 m^2 no sentido do seu comprimento. A barra é tracionada por um conjunto de motor elétrico e modulador de frequência, tornando possível o controle da velocidade de trabalho da barra. A barra foi equipada com quatro bicos contendo pontas de jato plano Teejet® XR 110.02 VS, espaçadas em 0,5 m entre si e dispostas a 0,5 m de altura em relação às plantas. A pressão de trabalho utilizada pelo equipamento foi de 150 kPa, com velocidade de deslocamento de 3,6 km h^{-1} e taxa

de aplicação de 200 L ha^{-1} . No momento da aplicação, a temperatura do ar era de 24°C e a umidade relativa de 80%.

Figura 6 – Processo de aplicação do experimento 2. Botucatu/SP, 2018.



Para simulação da chuva empregou-se o mesmo pulverizador utilizado para pulverizar os tratamentos, havendo, contudo, algumas adaptações. Junto ao sistema de pulverização foi acoplada uma barra com 1,0 m de largura contendo 8 pontas do modelo DG 9505 EVS, da Teejet® (Figura 7). O volume de chuva aplicado nos tratamentos de 12 e 24 horas após a pulverização de glyphosate correspondeu a 20 mm.

Figura 7 – Processo de simulação de chuva no experimento 2. Botucatu/SP, 2018.



Aos 28 DAA procedeu-se a contagem dos perfilhos e o corte da parte aérea das plantas com o auxílio de uma tesoura de poda. O material vegetal foi acondicionado em sacos de papel e, em seguida, alocados em estufa com circulação forçada de ar, a 60°C, até atingirem peso constante. Posteriormente foi determinada a massa de matéria seca da parte aérea das plantas empregando-se balança analítica.

Após o corte da parte aérea das plantas os vasos foram mantidos para observação da rebrota das plantas de arroz. Aos 30 dias após o primeiro corte, a parte aérea das plantas foram novamente cortadas, em procedimento semelhante ao empregado no primeiro corte, para determinação da massa de matéria seca da parte aérea da rebrota.

3.3 Experimento 3: Avaliação do efeito de subdoses de glyphosate sobre o consumo de água de plantas de arroz submetidas a diferentes regimes hídricos

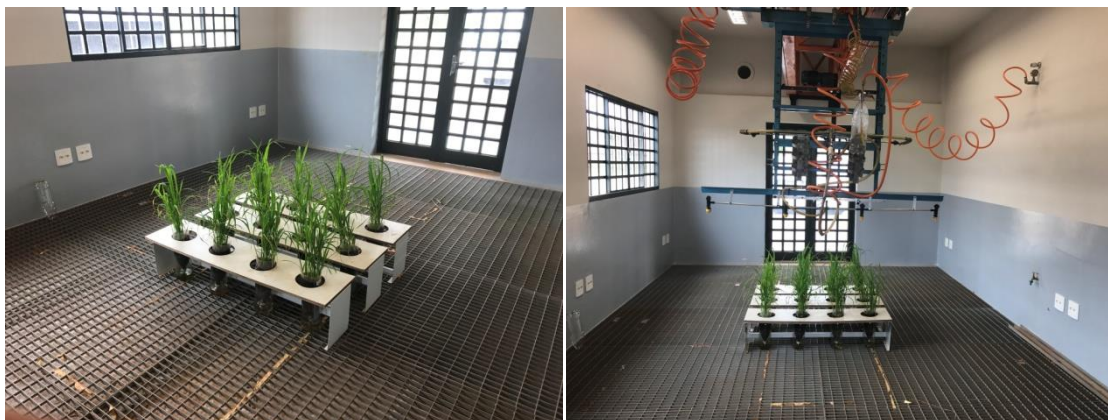
Com o objetivo de avaliar a influência de subdoses de glyphosate sobre o consumo de água em plantas de arroz, um experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia, (NUPAM), pertencente ao Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, em Botucatu, São Paulo.

O arroz, cultivar ANA 8001, foi semeado em um sistema constituído por vasos acoplados a um reservatório de água. Cada vaso possuía volume de 1 L e continha 250 g de substrato Carolina® (turfa de Sphagnum 70%, vermiculita expandida, resíduo orgânico de casca de arroz torrefada 20%, calcário dolomítico, gesso agrícola, traços de fertilizante NPK, densidade de 155 kg m⁻³, capacidade de retenção de água de 55% e pH 5,5). A semeadura ocorreu no dia 22 de dezembro de 2017 e a emergência no dia 26 de dezembro de 2017. As plântulas foram desbastadas para que cada vaso permanecesse com seis plantas.

O experimento seguiu delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial (10x3) com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por dez doses do herbicida glyphosate (0; 1,5; 3; 6; 12; 24; 36; 72; 180 e 360 g e.a. ha⁻¹) e 3 regimes de fornecimento de água: fornecimento contínuo, regime hídrico 1 (RH1) e regime hídrico 2 (RH2). A aplicação do herbicida foi realizada no dia 17 de janeiro, quando a cultura se encontrava no estágio V4. Para pulverização foi empregado o mesmo equipamento

descrito para o Experimento 2 (Figura 8). No momento da aplicação, a temperatura do ar era de 25°C e a umidade relativa de 77%.

Figura 8 – Processo de aplicação do experimento 3. Botucatu/SP, 2018.



Nas 48 horas que sucederam a aplicação dos tratamentos, todos os reservatórios de água foram abastecidos com 650 mL de água. No grupo de plantas sem estresse hídrico, a cada dois dias, o volume de água consumido pelas plantas foi mensurado e, então, completado para 650 mL novamente. Foi mantido, ainda, um grupo de vasos controle, nos quais havia apenas substrato e cujas leituras para determinação do volume de água perdido por evaporação era determinado nos mesmos dias. Desta forma, foi possível inferir a quantidade de água perdida por evaporação diretamente do substrato e a quantidade de água que efetivamente foi consumida pela planta e/ou transferida para atmosfera por meio de transpiração.

Nos grupos RH1 e RH2, 48 horas após a aplicação, o suprimento de água foi interrompido e, a partir do corte do fornecimento de água, procedeu-se a pesagem dos vasos diariamente, com o auxílio de balança analítica, a fim de determinar o consumo diário de água pelas plantas. No momento em que as plantas se encontravam visivelmente sob estresse hídrico, apresentando enrolamento e murchamento foliar, bem como necrose das pontas das folhas, o fornecimento de água foi restabelecido por 48 horas para reidratação das plantas. O grupo RH2 foi submetido a um estresse hídrico mais severo do que as plantas do grupo RH1, com mais 24 horas de estresse hídrico. Este procedimento foi repetido por quatro vezes durante a condução do experimento para as plantas do grupo RH1 e três vezes para as plantas do grupo RH2 durante os 28 dias de condução do estudo. Na Tabela 6 é

possível observar os períodos de fornecimento e corte do suprimento de água as plantas de arroz.

Tabela 5 – Esquema de fornecimento e corte do fornecimento de água dos grupos RH1 e RH2 durante os 28 dias de condução do experimento. Botucatu/SP, 2018.

Data	Regime	Grupo
17 a 18/01	Fornecimento ¹	RH1
19 a 22/01	Corte ²	
23 a 24/01	Fornecimento	
25 a 28/01	Corte	
29 a 30/01	Fornecimento	
31/01 a 03/02	Corte	
04 a 05/02	Fornecimento	
06 a 09/02	Corte	
10 a 11/02	Fornecimento	
12 a 14/02	Corte	
17 a 18/01	Fornecimento	RH2
19 a 23/01	Corte	
24 a 25/01	Fornecimento	
26 a 31/01	Corte	
01 a 02/02	Fornecimento	
03 a 06/02	Corte	
07 a 08/02	Fornecimento	
09 a 14/02	Corte	

¹ Fornecimento de água via irrigação. ² Corte do regime de irrigação.

Aos 28 DAA procedeu-se a contagem dos perfilhos e o corte da parte aérea das plantas com o auxílio de uma tesoura de poda. O material vegetal foi acondicionado em sacos de papel e, em seguida, alocados em estufa com circulação forçada de ar, a 60°C, até atingirem peso constante. Posteriormente foi determinada a massa de matéria seca da parte aérea das plantas empregando-se balança analítica.

3.4 Análise dos dados

Para análise dos dados foram utilizados os modelos propostos por Brain e Cousens (1989) adaptados por Velini et al. (2008) para descrever as respostas das curvas de dose-resposta. A Equação 1 corresponde ao modelo de resposta com estímulo e a Equação 2 ao modelo de resposta sem estímulo após a aplicação de glyphosate.

$$\text{Equação 1: } y = F(x) = \frac{k+fx}{1+e^{bgx^b}} + d$$

$$\text{Equação 2: } y = F(x) = \frac{k}{1+e^{bgx^b}} + d$$

Onde: y = produção do tratamento; x = dose do herbicida; k = resposta média da testemunha; f = taxa de estímulo em doses próximas a zero; d = resposta em doses infinitas; b = determina o decréscimo da produção em função da dose; e $g = -\log_e$ (ED₅₀)

As equações diferem entre si por coeficiente adicional na Equação 1 (fx), que permite o cálculo do aumento da soma do quadrado da regressão, incluindo o coeficiente f como um valor diferente de zero. Sendo assim, testa-se o quadrado médio associado a inclusão, com um grau de liberdade. Testou-se a hipótese $f=0$, sendo a mesma rejeitada quando o valor do quadrado médio era significativo e, então aplicado o modelo completo referente à equação 1. Ao contrário, quando o valor do quadrado médio não foi significativo, a hipótese era aceita, ajustando-se os dados ao modelo sigmoide referente à equação 2 (VELINI et al., 2008).

Para as variáveis cujos dados não se ajustaram aos modelos anteriormente expostos, calculou-se o erro padrão da média, denominada Equação 3, no software Microsoft Excel.

$$\text{Equação 3: } \textit{erro} = \frac{\textit{desvipad}}{\sqrt{N}}$$

Onde: $\textit{desvipad}$ = desvio padrão da média e N = número de repetições

Os gráficos foram plotados no software Sigmaplot (SYSTAT SOFTWARE, versão 12.5, San Jose).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento 1: Avaliação da influência de subdoses de glyphosate na produtividade da cultura do arroz em condições de campo

Os parâmetros da regressão, valores de F, coeficientes de variação e de determinação para produtividade do arroz são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Parâmetros da equação de regressão, valor de F e coeficiente de variação (CV%) da produtividade estimada de arroz após a aplicação de glyphosate em V3 e R1 na safra 2015/2016 e em V3 e R1 na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.

	Produtividade (kg ha ⁻¹)			
	2015/2016		2016/2017	
	V3	R1	V3	R1
CV (%)	4,38	6,18	29,03	37,86
Valores de F				
Hipótese $f \neq 0$	0,27 ^{ns}	2,67 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,58 ^{ns}
Regressão	2,10 ^{ns}	13,76 ^{ns}	10,43 ^{ns}	28,51 ^{ns}
Modelo	Equação 2	Equação 2	Equação 2	Equação 2
R²	0,87	0,88	0,93	0,99
Constantes				
g	-4,99	-4,08	-4,95	-3,94
b	10,37	1,14	9,39	5,74
k	1396,09	19,25	2227,60	2592,12
d	4485,00	66,90	652,44	152,33
f	-	-	-	-

ns = não significativo; *P < 0,05; **P < 0,01.

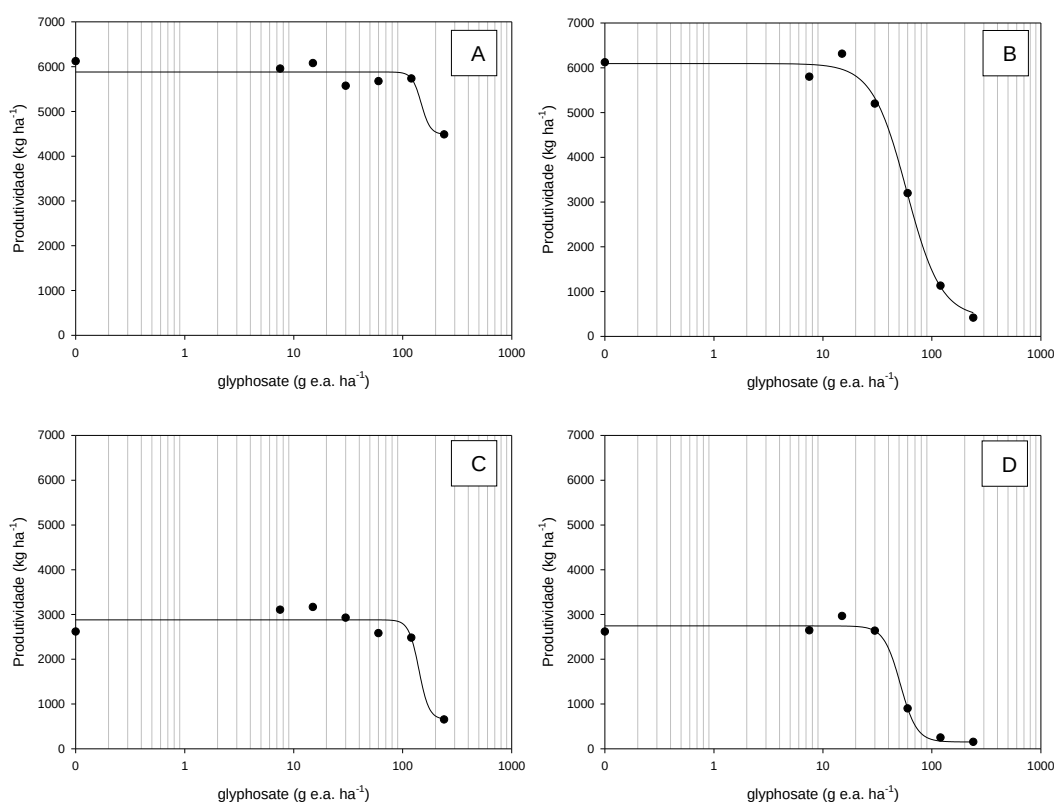
As curvas de produtividade de arroz (Figura 9), em ambas as safras, tanto para aplicação realizada em estágio V3 (três folhas totalmente expandidas) quanto para a realizada em estágio R1 (diferenciação do primórdio da panícula) se ajustaram ao modelo de regressão da Equação 2, denotando ausência de estímulo quanto a produtividade com a aplicação de subdoses de glyphosate.

Estes dados corroboram os obtidos por Gitti et al. (2011), que realizaram a aplicação de 26 a 182 g e.a. glyphosate ha⁻¹ e não observaram incremento no rendimento de grãos. Cedergreen et al. (2009), por sua vez, em estudo realizado com cevada, obtiveram incremento na produtividade da cultura com a aplicação de subdoses de glyphosate que variaram de 2,5 a 20 g e.a. ha⁻¹.

Quando as aplicações foram realizadas em estágio V3, seguindo o modelo sigmoidal, as produtividades não foram afetadas com a aplicação de doses que

variaram de 7,5 a 120 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate quando comparadas com a testemunha sem aplicação. Efeitos deletérios foram observados com a aplicação de doses superiores a 120 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate, independentemente do ano de realização do experimento (safra 2015/2016 ou 2016/2017). Já quando as aplicações foram realizadas em estágio R1, doses de acima de 30 g e.a. de glyphosate ha⁻¹ foram suficientes para causar redução da produtividade, tendo esse resultado se repetido nos dois anos de condução do estudo.

Figura 9 – Produtividade (kg ha⁻¹) do arroz após a aplicação de glyphosate em V3 (A) e R1 (B) na safra 2015/2016 e em V3 (C) e R1 (D) na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.



Gitti et al. (2011) observaram redução da produtividade do arroz, cultivar Primavera, com a exposição das plantas em estágio R1 a doses iguais ou superiores a 78 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate. Tavares et al. (2015) não observaram aumento na produtividade e acúmulo de biomassa de aveia com o emprego de doses entre 12,5 a 50 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate. Silva et al. (2012), em trabalho realizado com a

aplicação de subdoses de glyphosate em três cultivares de feijão não observaram efeito sobre a produtividade da cultura.

O fato de doses mais elevadas não terem afetado a produtividade quando a aplicação de glyphosate foi realizada em estágio V3 denota uma capacidade maior de recuperação da cultura quando em estádios iniciais de desenvolvimento, frente a exposição a um agente estressante.

De forma geral, as produtividades obtidas no segundo ano de condução do estudo foram consideravelmente menores do que as observadas no primeiro (Figura 9). De acordo com Silveira et al. (1998), quando o arroz de sequeiro é cultivado durante dois ou mais anos consecutivos na mesma área, reduções no rendimento podem ser observadas com frequência.

Os dados de comprimento de panícula não se ajustaram aos modelos de regressão propostos (Equação 1 e Equação 2) e seus valores de F e coeficientes de variação são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Valor de F e coeficiente de variação (CV%) do comprimento de panículas de arroz após a aplicação de glyphosate em V3 e R1 na safra 2015/2016 e em V3 e R1 na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.

	Comprimento de panículas (cm)			
	2015/2016		2016/2017	
	V3	R1	V3	R1
CV (%)	3,35	4,34	4,06	9,45
Valores de F				
Tratamentos	2,59 ^{ns}	35,27 ^{**}	1,51 ^{ns}	0,59 ^{ns}

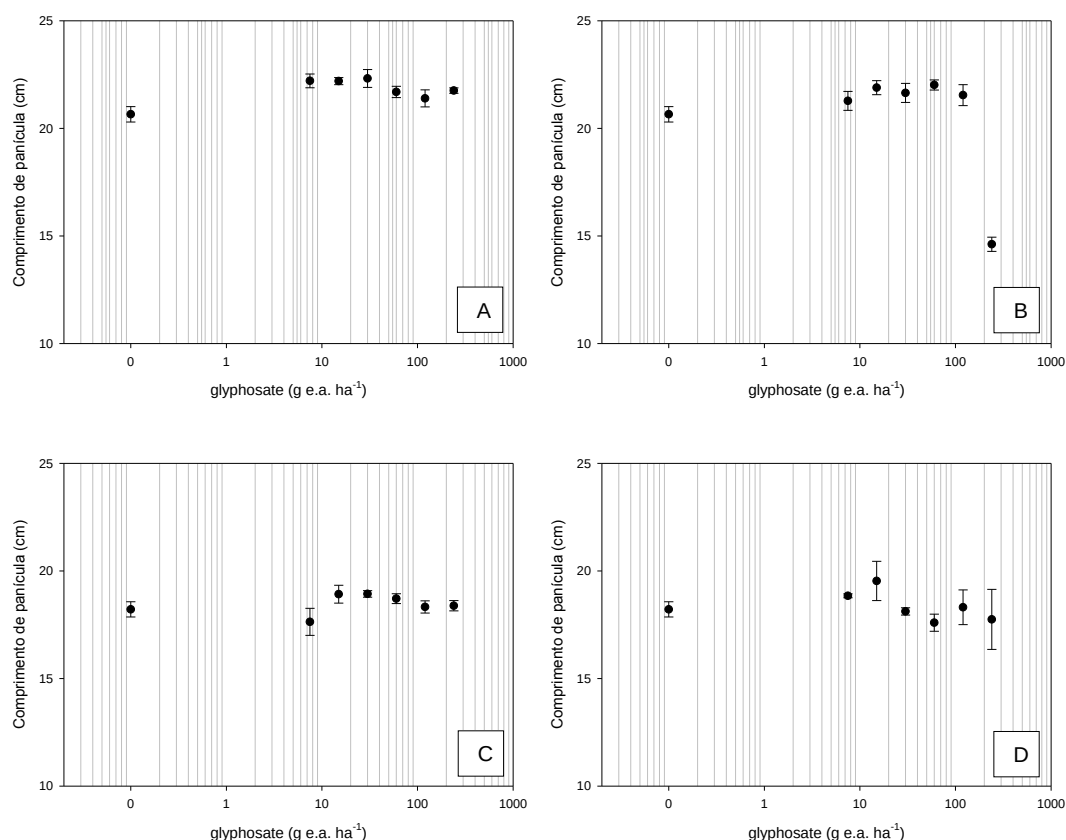
ns = não significativo; *P < 0,05; **P < 0,01.

Quanto ao comprimento de panícula (Figura 10), no primeiro ano do estudo, para as aplicações realizadas em estágio V3, não foram observadas diferenças entre os tratamentos e a testemunha sem aplicação. No mesmo, estudo e ano, quando as aplicações foram realizadas em R1, houve redução significativa apenas quando foram empregados 240 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate. No segundo ano, não foram observadas alterações significativas no comprimento de panícula quando a aplicação de subdoses de glyphosate, tanto quando a mesma foi realizada em V3 quanto em R1. Reduções no comprimento de panícula também foram observadas por Gitti et al. (2011).

Não é possível correlacionar, portanto, o comprimento das panículas com as alterações de produtividade observadas (Figura 9), apesar de esta ser uma das

características que afetam diretamente a produtividade do arroz, de acordo com Evans (1977).

Figura 10 – Comprimento de panículas de arroz (cm) após a aplicação de glyphosate em V3 (A) e R1 (B) na safra 2015/2016 e em V3 (C) e R1 (D) na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.



Os parâmetros da regressão, valores de F, coeficientes de variação e de determinação para número de grãos por panícula de arroz são apresentados na Tabela 8.

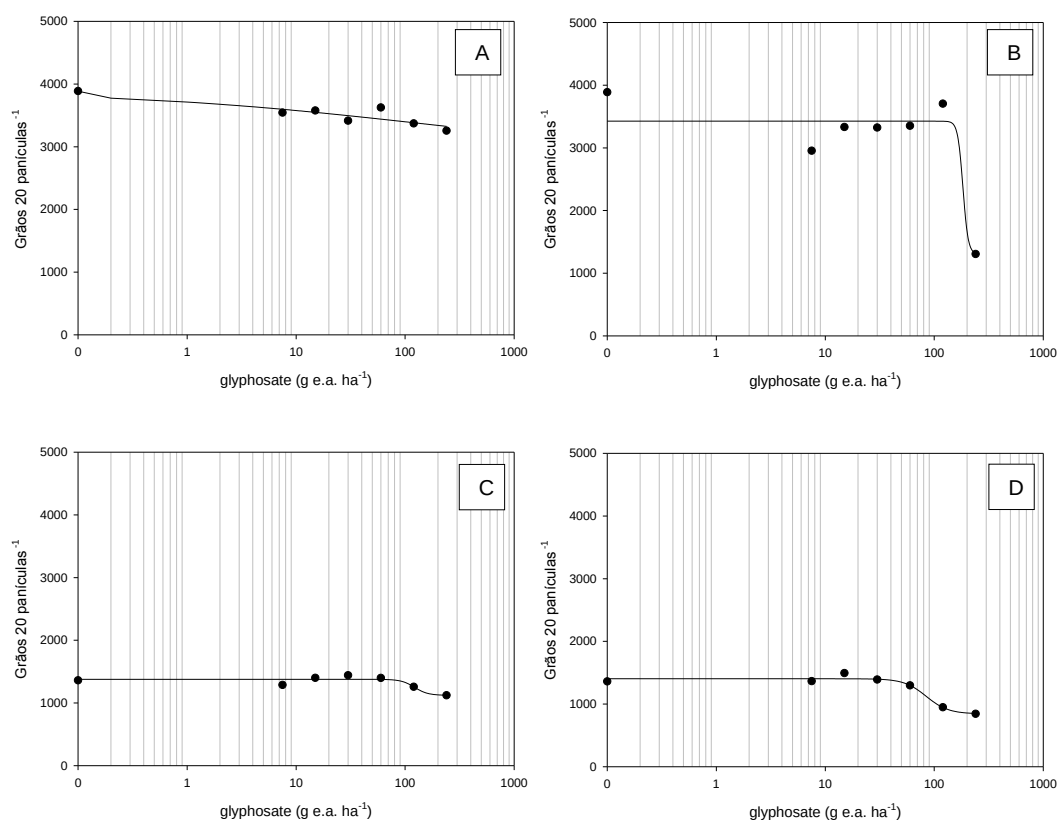
O número de grãos por panícula (Figura 11) não apresentou resposta positiva quando os tratamentos foram aplicados em V3, independentemente da dose ou do ano em que o estudo foi conduzido. Para a aplicação em R1, no primeiro ano do estudo, não houve incremento em relação a testemunha sem aplicação e ocorreu decréscimo nas subdoses de 7,5 e 240 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate. Já no segundo ano, a redução foi menor e ocasionada por doses a partir de 60 g e.a. ha⁻¹. Não havendo efeito hormético, todos dados se ajustaram ao modelo da Equação 2.

Tabela 8 – Parâmetros da equação de regressão, valor de F e coeficiente de variação (CV%) do número de grãos em 20 panículas de arroz após a aplicação de glyphosate em V3 e R1 na safra 2015/2016 e em V3 e R1 na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.

	Grãos 20 panículas ⁻¹			
	2015/2016		2016/2017	
	V3	R1	V3	R1
CV (%)	13,02	10,71	29,01	24,05
Valores de F				
Hipótese $f \neq 0$	0,29 ^{ns}	1,58 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,10 ^{ns}
Regressão	1,29 ^{ns}	45,97 ^{**}	0,54 ^{ns}	5,24 ^{**}
Modelo	Equação 2	Equação 2	Equação 2	Equação 2
R²	0,80	0,88	0,82	0,97
Constantes				
g	-4,94	-5,21	-4,80	-4,44
b	0,32	18,31	7,12	4,26
k	1032,40	2121,28	255,50	559,42
d	2854,84	1305,25	1121,50	843,50
f	-	-	-	-

ns = não significativo; *P < 0,05; **P < 0,01.

Figura 11 – Número de grãos em 20 panículas de arroz após a aplicação de glyphosate em V3 (A) e R1 (B) na safra 2015/2016 e em V3 (C) e R1 (D) na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.



Os parâmetros da regressão, valores de F, coeficientes de variação e de determinação para número de perfilhos m^{-2} de arroz são apresentados na Tabela 9.

Quanto ao número de perfilhos m^{-2} (Figura 12), todos os dados se ajustaram ao modelo da Equação 2, e no primeiro ano de estudo, as respostas às subdoses aplicadas não diferiram quanto ao estágio de aplicação, observando-se incremento no número de perfilhos quando foram empregadas doses superiores a 120 g e.a. ha^{-1} de glyphosate (Figura 12A e 12B).

No segundo ano de condução (Figura 11C e 11D), as respostas diferiram de acordo com a época de aplicação. Para os tratamentos realizados em V3, o comportamento foi o oposto do observado no primeiro ano, com o número de perfilhos m^{-2} diminuindo a partir da exposição das plantas às subdoses superiores a 30 g e.a. ha^{-1} de glyphosate. Já para as aplicações realizadas em R1, houve aumento no perfilhamento quando subdoses superiores a 60 g e.a. ha^{-1} foram empregadas.

Tabela 9 – Parâmetros da equação de regressão, valor de F e coeficiente de variação (CV%) do número de perfilhos m^{-2} de arroz após a aplicação de glyphosate em V3 e R1 na safra 2015/2016 e em V3 e R1 na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.

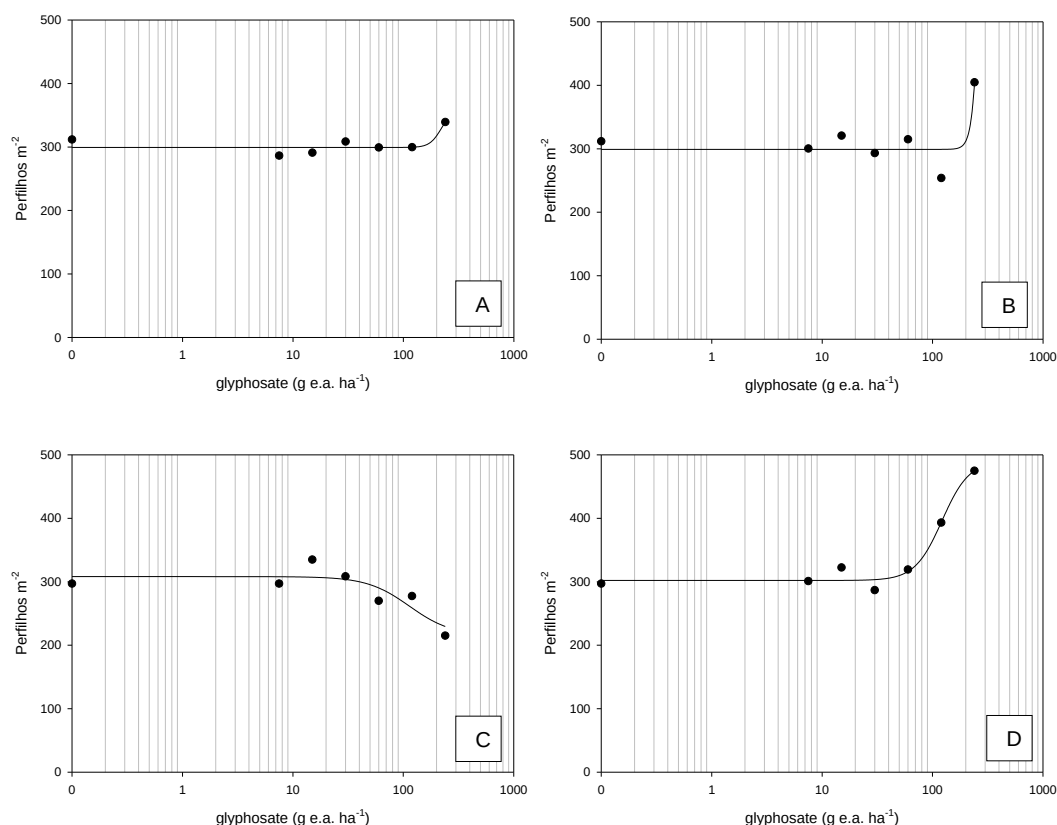
	Perfilhos m^{-2}			
	2015/2016		2016/2017	
	V3	R1	V3	R1
CV (%)	10,43	22,03	22,88	15,79
Valores de F				
Hipótese $f \neq 0$	0,26 ^{ns}	2,05 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,35 ^{ns}
Regressão	1,79 ^{ns}	2,65 ^{ns}	2,03 ^{ns}	12,44 ^{ns}
Modelo	Equação 2	Equação 2	Equação 2	Equação 2
R²	0,74	0,76	0,76	0,97
Constantes				
g	-5,39	-5,67	-4,74	-4,80
b	-8,33	-11,92	2,25	-3,53
k	59,22	1118,43	93,23	188,58
d	299,39	299,15	214,99	302,15
f	-	-	-	-

ns = não significativo; *P < 0,05; **P < 0,01.

O aumento no número de perfilhos (Figura 12) com o emprego de doses mais altas pode ocorrer em função de mudanças no balanço hormonal, principalmente no que tange ao ácido indol acético (AIA), hormônio responsável pela manutenção da dominância apical. A exposição das plantas ao glyphosate em subdoses superiores a 120 g e.a. ha^{-1} proporcionou a quebra de dominância dos colmos mais altos sobre os

menores, resultando em aumento do número de colmos por planta (FORNASIERI FILHO; FORNASIERI, 2006).

Figura 12 – Número de perfilhos m^{-2} de arroz após a aplicação de glyphosate em V3 (A) e R1 (B) na safra 2015/2016 e em V3 (C) e R1 (D) na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.



Os parâmetros da regressão, valores de F, coeficientes de variação e de determinação para altura de plantas de arroz são apresentados na Tabela 10.

A altura média de plantas (Figura 13) foi reduzida quando a aplicação foi realizada no estágio R1, em ambos os anos de condução, em comparação com a testemunha sem aplicação, porém a dose que causou este efeito foi variável em função do ano de condução do estudo. Os dados se ajustaram ao modelo da Equação 2 para os tratamentos realizados em R1, em ambos os anos e, em V3, no segundo ano.

Nos tratamentos realizados no estágio V3 no primeiro ano de condução do estudo os dados não se ajustaram a nenhum dos modelos. Não foram observadas reduções nas doses drásticas no porte das plantas em nenhuma das doses testadas. Para as aplicações efetuadas em R1, houve tendência de redução a partir da exposição das

plantas a subdoses superiores a 30 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate. No segundo ano, a tendência foi de redução de porte das plantas, tanto nas aplicações realizadas em V3 quanto nas realizadas em R1, com o decréscimo sendo ocasionado por subdoses superiores a 60 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate para ambos, porém mais acentuado nas plantas que foram tratadas em R1.

Tabela 10 – Parâmetros da equação de regressão, valor de F e coeficiente de variação (CV%) da altura de plantas de arroz após a aplicação de glyphosate em V3 e R1 na safra 2015/2016 e em V3 e R1 na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.

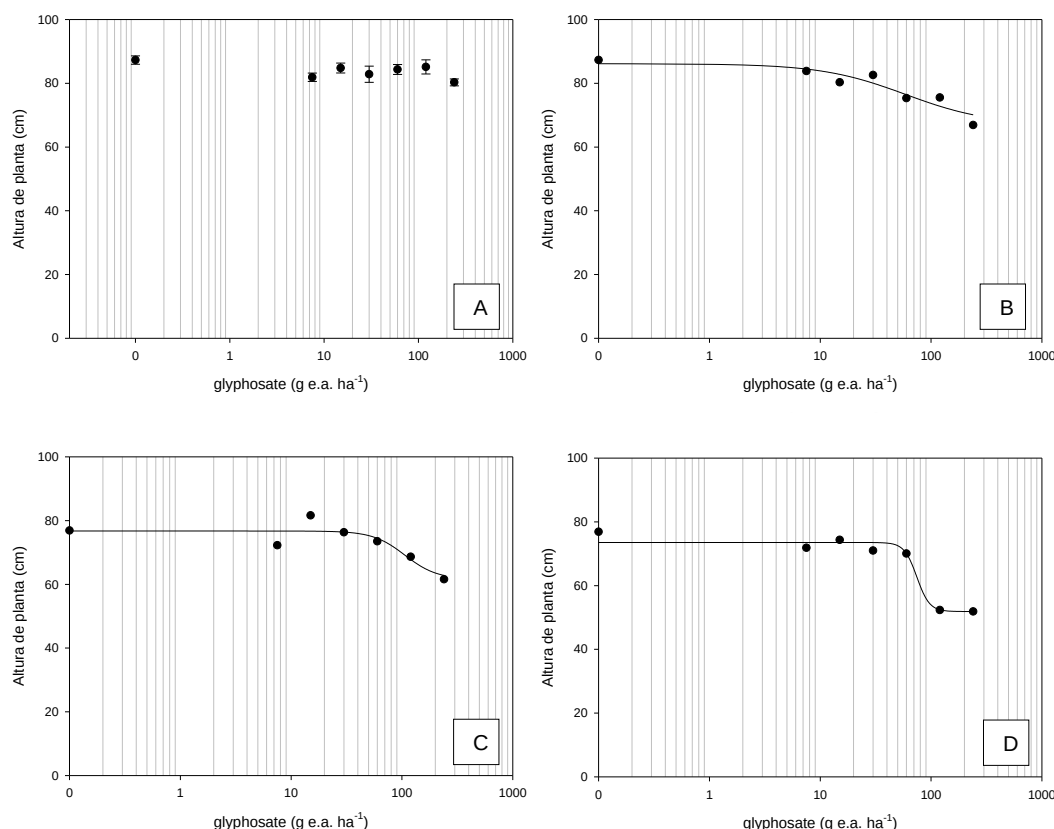
	Altura de plantas (cm)			
	2015/2016		2016/2017	
	V3	R1	V3	R1
CV (%)	4,38	6,18	11,87	15,10
Valores de F				
Hipótese $f \neq 0$	1,77 ^{ns}	2,67 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,36 ^{ns}
Regressão	0,66 ^{ns}	13,76 ^{**}	3,61 [*]	8,14 ^{**}
Modelo	Equação 2	Equação 2	Equação 2	Equação 2
R²	0,21	0,88	0,81	0,97
Constantes				
g	-1,01	-4,08	-4,67	-4,31
b	0,12	1,14	3,00	7,61
k	6,99	19,25	15,14	21,66
d	80,30	66,90	61,60	51,89
f	-	-	-	-

ns = não significativo; *P < 0,05; **P < 0,01.

Os quatro últimos entrenós da planta de arroz são os responsáveis pela determinação da altura final das plantas, e o desenvolvimento e alongamento dos mesmos tem início durante a diferenciação do primórdio da panícula (estádio R1) (FORNASIERI FILHO; FORNASIERI, 2006). Desta forma, aplicação durante esta época podem afetar o porte da planta de arroz, reduzindo-a, como foi observado nos dois anos de condução do estudo. Cabe ressaltar que, reduções de porte foram observadas também quando as aplicações de subdoses de glyphosate foram realizadas em V3, na safra 2016/2017. O glyphosate é um herbicida de ação lenta (BAYLIS, 2000), podendo seus efeitos perdurarem durante semanas após a aplicação, coincidindo com o estágio R1, que se iniciou cerca de um mês após o estágio V3.

A quebra de dominância apical como consequência da alteração no balanço de AIA, causada pela aplicação de subdoses, pôde ser observada pelo aumento no perfilhamento.

Figura 13 – Altura de plantas de arroz (cm) após a aplicação de glyphosate em V3 (A) e R1 (B) na safra 2015/2016 e em V3 (C) e R1 (D) na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.



O uso de práticas como a irrigação em arroz de terras altas pode levar a incrementos em produtividade, mas pode também resultar em maior porte das plantas, causando acamamento e dificultando a operação de colheita (ARF et al., 2012). Diversas substâncias como cloreto de cloromequat, cloreto de mepiquat, etil-trinexapac, paclobutrazol e thidiazuron, incluindo o glyphosate, têm sido testadas como reguladores de crescimento, visando manter a produtividade e reduzir o porte das plantas (BUZETTI et al., 2006; NASCIMENTO et al., 2009; GITTI et al., 2011; ARF et al., 2012; ALVAREZ et al., 2014; ALVES et al., 2015).

Os parâmetros da regressão, valores de F, coeficientes de variação e de determinação para peso de 1000 grãos de arroz são apresentados na Tabela 11.

O peso de 1000 grãos (Figura 14) foi pouco afetado pelos tratamentos realizados no primeiro ano de condução do estudo, tanto para as aplicações realizadas em V3 quanto R1, havendo ajuste dos dados ao modelo proposto pela Equação 2, observando-se padrão de redução do peso com o emprego de doses mais altas. No segundo ano, os dados não se ajustaram a nenhum dos modelos propostos. Para os tratamentos realizados em V3, houve redução na massa com o emprego de 240 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate, enquanto para R1, esta redução em relação a testemunha sem aplicação não foi observada.

Tabela 11 – Parâmetros da equação de regressão, valor de F e coeficiente de variação (CV%) do peso de 1000 grãos de arroz após a aplicação de glyphosate em V3 e R1 na safra 2015/2016 e em V3 e R1 na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.

	Peso de 1000 grãos (g)			
	2015/2016		2016/2017	
	V3	R1	V3	R1
CV (%)	2,24	2,59	7,91	5,72
Valores de F				
Hipótese $f \neq 0$	0,13 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,33 ^{ns}	2,44 ^{ns}
Regressão	10,02**	26,69**	0,85 ^{ns}	1,3 ^{ns}
Modelo	Equação 2	Equação 2	Equação 2	Equação 2
R²	0,85	0,92	0,46	0,57
Constantes				
g	-5,19	-4,25	-4,48	-5,62
b	14,87	6,70	1,33	-5,21
k	1,62	2,41	1,95	4,64
d	22,99	22,40	22,69	23,98
f	-	-	-	-

ns = não significativo; *P < 0,05; **P < 0,01.

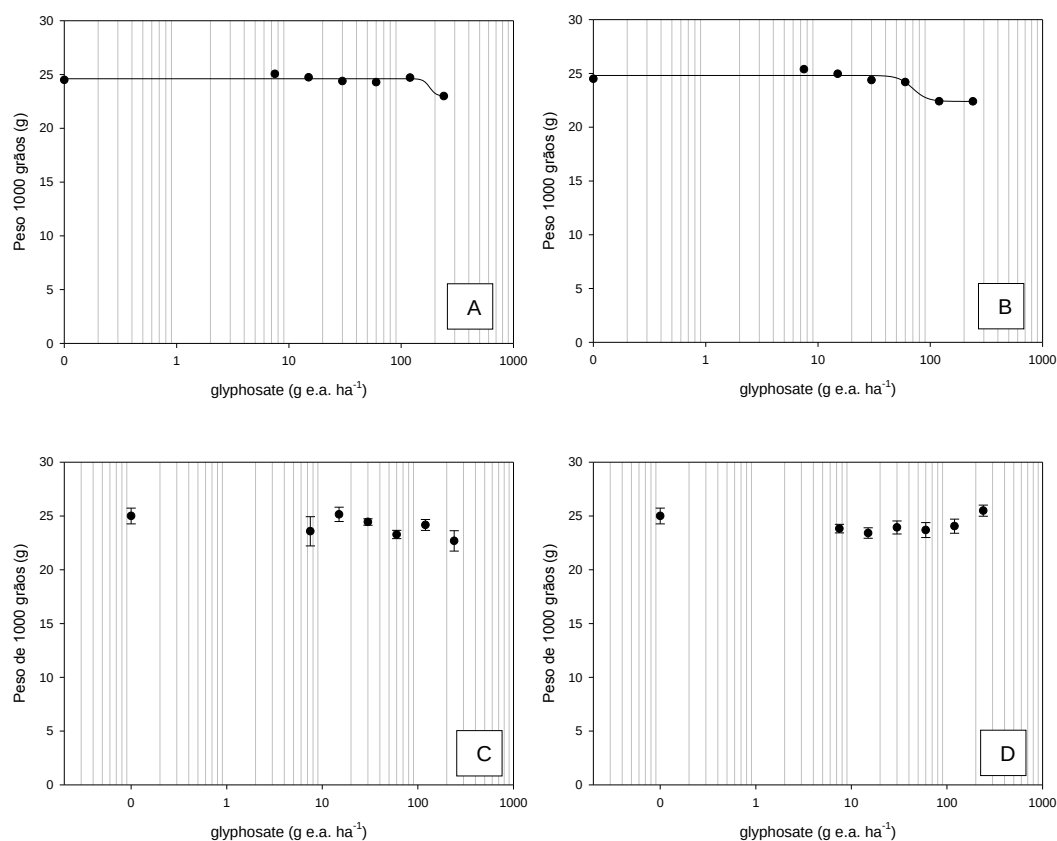
De forma geral, pode-se inferir que a massa de grãos é pouco ou não afetada pelos tratamentos. Tais resultados poderiam ser explicados pelo fato da massa de grãos ser um fator varietal estável, fortemente determinada por características genéticas, e dependente do tamanho da casca (YOSHIDA, 1981) e do acúmulo de carboidratos na cariopse (MATSUSHIMA, 1970).

Os parâmetros da regressão, valores de F, coeficientes de variação e de determinação para fertilidade de espiguetas de arroz são apresentados na Tabela 12.

A fertilidade de espiguetas (Figura 15) foi reduzida nas duas épocas de aplicação do primeiro ano de condução do estudo, quando subdoses superiores a 60 g e.a. de glyphosate ha⁻¹ foram empregadas, sendo esta redução mais pronunciada nas plantas

submetidas aos tratamentos no estágio R1. No segundo ano, os dados não se ajustaram a nenhum dos modelos para os tratamentos realizados em V3, nos quais não foram observadas diferenças significativas em relação a testemunha. Já para as aplicações realizadas em R1, houve redução da porcentagem de espiguetas férteis com o emprego de subdoses superiores a 30 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate, sendo a redução tanto maior quanto mais alta a dose utilizada.

Figura 14 – Peso de 1000 grãos de arroz após a aplicação de glyphosate em V3 (A) e R1 (B) na safra 2015/2016 e em V3 (C) e R1 (D) na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.



A fertilidade de espiguetas pode estar ainda associada a fatores ambientais, como a temperatura. Temperaturas muito baixas ou altas podem afetar a porcentagem de espiguetas fertilizadas (FARRELL et al., 2006; JAGADISH et al., 2007). De acordo com PEDRO JÚNIOR et al. (1995), temperaturas em torno de 25 °C são as mais adequadas durante esta fase do ciclo. Temperaturas acima de 35 °C, muito comuns durante o verão e observadas durante a condução deste estudo a campo, podem contribuir o aumento da esterilidade de espiguetas (JAGADISH et al., 2007).

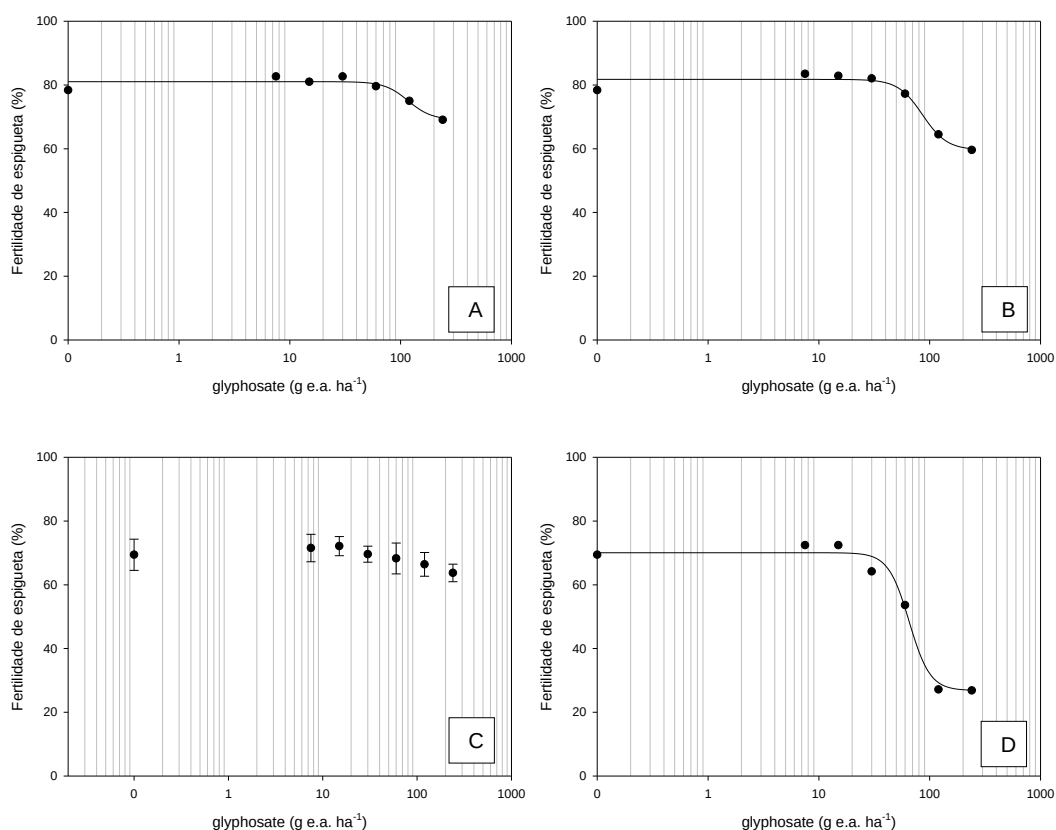
Tabela 12 – Parâmetros da equação de regressão, valor de F e coeficiente de variação (CV%) da fertilidade de espiguetas de plantas de arroz após a aplicação de glyphosate em V3 e R1 na safra 2015/2016 e em V3 e R1 na safra 2016/2017. Botucatu/SP, 2018.

	Fertilidade de espiguetas (%)			
	2015/2016		2016/2017	
	V3	R1	V3	R1
CV (%)	4,38	6,08	19,58	22,76
Valores de F				
Hipótese $f \neq 0$	1,43 ^{ns}	1,20 ^{ns}	1,39 ^{ns}	0,38 ^{ns}
Regressão	14,74 ^{**}	33,55 ^{**}	1,08 ^{ns}	20,59 ^{**}
Modelo	Equação 2	Equação 2	Equação 2	Equação 2
R²	0,91	0,97	0,53	0,98
Constantes				
g	-4,76	-4,46	-3,50	-4,18
b	4,08	3,94	14,31	4,61
k	11,98	22,14	7,31	43,25
d	69,08	59,63	63,74	26,83
f	-	-	-	-

ns = não significativo; *P < 0,05; **P < 0,01.

Figura 15 – Fertilidade de espiguetas de arroz (%) após a aplicação de glyphosate em V3 (A) e R1 (B) na safra 2015/2016 e em V3 (C) e R1 (D) na safra 2016/2017.

Botucatu/SP, 2018.



4.2 Experimento 2: Avaliação dos efeitos da chuva em diferentes períodos após a aplicação de glyphosate no desenvolvimento de plantas de arroz

Os parâmetros da regressão, valores de F, coeficientes de variação e de determinação para número de perfilhos de plantas de arroz são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Parâmetros da equação de regressão, valor de F e coeficiente de variação (CV%) do número de perfilhos de três plantas de arroz aos 28 dias após a aplicação de glyphosate, sem a simulação de chuva e com simulação de chuva 12 horas e 24 horas após a aplicação. Botucatu/SP, 2018.

Perfilhos 3 plantas ⁻¹			
28 dias após o tratamento			
	Sem chuva	12 horas	24 horas
CV (%)	24,86	29,61	27,29
Valores de F			
Hipótese $f \neq 0$	12,83**	7,94*	5,34*
Regressão	6,03**	3,89*	1,34 ^{ns}
Modelo	Equação 1	Equação 1	Equação 1
R²	0,90	0,96	0,55
Constantes			
g	-4,82	-4,07	-7,79
b	11,83	-5,85	0,97
k	1,97	10,56	-2473,74
d	6,20	9,00	2482,82
f	0,07	-0,04	-1,10

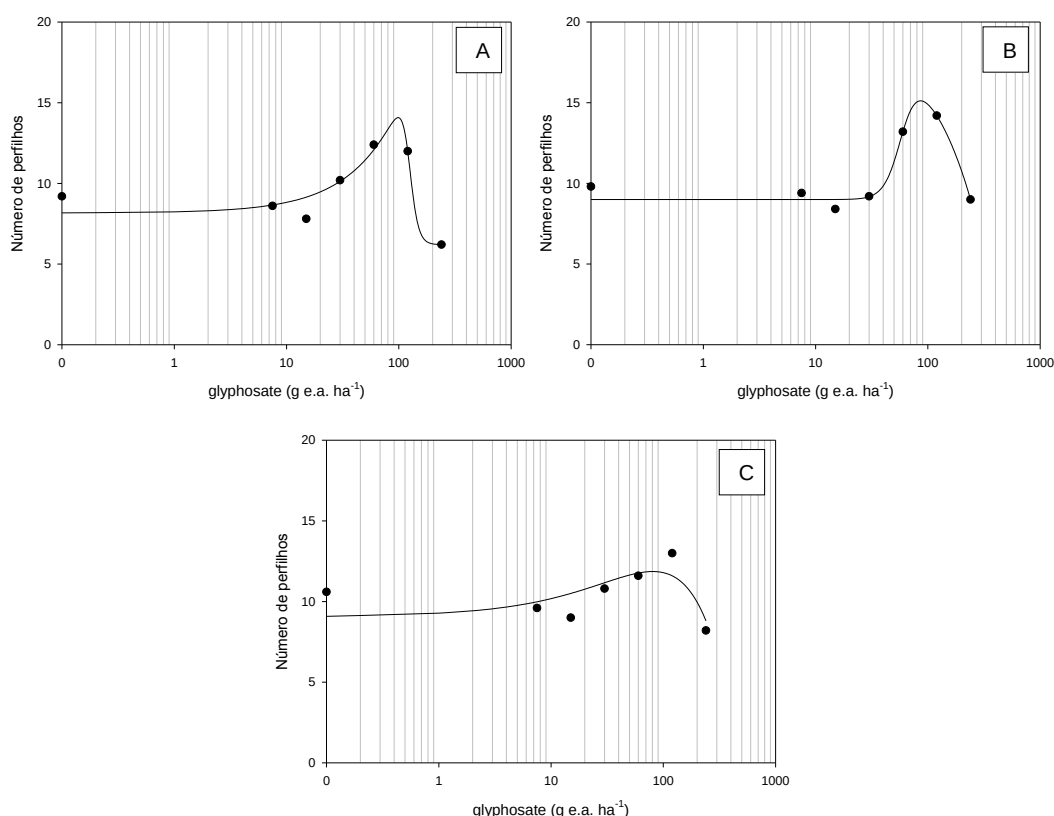
ns = não significativo; *P < 0,05; **P < 0,01.

Os dados se ajustaram ao modelo de regressão proposto pela Equação 1 em todas as situações analisadas. O número de perfilhos de três plantas de arroz (Figura 16) sofreu incremento quando as plantas foram submetidas a simulação de 20 mm de chuva 12 e 24 horas após a exposição das mesmas a subdoses de glyphosate e também na ausência deste tratamento.

No grupo de plantas no qual não houve exposição das plantas a chuva simulada após a aplicação, incremento no número de perfilhos foi observado nas subdoses entre 30 e 120 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate e decréscimo com subdoses acima de 120 g e.a. de glyphosate ha⁻¹. Já nos grupos de plantas que receberam os 20 mm de chuva 12 e 24 horas após a aplicação, as diferenças entre os tratamentos e a testemunha sem aplicação foram menores, havendo incremento no número de perfilhos nas

subdoses entre 60 e 120 g e.a. glyphosate ha⁻¹ e decréscimo com a utilização de subdoses superiores a 120 g e.a. de glyphosate ha⁻¹ (Figura 16).

Figura 16 – Número de perfilhos de três plantas de arroz aos 28 dias após a aplicação de glyphosate em V3 sem a simulação de chuva (A), com simulação de chuva 12 horas após a aplicação (B) e com simulação de chuvas 24 horas após a aplicação (C). Botucatu/SP, 2018.



Os parâmetros da regressão, valores de F, coeficientes de variação e de determinação para massa de matéria seca de plantas de arroz são apresentados na Tabela 14.

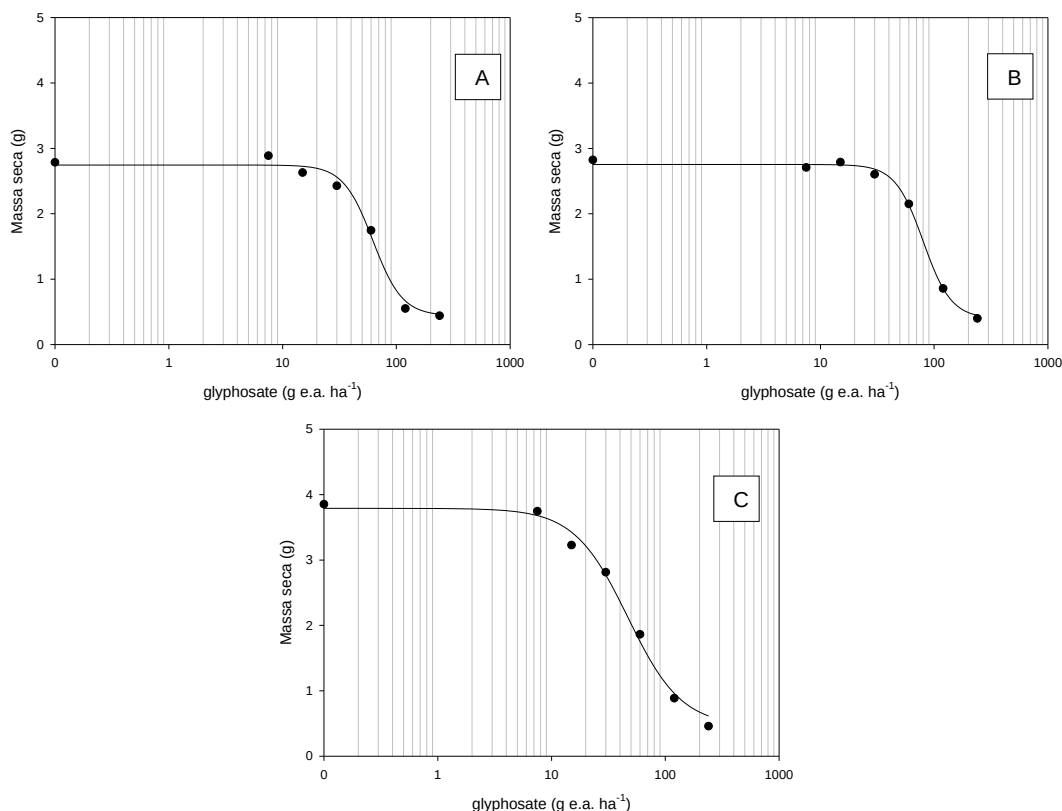
Quando se observa a massa de matéria seca de plantas (Figura 17), as plantas que não foram submetidas a chuva tiveram sua massa reduzida com exposição das plantas a subdoses superiores a 30 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate. Resultado semelhante foi observado para plantas cuja simulação de chuva ocorreu 12 horas após a aplicação. Já para as plantas que receberam chuva 24 horas após a aplicação dos tratamentos, subdoses acima de 15 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate foram suficientes para causar redução no acúmulo de biomassa de plantas de arroz.

Tabela 14 – Parâmetros da equação de regressão, valor de F e coeficiente de variação (CV%) da massa de matéria seca de três plantas de arroz 28 dias após a aplicação de glyphosate, sem a simulação de chuva e com simulação de chuva 12 horas e 24 horas após a aplicação

Massa de matéria seca 3 plantas ⁻¹ 28 dias após o tratamento			
	Sem chuva	12 horas	24 horas
CV (%)	18,23	31,64	20,75
Valores de F			
Hipótese $f \neq 0$	1,97 ^{ns}	0,11 ^{ns}	1,17 ^{ns}
Regressão	87,81 ^{**}	23,94 ^{**}	73,85 ^{**}
Modelo	Equação 2	Equação 2	Equação 2
R²	0,99	0,99	0,99
Constantes			
g	-4,13	-4,39	-3,85
b	3,35	3,52	1,84
k	2,31	2,36	3,33
d	0,44	0,40	0,46
f	-	-	-

ns = não significativo; *P < 0,05; **P < 0,01.

Figura 17 – Massa de matéria seca de três plantas de arroz aos 28 dias após a aplicação de glyphosate em V3 sem a simulação de chuva (A), com simulação de chuva 12 horas após a aplicação (B) e com simulação de chuvas 24 horas após a aplicação (C). Botucatu/SP, 2018.



Cabe ressaltar que a biomassa seca média das plantas nas quais a simulação de chuva ocorreu 24 horas após a aplicação de glyphosate foi maior nas menores doses quando se compara com as observadas para os demais períodos (sem chuva e 12 horas). Velini et al. (2008) observaram aumento de 30% na biomassa da parte aérea de milho e soja convencionais com a aplicação de 25 e 20 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate, respectivamente. Incremento da mesma magnitude foi observado por Schabenberger et al. (1999) em capim-arroz (*Echinochloa crus-galli*) com o emprego de 5 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate.

Os parâmetros da regressão, valores de F, coeficientes de variação e de determinação para a massa de matéria seca de rebrota de plantas de arroz são apresentados na Tabela 15. Em todas os grupos analisados, os dados se ajustaram ao modelo de regressão prospoto na Equação 2 deste trabalho.

Tabela 15 – Parâmetros da equação de regressão, valor de F e coeficiente de variação (CV%) da massa de matéria seca de rebrota de plantas de arroz aos 58 dias após a aplicação de glyphosate em V3 e 30 dias após o corte da parte aérea, sem a simulação de chuva e com simulação de chuva 12 horas e 24 horas após a aplicação. Botucatu/SP, 2018.

	Massa de matéria seca 3 plantas ⁻¹		
	58 dias após o tratamento		
	Sem chuva	12 horas	24 horas
CV (%)	32,09	33,72	29,64
Valores de F			
Hipótese $f \neq 0$	0,39 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,06 ^{ns}
Regressão	27,31 ^{**}	19,03 ^{**}	21,40 ^{**}
Modelo	Equação 2	Equação 2	Equação 2
R²	0,95	0,97	0,98
Constantes			
g	-4,73	-4,81	-4,82
b	13,75	16,10	6,48
k	0,71	0,69	0,66
d	0,02	0,02	0,07
f	-	-	-

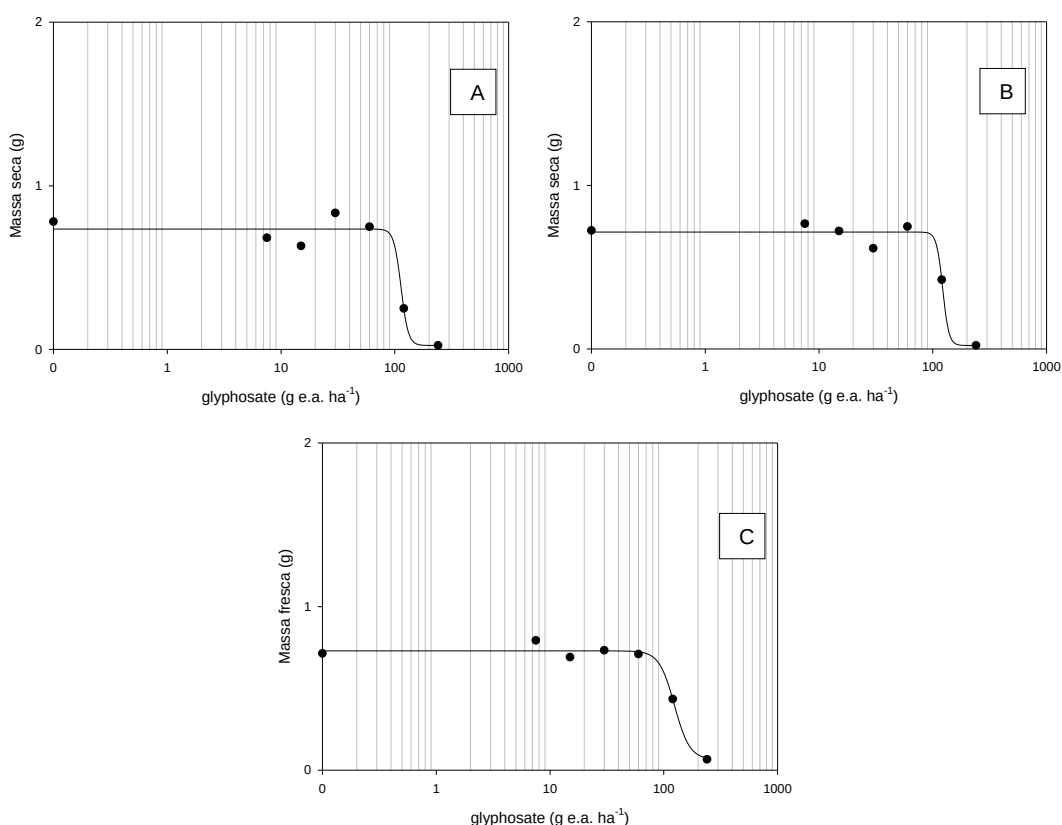
ns = não significativo; *P < 0,05; **P < 0,01.

Em todos os grupos, a biomassa de rebrota de plantas de arroz cortadas aos 58 dias após a aplicação seguiram o mesmo padrão, com redução drástica ocorrendo a partir da dose de 60 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate (Figura 17). Quando se compara com a biomassa acumulada pelas plantas até os 28 dias após a exposição das plantas de arroz as subdoses de glyphosate (Figura 16), observa-se que as reduções ocorreram

em doses menores: 30 g e.a. ha⁻¹ para os grupos sem ocorrência de chuva e com ocorrência de chuva 12 horas após a aplicação de glyphosate e acima de 7,5 g e.a. ha⁻¹ para o grupo onde a simulação de chuva ocorreu 24 horas após a aplicação das subdoses de glyphosate.

O tempo transcorrido entre o primeiro (Figura 17) e o segundo (Figura 18) corte pode ter sido suficiente para metabolização do herbicida pelas plantas, tornando-o menos tóxico nas doses até 60 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate.

Figura 18 – Massa de matéria seca de rebrota de plantas de arroz aos 58 dias após a aplicação de glyphosate em V3 e 30 dias após o corte da parte aérea, sem a simulação de chuva (A), com simulação de chuva 12 horas após a aplicação (B) e com simulação de chuvas 24 horas após a aplicação (C). Botucatu/SP, 2018.



Cabe ressaltar também que doses que anteriormente não haviam estimulado o crescimento e acúmulo de biomassa seca das plantas, quando comparadas a testemunha sem aplicação, no segundo corte acabaram por destacarem-se positivamente em relação à testemunha. A dose de 30 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate, por

exemplo, enquanto causou redução de biomassa no primeiro corte (Figura 17A), levou a incremento no segundo (Figura 17A).

Figura 19 – Plantas de arroz aos 7 dias após a aplicação de glyphosate nos grupos sem simulação de chuva (A), com simulação de chuva 12 horas após a aplicação (B) e com simulação de chuva 24 horas após a aplicação (C). Botucatu/SP, 2018.

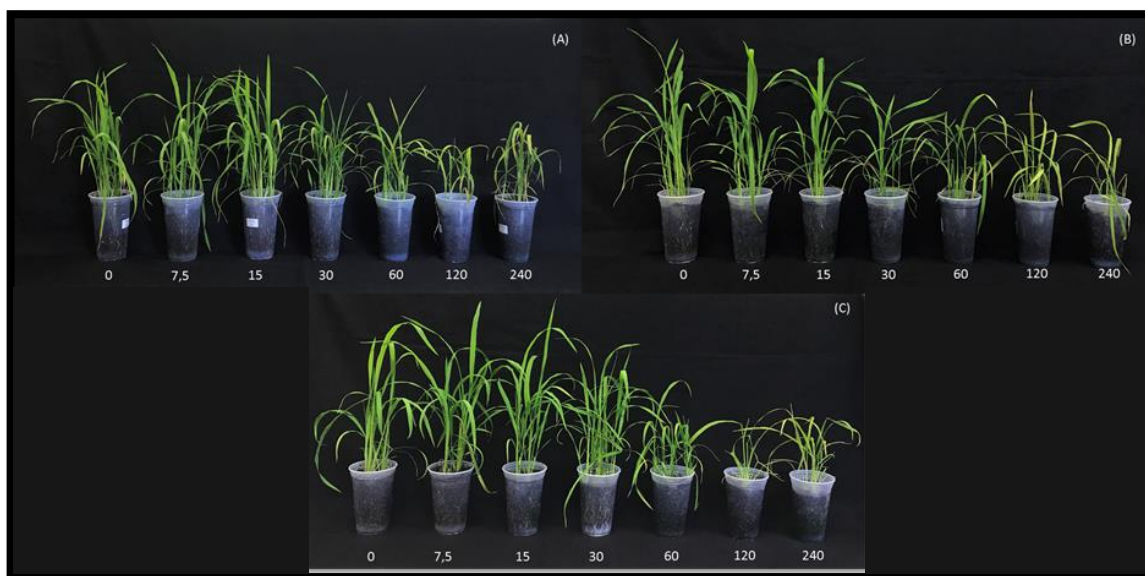


Figura 20 – Plantas de arroz 14 dias após a aplicação de glyphosate nos grupos sem simulação de chuva (A), com simulação de chuva 12 horas após a aplicação (B) e com simulação de chuva 24 horas após a aplicação (C). Botucatu/SP, 2018.

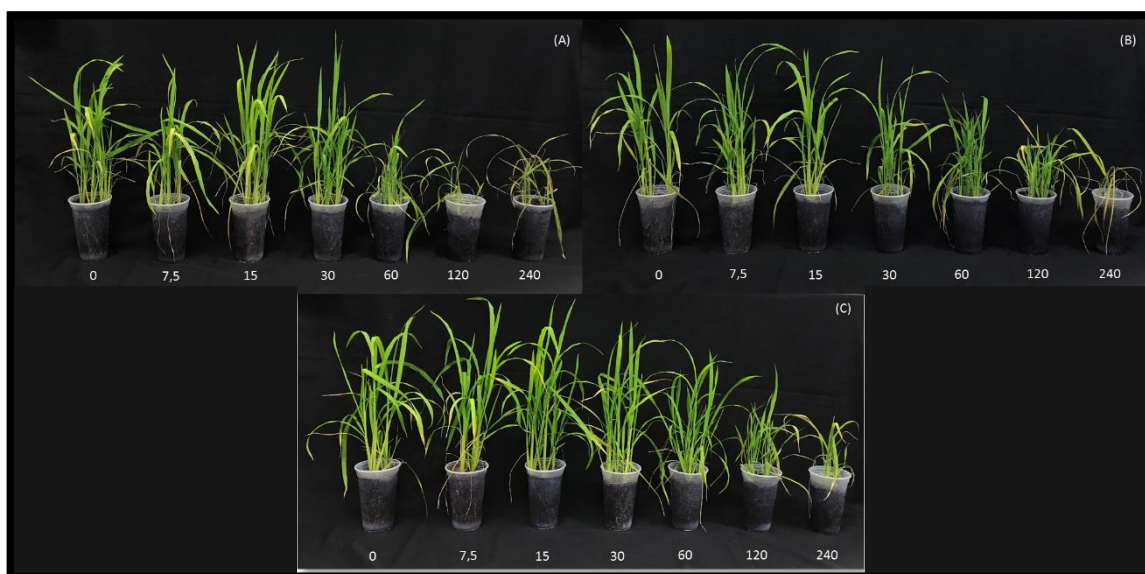


Figura 21 – Plantas de arroz 21 dias após a aplicação de glyphosate nos grupos sem simulação de chuva (A), com simulação de chuva 12 horas após a aplicação (B) e com simulação de chuva 24 horas após a aplicação (C). Botucatu/SP, 2018.

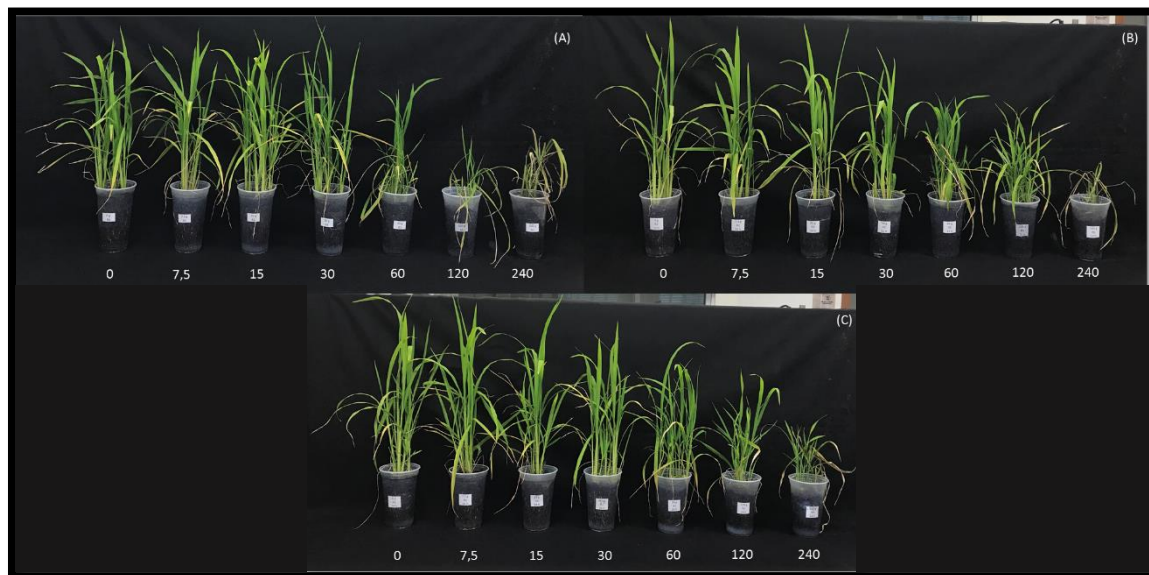


Figura 22 – Plantas de arroz 28 dias após a aplicação de glyphosate nos grupos sem simulação de chuva (A), com simulação de chuva 12 horas após a aplicação (B) e com simulação de chuva 24 horas após a aplicação (C). Botucatu/SP, 2018.

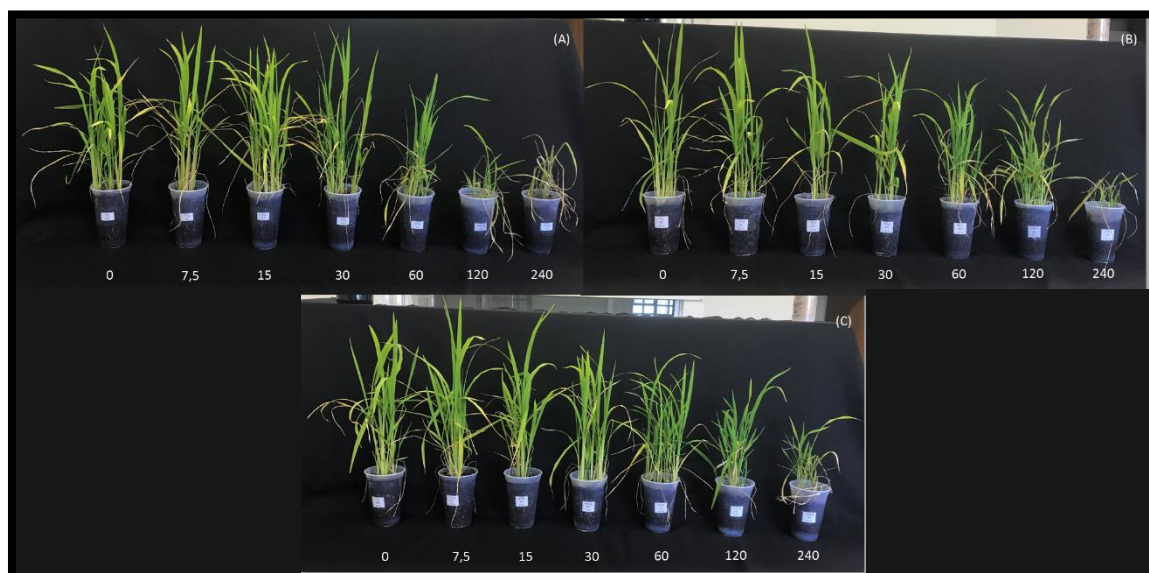


Figura 23 – Rebrotas de plantas de arroz aos 58 dias após a aplicação de glyphosate e 30 dias após o primeiro corte, no grupo sem corte no fornecimento de água.

Botucatu/SP, 2018.

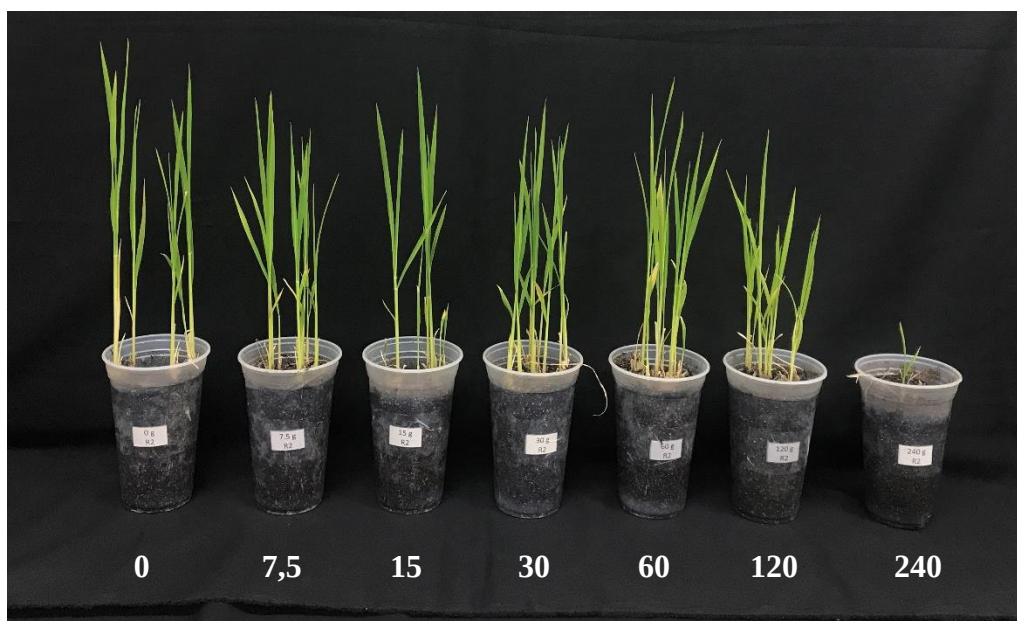


Figura 24 – Rebrotas de plantas de arroz aos 58 dias após a aplicação de glyphosate e 30 dias após o primeiro corte, no grupo com simulação de chuva 12 horas após a aplicação. Botucatu/SP, 2018.

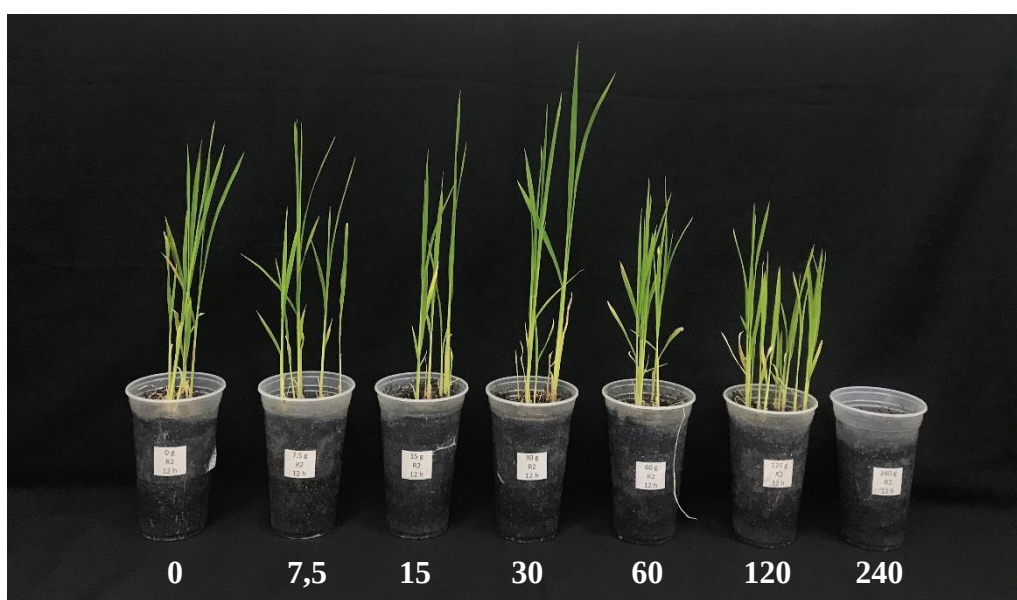
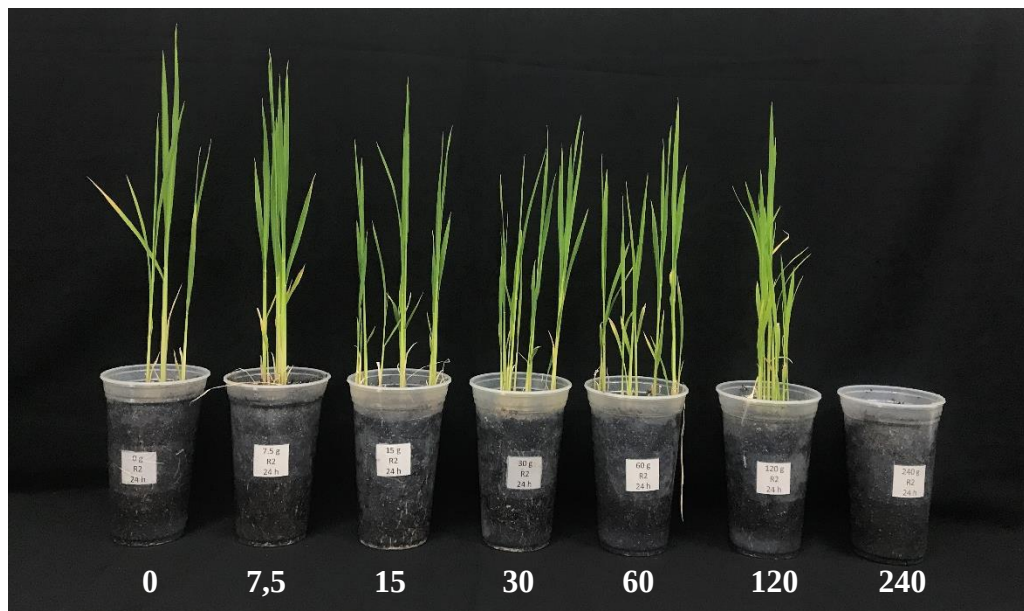


Figura 25 – Rebrota de plantas de arroz aos 58 dias após a aplicação de glyphosate e 30 dias após o primeiro corte, no grupo com simulação de chuva 24 horas após a aplicação. Botucatu/SP, 2018.



4.3 Experimento 3: Avaliação do efeito de subdoses de glyphosate sobre o consumo de água de plantas de arroz submetidas a diferentes regimes hídricos

Em relação ao número de perfilhos, os parâmetros da regressão, valores de F, coeficientes de variação e de determinação para o número de perfilhos de plantas de arroz são apresentados na Tabela 16. Os dados do grupo de plantas sem estresse hídrico não se ajustaram a nenhum dos modelos propostos, enquanto os demais se ajustaram a regressão da Equação 1.

Em todos os grupos de plantas, as subdoses de 36 e 72 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate promoveram um aumento no perfilhamento das plantas. Doses inferiores a 36 g e.a. e superiores a 72 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate levaram a redução do número de perfilhos (Figura 26).

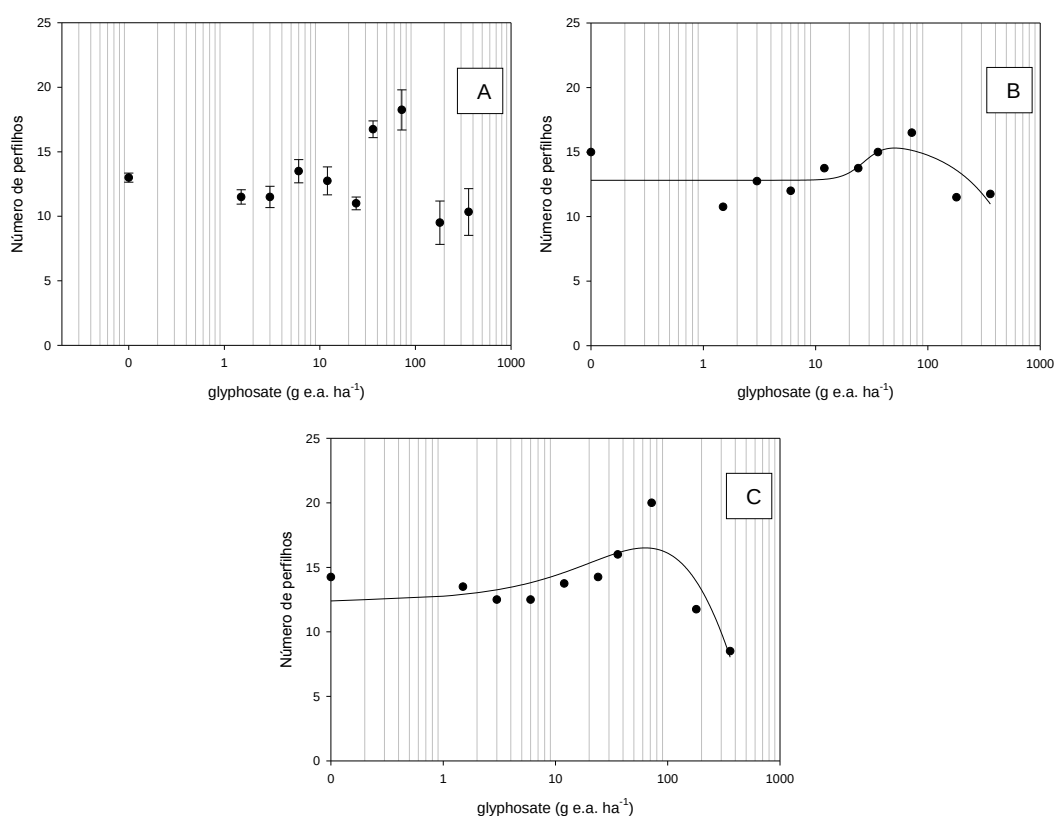
Como discutido anteriormente, o perfilhamento de plantas de arroz, foi alterado em todos os estudos realizados neste trabalho, havendo incremento em algumas subdoses e redução em outras. Houve ainda subdoses que não causaram efeito sobre esta variável. As doses responsáveis por incremento em número de perfilhos variaram de 30 a 240 g e.a. g ha⁻¹ de glyphosate, dependendo do estudo.

Tabela 16 – Parâmetros da equação de regressão, valor de F e coeficiente de variação (CV%) do número de perfilhos de três plantas aos 28 dias após a aplicação de glyphosate em V4, sem estresse hídrico, com estresse hídrico no grupo RH1 e com estresse hídrico no grupo RH2. Botucatu/SP, 2018.

Número de perfilhos 3 plantas ⁻¹			
28 dias após o tratamento			
	Sem estresse	RH1	RH2
CV (%)	19,57	25,81	21,45
Valores de F			
Hipótese $f \neq 0$	11,54**	5,01*	7,62**
Regressão	3,09*	1,53 ^{ns}	6,19**
Modelo	Equação 1	Equação 1	Equação 1
R²	0,02	0,59	0,67
Constantes			
g	-2,70	-3,32	-5,53
b	-0,99	-4,49	0,97
k	7,13	3,40	521,79
d	10,33	12,82	534,19
f	-0,02	-0,01	-2,08

ns = não significativo; *P < 0,05; **P < 0,01.

Figura 26 – Número de perfilhos de quatro plantas de arroz aos 28 dias após a aplicação de glyphosate em V4 sem estresse hídrico (A), com estresse hídrico no grupo RH1 (B) e com estresse hídrico no grupo RH2 (C). Botucatu/SP, 2018.



O número de perfilhos parece ser uma das variáveis mais sensíveis a aplicação de glyphosate e as causas desta resultados, estão relacionadas com perda de dominância apical e alteração no balanço hormonal (sobretudo AIA) das plantas de arroz. Tal fato corrobora a afirmação de Calabrese e Blain (2009) de que o efeito hormético pode variar de acordo com a espécie em estudo, período de avaliação e agente químico utilizado.

Os parâmetros da regressão, valores de F, coeficientes de variação e de determinação para massa de matéria seca de plantas de arroz são apresentados na Tabela 17.

A aplicação de subdoses até 36 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate resultou biomassa seca média semelhante à da testemunha (Figura 27A), com exceção do tratamento com 6 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate, que apresentou incremento de massa na ordem de 18% em relação a testemunha sem aplicação, em se tratando do grupo sem restrição hídrica. Nos grupos de plantas que passaram por estresse hídrico durante a condução do estudo, nenhuma subdose causou incremento de biomassa e doses acima de 24 e 36 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate causaram redução na massa de plantas nos grupos RH1 (Figura 27B) e RH2 (Figura 27C), respectivamente.

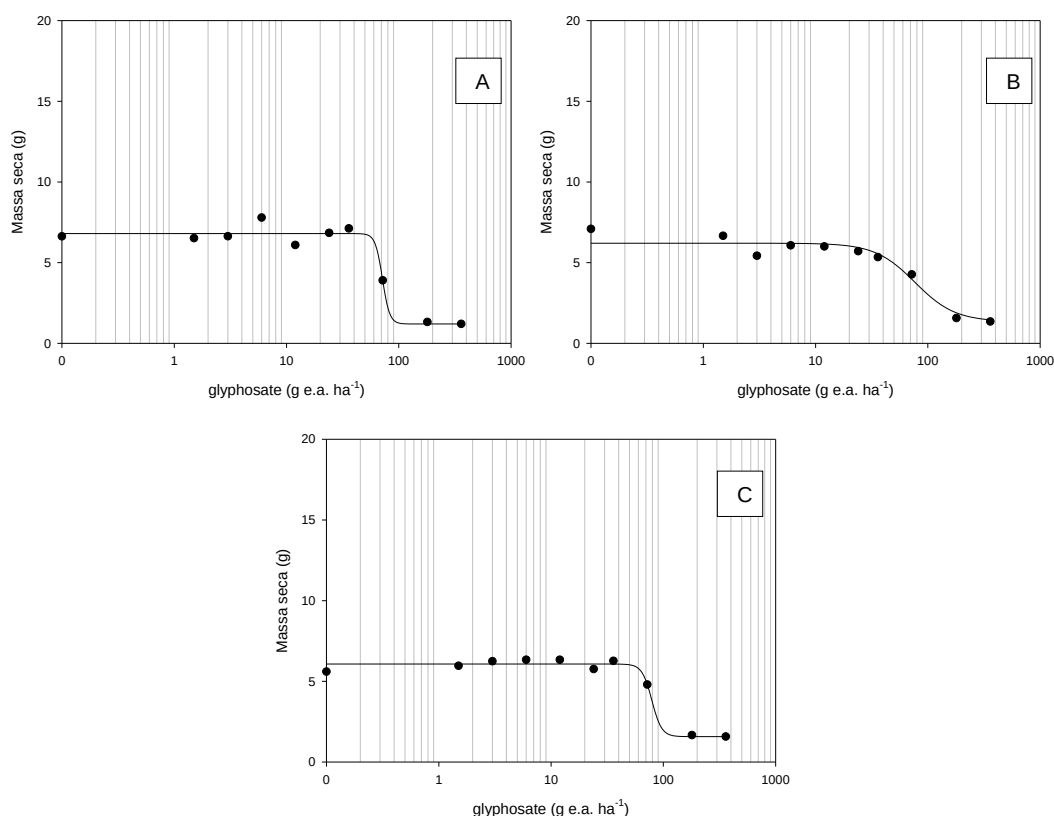
Tabela 17 – Parâmetros da equação de regressão, valor de F e coeficiente de variação (CV%) da massa de matéria seca de três plantas aos 28 dias após a aplicação de glyphosate em V4, sem estresse hídrico, com estresse hídrico no grupo RH1 e com estresse hídrico no grupo RH2. Botucatu/SP, 2018.

Massa de matéria seca 3 plantas ⁻¹			
28 dias após o tratamento			
	Sem estresse	RH1	RH2
CV (%)	16,74	17,94	17,88
Valores de F			
Hipótese $f \neq 0$	0,35 ^{ns}	2,58 ^{ns}	0,10 ^{ns}
Regressão	82,09 ^{ns}	57,28 ^{**}	50,54 ^{**}
Modelo	Equação 2	Equação 2	Equação 2
R²	0,97	0,95	0,98
Constantes			
g	-4,27	-4,34	-4,37
b	13,56	2,44	9,93
k	5,60	4,86	4,50
d	1,20	1,34	1,57
f	-	-	-

ns = não significativo; *P < 0,05; **P < 0,01.

McWhorter et al. (1980) afirmaram que a absorção e translocação de ^{14}C -glyphosate aplicado em plantas de *Sorghum halepense* e soja convencional podem ser reduzidas, em um intervalo de 72 horas após a exposição das plantas ao herbicida, quando as mesmas estavam sob condições de estresse hídrico aliado à baixa umidade relativa do ar e altas temperaturas. O tempo em que as plantas arroz permaneceram sob estresse hídrico neste estudo variou de 96 (RH1) a 120 horas (RH2).

Figura 27 – Massa de matéria seca de quatro plantas de arroz aos 28 dias após a aplicação de glyphosate em V4 sem estresse hídrico (A), com estresse hídrico no grupo RH1 (B) e com estresse hídrico no grupo RH2 (C). Botucatu/SP, 2018.



Em trabalho realizado por Machado et al. (2000), visando avaliar o efeito do estresse hídrico sobre a absorção e translocação de halosulfuron em tiririca (*Cyperus rotundus*), os autores observaram que a restrição hídrica comprometeu a translocação do herbicida. Em trabalho semelhante, Moosavi-nia e Dore (1979) observaram que o desempenho de glyphosate no controle da mesma espécie foi reduzido com o aumento do estresse hídrico. Os mesmos autores afirmam que o retorno do fornecimento de água, até a capacidade de campo do solo, até uma semana após a

aplicação fez com que o controle das plantas tratadas sob estresse se assemelhasse ao da testemunha, atribuindo a redução de translocação a processos primariamente bioquímicos e fisiológicos reversíveis, que são normalizados após a retirada da condição de estresse.

Figura 28 – Plantas de arroz aos 28 dias após a aplicação de glyphosate em V4, no grupo sem estresse hídrico. Botucatu/SP, 2018.

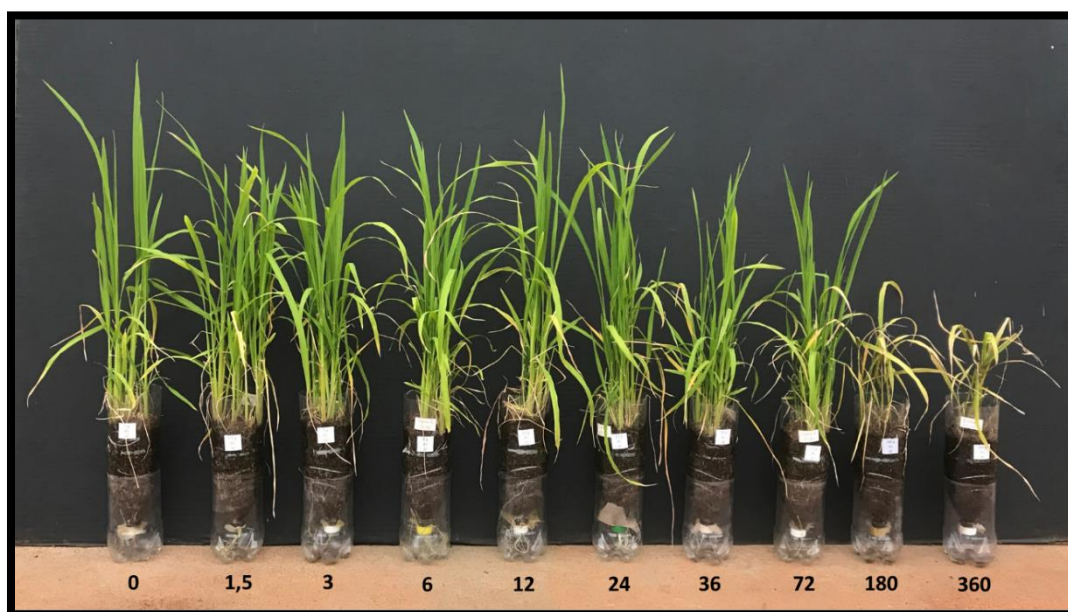


Figura 29 – Plantas de arroz aos 28 dias após a aplicação de glyphosate em V4, com estresse hídrico no grupo RH1. Botucatu/SP, 2018.

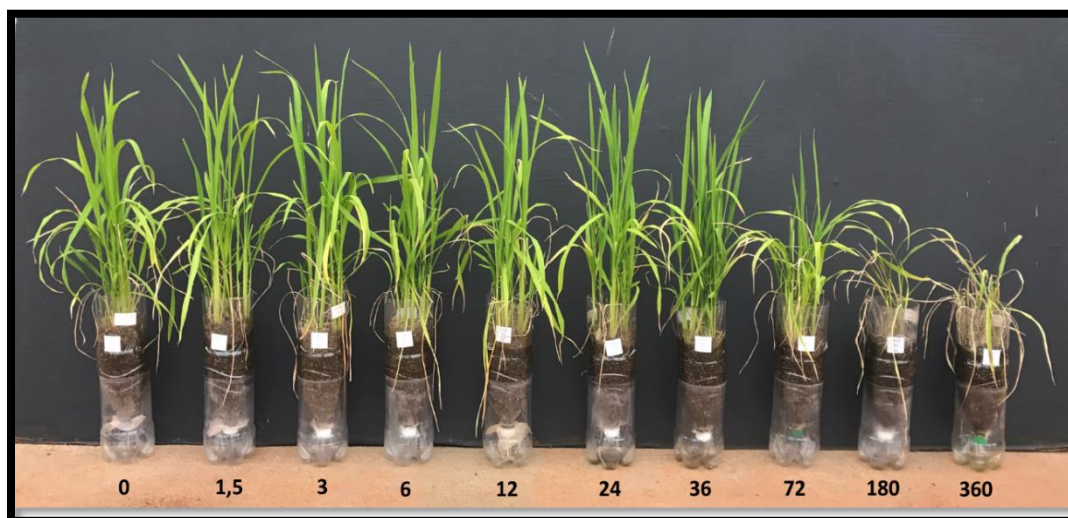
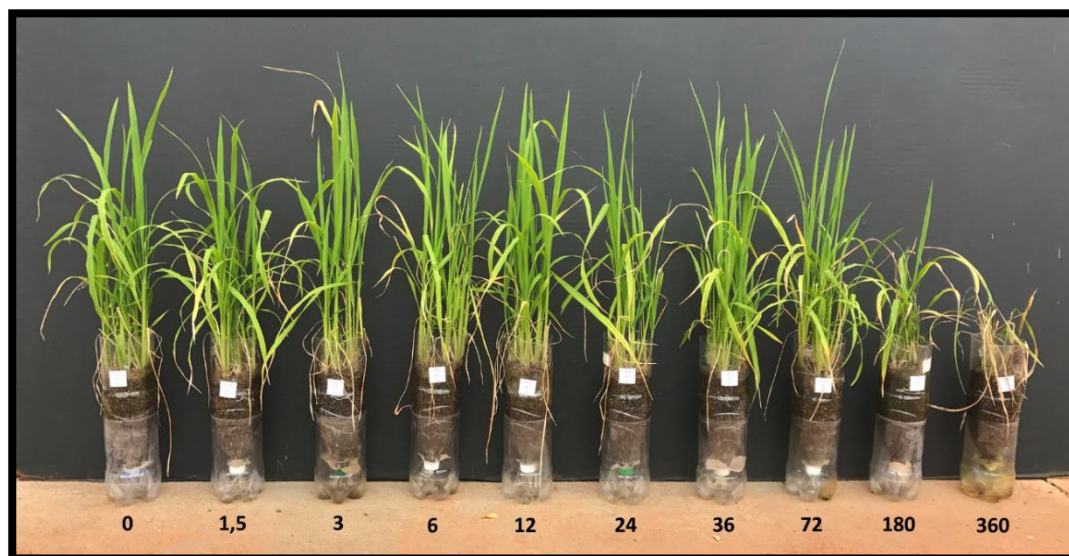


Figura 30 – Plantas de arroz aos 28 dias após a aplicação de glyphosate em V4, com estresse hídrico no grupo RH2. Botucatu/SP, 2018.



Os parâmetros da regressão, valores de F, coeficientes de variação e de determinação para consumo acumulado de água por plantas de arroz são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 – Parâmetros da equação de regressão, valor de F e coeficiente de variação (CV%) do consumo acumulado de água por plantas de arroz durante 28 dias após a aplicação de glyphosate em V4, sem estresse hídrico, com estresse hídrico no grupo RH1 e com estresse hídrico no grupo RH2. Botucatu/SP, 2018.

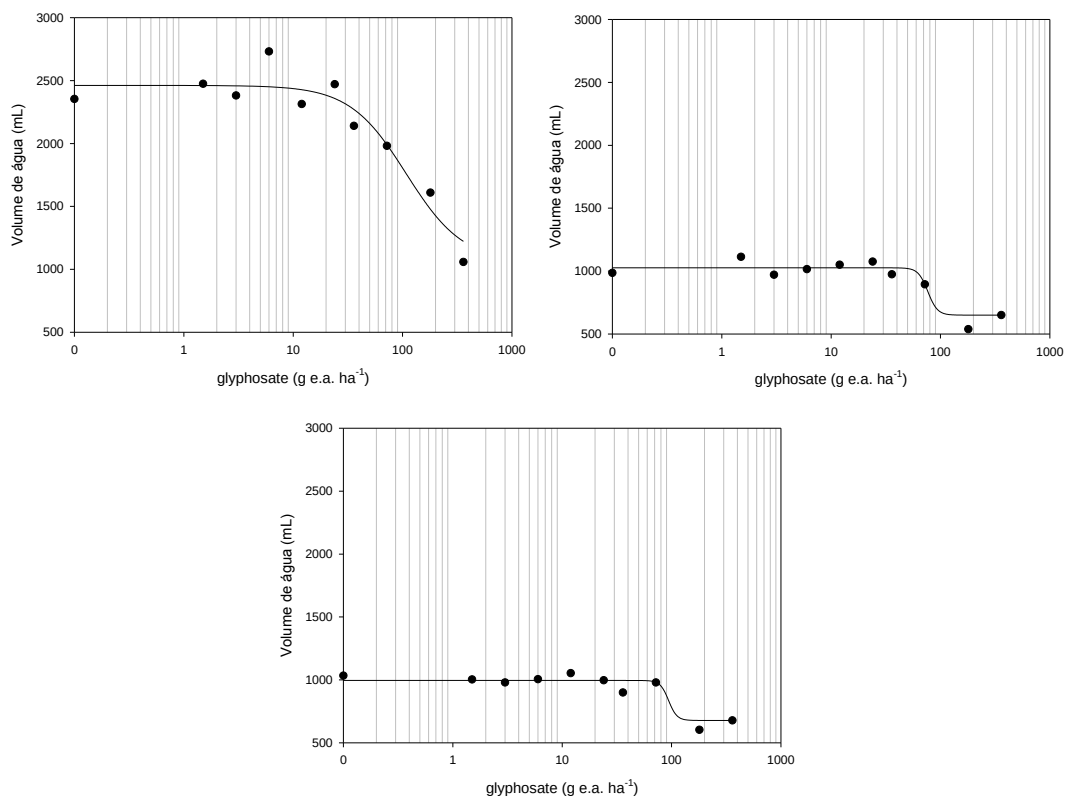
	Consumo acumulado de água (mL)		
	Sem estresse	RH1	RH2
CV (%)	10,96	8,78	7,96
Valores de F			
Hipótese $f \neq 0$	2,54 ^{ns}	0,14 ^{ns}	2,12 ^{ns}
Regressão	48,21 ^{**}	57,46 ^{**}	48,75 ^{**}
Modelo	Equação 1	Equação 2	Equação 2
R²	0,92	0,90	0,91
Constantes			
g	-4,68	-4,34	-4,54
b	1,68	9,86	11,35
k	1404,68	375,93	317,86
d	1057,50	650,00	677,50
f	-	-	-

ns = não significativo; *P < 0,05; **P < 0,01.

Observando-se o consumo acumulado de água durante os 28 dias de condução do estudo (Figura 31), destaca-se no grupo sem estresse hídrico (Figura 31A) a subdose de 6 g e.a. de glyphosate ha^{-1} como a que mais se diferiu do tratamento testemunha em termos de incremento no consumo, com um aumento de 18% na quantidade de água consumida. Os demais tratamentos, com subdoses variando de 1,5 a 24 g e.a. ha^{-1} de glyphosate não diferiram da testemunha, enquanto doses iguais ou superiores a 36 g e.a. ha^{-1} de glyphosate reduziram o consumo de água, provavelmente por terem afetado a absorção de água e/ou transpiração das plantas tratadas, reduzindo-as, em função do estresse químico submetido às plantas. Nos grupos cujo regime hídrico contou com períodos de estresse (Figura 31B e 31C), a redução no consumo foi observado em subdoses acima de 72 g e.a. ha^{-1} de glyphosate. Nestes mesmos grupos, em doses inferiores a 72 g e.a. ha^{-1} de glyphosate, o consumo não diferiu da testemunha sem aplicação.

Uma causa provável para que a intoxicação, e consequente redução no consumo de água, tenha ocorrido de forma mais acentuada no grupo de plantas sem restrições hídricas é o fato de que plantas sob condições de estresse hídrico tendem a absorver e translocar o glyphosate de forma menos eficaz, reduzindo seus efeitos sobre as plantas.

Figura 31 – Consumo acumulado de água por plantas de arroz durante 28 dias após a aplicação de glyphosate em V4, sem estresse hídrico (A), com estresse hídrico no grupo RH1 (B) e com estresse hídrico no grupo RH2 (C). Botucatu/SP, 2018.



5 CONCLUSÕES

Não houve efeito hormético sobre a produtividade e os componentes de produção do arroz, exceto o número de perfilhos m^{-2} .

A ocorrência de 20 mm de chuva não influenciou o desenvolvimento da planta em condições controladas.

Não foi observado efeito hormético para biomassa e consumo de água.

A aplicação de doses entre 60 e 120 g e.a. ha^{-1} de glyphosate aumentou o perfilhamento das plantas de arroz em todos os estudos realizados, sendo a dose que causou incremento dependente da situação.

Independentemente da condição de condução dos estudos, o arroz mostrou-se não responsivo à subdoses de glyphosate quanto a ocorrência de efeito hormético.

A ocorrência de deriva de glyphosate em áreas de arroz não resultará em decrecscimo ou incremento de produtividade.

REFERÊNCIAS

- ABREU, A. G.; OLIVEIRA, J. P. Botânica e desenvolvimento fenológico da planta. In: BORÉM, A.; RANGEL, P. H. (Eds). **Arroz: do plantio à colheita**. Viçosa: Ed. UFV, 2015. 242p.
- ALVES, C. J. Thidiazuron aumenta a produtividade em arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 3, p. 333-339, 2015.
- ALVAREZ, R. C. F.; CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S. Produtividade de arroz de terras altas em função de reguladores de crescimento. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 1, p. 42-49, 2014.
- AMARANTE JR., O. P. et al. Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 4, p. 589-593, 2002.
- AMRHEIN, N. et al. The site of inhibition of the shikimate pathway by glyphosate. **Plant Physiology**, Chicago, v. 66, p. 830-834, 1980.
- ANDERSON, K. S.; JOHNSON, H. A. Kinetic and structural analysis of enzyme intermediates from EPSPs: lessons from EPSP synthase. **Chemical Review**, Urbana-Champaign, v. 90, n. 7, p. 1131-1149, 1990.
- ARCURI, H. A. et al. Molecular models for shikimate pathway enzymes of *Xylella fastidiosa*. **Biochemical and Biophysical Research Communication**, Amsterdam, v. 320, n. 3, p. 979-991, 2004.
- ARF, O. et al. Uso de etil-trinexapac em cultivares de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 150-158, 2012.
- BAYLIS, A. D. Why glyphosate is a global herbicide: strengths, weaknesses and prospects. **Pest Management Science**, Medford, v. 56, n. 4, 2000.
- BELZ, R. G.; LEBERLE, C. Low dose responses of different glyphosate formulations on plants. 25th German Conference on Weed Biology and Weed Control, Braunschweig v. 434, p. 427-434, 2012.
- BELZ, R. G.; DUKE, S. O. Herbicides and plant hormesis, **Pest Management Science**, Medford, v. 70, n. 5, p. 698-707, 2014.
- BECERRIL, J. M.; DUKE, S. O.; LYDON, J. Glyphosate effects on shikimate pathway products in leaves and flowers of velvetleaf. **Phytochemistry**, New York, v. 28, n. 3, p.695-699, 1989.
- BOTT, S. et al. Phytotoxicity of glyphosate soil residues re-mobilized by phosphate fertilization. **Plant and Soil**, New York, v. 342, n. 1, p. 249-263, 2011.
- BOUDET, A. M.; GRAZIANA, A.; RANJEVA, R. I. In: Van Sumere, C. F.; LEA, P. J. **The biochemistry of plant phenolics**. Oxford: Claredon Press, 1985, 135p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399p.

BRITO, I. P. F. S. DE; MARCHESI, B. B.; PUCCI, C.; CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D. Variation in the sensitivities of hairy beggarticks (*Bidens pilosa*) plants and their progenies to glufosinate ammonium. **Weed Science**, Champaign, v. 64, n. p. 570–578 (2016).

BRITO, I. P. F. S. et al. Hormetic effects of glyphosate on plants. **Pest Management Science**, Medford, v. 73, n. 1, p.1-7, 2017.

BUKOWSKI, J. A.; LEWIS, R. J. Hormesis and health: A little of what you fancy may be good for you. **Southern Medical Journal**, Birmingham, v. 93, n.4, p. 371–374, 2000.

BUZETTI, S. et al. Resposta de cultivares de arroz a doses de nitrogênio e do regulador de crescimento cloreto de clomequat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 12, p. 1731-1737, 2006.

CALABRESE, E. J. Hormesis: A revolution in toxicology, risk assessment and medicine. **EMBO reports**, Heidelberg, v. 5, n. 1, p. 37–40, 2004.

CALABRESE, E. J. Paradigm lost, paradigm found: The reemergence of hormesis as a fundamental dose response model in the toxicological sciences. **Environmental Pollution**, Barking, v.138, p. 378-411, 2005.

CALABRESE, E. J.; BALDWIN, L. A. Defining hormesis. **Human & Experimental Toxicology**, Hampshire, v. 21, p. 91-97, 2002.

CALABRESE, E.; BLAIN, R. Hormesis and plant biology. **Environmental Pollution**, Barking, n. 157, p. 42-48, 2009.

CARBONARI, C. A. et al. Glyphosate effects on sugarcane metabolism and growth. **American Journal of Plant Sciences**, Irvine, v. 5, n. 24, p. 3585-3593, 2014.

CARVALHO, L. B. et al. Physiological dose–response of coffee (*Coffea arabica* L.) plants to glyphosate depends on growth stage. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Chillán, v. 72, n. 2, p. 182–187, 2012.

CARVALHO, L. B.; ALVES, P. L. C. A.; DUKE, S. O. Hormesis with glyphosate depends on coffee growth stage. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 85, n.2, p. 813–822, 2013.

CARVALHO, W. A.; ESPÍNDOLA, C. R.; PACCOLA, A. A. **Levantamento de solos da Fazenda Lageado - Estação Experimental "Presidente Médici"**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, 1983. 95 p. (Boletim Técnico 1).

CEDERGREEN, N. Herbicides can stimulate plant growth. **Weed Research**, Oxford, v. 48, p.1–10, 2008.

CEDERGREEN, N.; OLESEN, C. F. Can glyphosate stimulate photosynthesis? **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 96, n. 3, p. 140–148, 2010.

CEDERGREEN, N.; RITZ, C.; STREIBIG, J. C. Improved empirical models describing hormesis. **Environmental Toxicology and Chemistry**, Pensacola, v. 24, p. 3166–3172, 2005.

CEDERGREEN, N. et al. Chemical stress can increase crop yield. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 114, n. 1, p. 54-57, 2009.

COGGINS, J. R. et al. Experiences with the shikimate-pathway enzymes as targets for rational drug design, **Biochemical Society Transactions**, London, v. 31, p. 548–552, 2003.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Décimo segundo levantamento, Brasília, v. 4, n. 12, p. 1-158, 2017. Disponível em<
http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_09_12_10_14_36_boletim_graos_setembro_2017.pdf>. Acesso em 09 de março de 2018.

COUNCE, P. A; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. L. A uniform, objective and adaptative system for expressing rice development. **Crop Science**, v. 40, n. 2, p. 436-443, 2000.

COUTINHO, C. F. B.; MAZO, L. H. Complexos metálicos com o herbicida glyphosate: revisão. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 6, 2005.

COX, C. Glyphosate (Round up). **Journal of Pesticide Reform**. Eugene, Fall, v. 18, n. 3, 1998.

CUNHA, A. R. et al. Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Köppen. In: Simpósio em Energia na Agricultura, 1, 1999, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP, FCA, 1999. p. 487-91.

DEDTKE, C.; DUKE, S. O. Herbicides, in: HOCK, B.; ERICH, F. E. **Plant toxicology**. New York: CRC Press, 2004. p. 247-330.

DEVINE, M. D.; BANDEEN, J. D.; MCKERSIE, B. D. Temperature effects on glyphosate absorption, translocation and distribution in quackgrass (*Agropyron repens*). **Weed Science**, Champaign, v. 31, n. 4, p. 461-464, 1983.

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

DICKSON, R. L. et al. Effect of water stress nitrogen and gibberellic acid on fluazifop and glyphosate activity on oats (*Avena sativa*). **Weed Science**, Champaign, v. 38, p. 54-61, 1990.

DOSSELAERE, F.; VANDERLEYDEN, J. A metabolic node in action: Chorismate-utilizing enzymes in microorganisms. **Critical Reviews in Microbiology**, v. 27, p. 75–131, 2001.

DUKE, S. O. Glyphosate. In: KEARNEY, P. C.; KAUFMAN, D. D. (Ed.) **Herbicides chemistry, degradation and mode of action**. New York: Marcel Dekker, 1988. v. 3, p. 1-70.

DUKE, S. O. Hormesis: Is it an important factor in herbicide use and allelopathy? **Outlooks. Pest Management Science**, Medford, v. 17, p. 29–33, 2006.

DUKE, S. O. Glyphosate metabolism in plants. In: VELINI, E. D. et al. **Glyphosate: uso sustentável**. Fepaf: Botucatu, 2012. 213 p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.^a ed. Rio de Janeiro, 2013, 353p.

EVANS, L. E.; BHATT, G. M. Influence of seed size, protein content and cultivar on early seedling vigor in rice. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 57, p. 929-935, 1977.

FAOStat, 2018. **Statistical databases of the Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em< <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em 08 de março de 2018.

FARREL, T. C. et al. Genotypic variation for cold tolerance during reproductive development in rice: Screening with cold air and cold water. **Field Crops Research**, v. 98, p. 178-194, 2006.

FEDTKE, C.; DUKE, S. O. Herbicides. In: HOCK, B.; ELSTNER, E. F. (Eds). **Plant Toxicology**. New York: Marcel Dekker, 2005. p. 247–330.

FISHER, R. S. et al. Comparative action of glyphosate as a trigger of energy drain in eubacteria. **Journal of Bacteriology**, Washington, v.168, n. 3, p. 1147–1154, 1986.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. **Manual da cultura do arroz**. Jaboticabal: Funep, 2006. 589p.

FRANZ, J. E.; MAO, M. K.; SIKORSKI, J. A. Uptake, transport and metabolism of glyphosate in plants, in: **Glyphosate: A Unique Global Herbicide**, ed. by Franz FE, Mao MK and Sikorski JA. American Chemical Society, Washington DC, pp. 143–181 (1997).

FRANZ, J. E.; MAO, M. K.; SIKORSKI, J. A. **Glyphosate: a unique global herbicide**. Washington: American Chemical Society, 1997. 653 p.

GAZZIERO, D. L. P. et al. Um alerta sobre a resistência de plantas daninhas ao glifosato. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 6, 2012. Cuiabá. Soja: Integração Nacional e Desenvolvimento Sustentável. **Anais...** Brasília: EMBRAPA, 2012.

GITTI, D. C. Glyphosate como regulador de crescimento em arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 4, 2011.

GITZ, D. C. et al. Effect of a PAL inhibitor on phenolic accumulation and UV-B tolerance in *Spirodela intermedia* (Koch.). **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 398, p. 919-927, 2004.

GOMES, G. L. G. C. **Alterações metabólicas de plantas de milho submetidas à aplicação de glyphosate e fosfito**. 2011. 97 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Proteção de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

GOMES, G. L. G. C. **Caracterização bioquímica e morfofisiológica de populações de buva (*Conyza* spp.) resistentes ao glyphosate**. 2014. 112 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

GOMES, M. P. Glyphosate-Dependent Inhibition of Photosynthesis in Willow. **Frontiers in Plant Science**, Melbourne, v. 8, n. 207, 2017.

HASLAM, E. **Shikimic acid: metabolism and metabolites**. Chinchester: John Wiley, 1993. 392 p.

HERMAN, K. M. The shikimate pathway as an entry to aromatic secondary metabolism. **Plant Physiology**, Chicago, v. 107, p. 7-12, 1995.

HETHERINGTON, D. R. et al. The absorption, translocation and distribution of the herbicide glyphosate in maize expressing the CP-4 transgene. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 50, n. 339, p. 1567-1576, 1999.

JAGADISH, S. V. K. et al. High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 7, p. 1627-1635, 2007.

JULIANO, B. O. Rice in human nutrition. Rome: **FAO**, 1993. Online. Disponível em<<http://www.fao.org>>.

KENNEDY, G. et al. Nutrient impact assessment of rice in major rice-consuming countries. **International Rice Commission Newsletter**, Roma, v. 51, p. 33-42, 2002.

KOGAN, M. A.; PÉREZ JR., A. Herbicidas: fundamentos fisiológicos y bioquímicos Del modo de acción. Santiago: **Ediciones Universidad Católica de Chile**, 2003. 333 p.

KRUSE, N. D.; TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A. Herbicidas inibidores da EPSPS: revisão de literatura. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v. 1, n. 2, p.139–146, 2000.

LINDERS, J. B. H. J. et al. **Pesticides: benefaction or Pandora's box? A synopsis of the environmental aspect of 243 pesticides**. Research for Man and

Environment. National Institute of Public Health and Environment. Bithoven, the Netherlands. Report #67101014

LUCHINI, L. C. Considerações sobre algumas propriedades físico-químicas do glyphosate. In: VELINI, E. D.; MESCHEDE, D. K.; CARBONARI, C. A.; TRINDADE, M. L. B. **Glyphosate**. Fepaf: Botucatu, 2009. 496 p.

MACHADO, R. A. Efeito do estresse hídrico sobre a eficiência do halosulfuron no controle de tiririca. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 18, n. 2, p. 265-275, 2000.

MATSUSHIMA, S. Crop science in rice: theory of yield determination and its application. Tokyo: Fuji, 1970. 379p.

MATTSON, M. P. et al. Activation of NF-kappaB protects hippocampal neurons against oxidative stress-induced apoptosis: evidence for induction of manganese superoxide dismutase and suppression of peroxynitrite production and protein tyrosine nitration. **Journal of Neuroscience Research**, New York, v. 49, n. 6, p. 681–697, 1997.

McWHORTER, C. G.; AZLIN, W. R. Effects of environment on the toxicity of glyphosate to johnsongrass (*Sorghum halepense*) and soybean (*Glycine max*). **Weed Science**, Champaign, v. 26, p. 605-608, 1978.

McWHORTER, C. G.; JORDAN, T. N.; WILLS, G. D. Translocation of ¹⁴C-glyphosate in soybean (*Glycine max*) and Johnson grass (*Sorghum halepense*). **Weed Science**, Champaign, v. 28, p. 113-118, 1980.

MERVOSH, T. L.; BALKE, N. E. Effects of calcium, magnesium and phosphate on glyphosate absorption by cultured plant cells. **Weed Science**, Champaign, v. 39, n. 3, p. 347-353, 1991.

MINARIK C. E. et al. New growth-regulating compounds II. Substituted benzoic acids. **Botanical Gazette**, Hanover, v. 113, p.125–147 (1951).

MONQUERO, P. A. **Dinâmica populacional e mecanismos de tolerância de espécies de plantas daninhas ao herbicida glyphosate**. 2003. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

MOOSAVI-NIA, H.; DORE, J. Factors affecting glyphosate activity in *Imperata cylindrica* (L) Beau and *Cyperus rotundus* L. I. Effects of soil moisture. **Weed Research**, Oxford, v.19, p. 321- 327, 1979.

MORAES, C. P. **Controle e hormesis de glyphosate em *Brachiaria decumbens***. 2016. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

MOREIRA, M. F.; KLUGE, R. A. In: CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. **Ecofisiologia de cultivos anuais: trigo, milho soja arroz e mandioca**. São Paulo: Nobel, 1999, 126 p.

MURADO, M. A.; VÁZQUEZ, J. A. Biphasic toxicodynamic features of some antimicrobial agents on microbial growth: A dynamic mathematical model and its implications on hormesis. **BMC Microbiology**, London, v. 10, p. 220–234 (2010).

NADEEM, M. A. et al. Glyphosate hormesis in broad-leaved weeds: A challenge for weed management. **Archives of Agronomy and Soil Science**, Berlin, v. 63, n. 3, p.1–8, 2016.

NASCENTE, A. S. et al. Cover crop termination timing on Rice crop production in a no-till system. **Crop Science**, Madison, v. 53, n. 6, p. 2659-2669, 2013.

NASCENTES, R. F. et al. Glyphosate hormesis in *Brachiaria brizanta* cv. Marandu. **Revista do Centro Universitário de Patos de Minas**, Patos de Minas, v. 6, p.55–64, 2015.

NASCENTES, R. F. **Hormesis de glyphosate em cana-de-açúcar e eucalipto**. 2016. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

NASCIMENTO, V. et al. Uso do regulador de crescimento etil-trinexapac em arroz de terras altas. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 921-929, 2009.

OLESEN, C. F.; CEDERGREEN, N. Glyphosate uncouples gas exchange and chlorophyll fluorescence. **Pest Management Science**, Medford, v. 66, n. 5, p. 536–542, 2010.

PEDRO JÚNIOR, M. J. et al. Estimativa da produtividade de arroz irrigado por inundação em função da temperatura do ar e da radiação solar. **Scientia Agricola**, v. 52, n. 1. p. 96 -100, 1995.

PETERSON, M. L. et al. new simplified inhibitors of EPSP synthase: the importance of ring size for recognition at the shikimate 3-phosphate site. **Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters**, Amsterdam, v. 6, n. 23, p. 2853-2858, 1996.

REAM, J. E. et al. EPSP synthase: binding studies using isotherm and titration microcalorimetry and equilibrium dialysis and their implications for ligand recognition and kinetic mechanism. **Biochemistry**, Washington, v. 31, p. 5528-5534, 1993.

REGITANO, J. B.; CASTRO, N. R. A. Sorção e dessorção de glyphosate no solo. In: VELINI, E D.; MESCHEDE, D. K.; CARBONARI, C. A.; TRINDADE, M. L. B. **Glyphosate**. Fepaf: Botucatu, 2009. 496 p.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 6 ed. Londrina: IAPAR, 2011. 697 p.

SCHABENBERGER, O.; KELLS, J. J.; PENNER, D. Statistical tests for hormesis and effective dosage in herbicide dose–response. **Agronomy Journal**, n. 91, p. 713–721, 1999.

SILVA, J. C. et al. Efeito hormese de glyphosate em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 03, p. 295-302, 2012.

SILVA, M. A. et al. Hormetic effect of glyphosate on the initial development of sugarcane. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 973–978, 2009.

SILVA, F. M. L. et al. Low doses of glyphosate change the responses of soybean to subsequent glyphosate treatments. **Weed Research**, Oxford, v. 56, n. 2, p. 124–136, 2015.

SILVEIRA, P. M. et al. Efeito da sucessão de cultura e do preparo do solo sobre o rendimento do arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 6, 1998.

SINGH, B.K.; SHANER, D. L. Rapid determination of glyphosate injury to plants and identification of glyphosate resistant plants. **Weed Technology**, Champaign, v. 12, p. 527–530 (1998).

SMITH, C. W.; DILDAY R. H. (Eds.). **RICE: Origin, history, technology, and production**. New Jersey: Wiley, 2003. 656p.

STAUFFERR, M. E. et al. Chemical shift mapping of shikimate-3 phosphate binding to the isolated N-terminal domain of 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase. **Federation of European Biochemical Societies**, New York, v. 499, n. 1-2, p. 182-186, 2001.

SOUTHAM, C. M.; ERLICH, J. Effects of extract of western red-cedar heartwood on certain wood-decaying fungi in culture. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 33, n. 6, p. 517-524, 1943.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009, 719 p.

TAVARES, L. A. F. Hormesis method for increasing oat straw with a view to viability of direct-seeding systems. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 1, p. 48-53, 2015.

VELINI, E. D. et al. Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. **Pest Management Science**, Medford, v. 64, n. 4, p. 489–496, 2008.

VELINI, E. D. Modo de ação do glyphosate. In: VELINI, E D.; MESCHÉDE, D. K.; CARBONARI, C. A.; TRINDADE, M. L. B. **Glyphosate**. Fepaf: Botucatu, 2009. 496 p.

VELINI, E. D. et al. Características e usos do glyphosate. In: VELINI, E. D. et al. **Glyphosate: uso sustentável**. Fepaf: Botucatu, 2012. 213 p.

VIEIRA, A. C. P. et al. Rizicultura: a influência das inovações em cultivares da cadeia produtiva na região sul catarinense. In: **Anais**. 50º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (SOBER), 2012, Vitória-ES. Brasília-DF: SOBER, 2012.

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

WEAVER, L. M.; HERRMANN, K. M. Dynamics of the shikimate pathway in plants. **Trends in Plant Science**, Cambridge, v. 2, n. 9, p. 346-351, 1997.

WIEDMAN, S. J.; APPLEBY, A. P. Plant growth stimulation by sublethal concentrations of herbicides. **Weed Research**, Oxford, v. 12, p. 65-74, 1972.

VILA-AIUB, M. M.; GHERSA, C. M. Building up resistance by recurrently exposing target plants to sublethal doses of herbicide. **European Journal of Agronomy**, Montrouge, v. 22, p. 195–207, 2005.

YOSHIDA, S.; PARAO, F. T. Climatic influence on yield components of lowland Rice in the tropics. **IRRI Climate and Rice**, Los Baños, p. 471-494, 1976.

YOSHIDA, S. Fundamentals of rice crop science. Los Baños: **IRRI**, 1981. 269 p.

ZANATTA, J. F. et al. Teores de água no solo e eficácia do herbicida glyphosate no controle de *Euphorbia heterophylla*. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 3, p.799-811, 2007.