

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

César Tiago Forte

**TESE DE DOUTORADO**

DORMÊNCIA DE SEMENTES E MANEJO DE *Solanum americanum* Mill.

Santa Maria, RS, Brasil  
2019

César Tiago Forte

**DORMÊNCIA DE SEMENTES E MANEJO DE *Solanum americanum* Mill.**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Agronomia**.

Orientador: Ubirajara Russi Nunes

Santa Maria, RS, Brasil  
2019

Forte , César Tiago  
DORMÊNCIA DE SEMENTES E MANEJO DE *Solanum americanum*  
Mill. / César Tiago Forte .- 2019.  
61 p.; 30 cm

Orientador: Ubirajara Russi Nunes  
Coorientador: Alberto Cargnelutti Filho  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Agronomia, RS, 2019

1. Agentes químicos 2. ALS 3. EPSPS 4. Controle químico  
de plantas daninhas 5. Maria-pretinha I. Nunes ,  
Ubirajara Russi II. Cargnelutti Filho , Alberto III.  
Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

---

© 2019

Todos os direitos autorais reservados a César Tiago Forte. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

e-mail: cesartiaoforte@hotmail.com

---

César Tiago Forte

**DORMÊNCIA DE SEMENTES E MANEJO DE *Solanum americanum* Mill.**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Agronomia**.

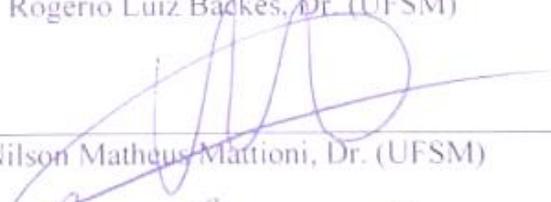
Aprovado em 16 de agosto de 2019:



Ubirajara Russi Nunes, Dr.  
(Presidente/Orientador)



Rogério Luiz Backes, Dr. (UFSM)



Nilson Mathews Mattioni, Dr. (UFSM)



Leandro Galon, D.Sc. (UFFS)



Taísa Dal Magro, Drá. (UCS)

Santa Maria, RS, Brasil  
2019

## RESUMO

### DORMÊNCIA DE SEMENTES E MANEJO DE *Solanum americanum* Mill.

AUTOR: César Tiago Forte  
ORIENTADOR: Ubirajara Russi Nunes

Maria-pretinha (*Solanum americanum* Mill.) é uma espécie de planta daninha pertencente a família das Solanaceae. Possui ampla distribuição no território brasileiro, competindo com as principais culturas de interesse econômico, tanto no período de inverno como no verão. O conhecimento das características intrínsecas de espécies de plantas daninhas se justifica pelo fato do desenvolvimento de estratégias específicas para controle, minimizando custos de produção e impacto ambiental. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes agentes químicos para superação da dormência das sementes de *S. americanum*, bem como o comportamento da espécie perante a aplicação de herbicidas. Os trabalhos foram divididos em duas fases, na primeira o estudo concentrou-se na obtenção do melhor método químico para superação de dormência de sementes de maria-pretinha. Na segunda fase foram desenvolvidos experimentos com o objetivo de obter conhecimento sobre a real situação do nível de resistência de *S. americanum* aos principais herbicidas utilizados para seu manejo e o comportamento da espécie com a aplicação em diferentes estádios e doses de glyphosate. Em relação a primeira fase não ocorreu aumento na germinação com a lavagem das sementes de *S. americanum*. Sendo que a concentração de 0,84 g L<sup>-1</sup> para o ácido giberélico (AG<sub>3</sub>) e o tempo de exposição de 21,22 h em nitrato de potássio (KNO<sub>3</sub>) a 0,2% apresentaram a máxima eficiência técnica na germinação das sementes de *S. americanum*. Para a profundidade de semeadura e o efeito da cobertura a germinação ocorre quando as sementes permanecem na superfície do solo e sem a presença de cobertura vegetal. Em se tratando da possível resistência, os herbicidas iodosulfuron e metsulfuron-methyl (inibidores da enzima ALS), aplicados em pós-emergência, não controlam a espécie *S. americanum*. Essa espécie não apresenta resistência ao herbicida glyphosate, porém, alterações podem estar ocorrendo, o que poderá resultar em genótipos resistentes. Quando aplicado no estádio de 5 folhas, 25% (180 g e.a ha<sup>-1</sup>) da dose recomendada de glyphosate é suficiente para a espécie *S. americanum* não produzir descendentes.

**Palavras-chave:** Agentes químicos. ALS. EPSPs. Controle químico de plantas daninhas. Maria-pretinha.

## ABSTRACT

### SEED TREATMENT AND MANAGEMENT OF *Solanum americanum* Mill.

AUTHOR: César Tiago Forte

ADVISOR: Ubirajara Russi Nunes

Blackbird (*Solanum americanum* Mill.) is a weed species in the Solanaceae family. It has wide distribution in the Brazilian territory, competing with the main crops of economic interest, both winter and summer. Knowledge of the intrinsic characteristics of weed species is justified by the development of specific control strategies, minimizing production costs and environmental impact. The objective of this work was to evaluate the effect of different chemical agents to overcome the dormancy of *S. americanum* seeds, as well as the behavior of the species before herbicide application. The works were divided into two phases, in the first one the study focused on obtaining the best chemical method to overcome dormancy of blackbird seeds. In the second phase experiments were carried out with the objective of obtaining knowledge about the real situation of the resistance level of *S. americanum* to the main herbicides used for its management and the behavior of the species with the application in different stages and doses of glyphosate. In relation to the first phase, there was no increase in germination with washing of *S. americanum* seeds. The concentration of 0.84 g L<sup>-1</sup> for gibberellic acid (AG<sub>3</sub>) and the exposure time of 21.22 h in potassium nitrate (KNO<sub>3</sub>) at 0.2% showed the maximum technical efficiency in seed germination from *S. americanum*. For sowing depth and mulching effect germination occurs when seeds remain on the soil surface and without the presence of mulch. Regarding the possible resistance, the herbicides iodosulfuron and metsulfuron-methyl (inhibitors of enzyme ALS), applied postemergence, do not control the species *S. americanum*. This species has no resistance to glyphosate herbicide, however, changes may be occurring, which may result in resistant genotypes. When applied at the 5-leaf stage, 25% (180 g e.a ha<sup>-1</sup>) of the recommended glyphosate dose is sufficient for *S. americanum* not to produce offspring.

**Keywords:** Chemical agents. ALS EPSPs. Glyphosate. Chemical weed control.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coordenadas geográficas dos biótipos de <i>S. americanum</i> com suspeita de resistência aos herbicidas inibidores de ALS e EPSPs. Santa Maria – RS, 2018.....	40
Tabela 2 - Parâmetros do modelo log-logístico, coeficiente de determinação ( $R^2$ ), fator de resistência (FR), controle de 50% dos biótipos ( $C_{50}$ ) e redução de 50% na massa de matéria seca da parte aérea ( $GR_{50}$ ) para biótipos suscetível e supostamente resistente ao herbicida glyphosate. Santa Maria – RS, 2018.....	45

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Germinação (%) de *Solanum americanum* em função de agentes de superação de dormência e temperaturas. Os dados são apresentados como as médias e desvio padrão de cinco repetições biológicas independentes. Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre os agentes químicos e minúsculas entre as temperaturas, pelo teste Scott Knott, a 0,05 de probabilidade de erro.....28
- Figura 2 - Índice de velocidade de germinação (%) de *Solanum americanum* em função de temperaturas e agentes de superação de dormência. Os dados são apresentados como as médias e desvio padrão de cinco repetições biológicas independentes. Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre os agentes químicos e minúsculas entre as temperaturas, pelo teste Scott Knott, a 0,05 de probabilidade de erro.....29
- Figura 3 - Germinação e índice de velocidade de germinação de *Solanum americanum* em função da lavagem das sementes e dos agentes químicos de superação de dormência. Os dados são apresentados como as médias e desvio padrão de cinco repetições biológicas independentes. Médias seguidas de mesma letra maiúscula não difere os níveis do fator lavagem de sementes e minúsculas os agentes químicos, baseados na comparação de médias pelo teste de Scott Knott, a 0,05 de probabilidade de erro.....30
- Figura 4 - Germinação de sementes de *Solanum americanum* em função da concentração de  $AG_3$  (A) e do período de imersão de  $KNO_3$  (B). MET= máxima eficiência técnica. Os dados são apresentados como as médias e desvio padrão de quatro repetições biológicas independentes, a 0,05 de probabilidade de erro.....31
- Figura 5 - Índice de velocidade de germinação (%) de sementes de *Solanum americanum* em função da concentração de  $AG_3$  (A) e do período de imersão de  $KNO_3$  (B). Os dados são apresentados como as médias e desvio padrão de quatro repetições biológicas independentes, a 0,05 de probabilidade de erro.....32
- Figura 6 - Comprimento da parte aérea (cm) de plântulas de *Solanum americanum* em função da concentração de  $AG_3$  (A) e do período de imersão de  $KNO_3$  (B). Os dados são apresentados como as médias e desvio padrão de quatro repetições biológicas independentes, a 0,05 de

probabilidade de erro.....	32
Figura 7 - Emergência (%) de <i>Solanum americanum</i> em função da profundidade de semeadura (A) e da presença ou ausência de cobertura vegetal de solo (B). Letras diferentes nas barras, para a mesma profundidade de semeadura, indica diferença significativa das médias pelo teste t de Student, a 0,05 de probabilidade de erro.....	33
Figura 8 - Controle aos 28 DAT (dias após aplicação dos tratamentos) (média ± DP) de plantas de <i>S. americanum</i> em função de diferentes biótipos (A) e exposto ao incremento da dose de glyphosate (B). Colunas e linhas verdes e vermelhas representam o biótipo suscetível (B1) e supostamente resistentes (B2), respectivamente. Letras diferentes nas barras, para a mesma dose de herbicida, representa diferença entre os biótipos pelo teste t de Student, a 0,05 de probabilidade de erro.....	43
Figura 9 - Massa da matéria seca da parte aérea (média ± DP) de plantas de <i>S. americanum</i> em função de diferentes biótipos (A) e exposto ao incremento da dose de glyphosate (B). Colunas e linhas verdes e vermelhas representam um biótipo suscetível (B1) e supostamente resistente (B2), respectivamente. Letras diferentes nas barras, para a mesma dose de herbicida, difere os biótipos pelo teste t de Student, a 0,05 de probabilidade de erro.....	44
Figura 10 - Controle de <i>Solanum americanum</i> (%) aos 28 e 56 dias após a aplicação de diferentes doses (45, 90, 180, 360, 720 e 1440 g e.a ha <sup>-1</sup> ) do herbicida glyphosate em diferentes estádios de desenvolvimento da planta daninha (5 folhas e início do florescimento). Colunas em verde e círculo fechado representam a aplicação no estágio de 5 folhas e colunas em marrom e círculo aberto no florescimento. As médias são representadas pelo controle e o desvio padrão de 5 repetições biológicas independentes. * Difere o controle em cada época na mesma dose do herbicida pelo teste t, a 5% de probabilidade de erro.....	53
Figura 11 - Altura de plantas de <i>Solanum americanum</i> (cm) 56 dias após a aplicação de diferentes doses (45, 90, 180, 360, 720 e 1440 g e.a ha <sup>-1</sup> ) do herbicida glyphosate em diferentes estádios de desenvolvimento da planta daninha (5 folhas e início do florescimento). Colunas em verde e círculo fechado representam a aplicação no estágio de 5 folhas e colunas em marrom e círculo aberto no florescimento. As médias são representadas pelo controle e o desvio padrão de 5 repetições biológicas independentes. *Difere o controle em cada época na mesma dose do	

herbicida pelo teste t, a 5% de probabilidade de erro.....54

Figura 12 - Número de frutos planta<sup>-1</sup> de *Solanum americanum* após a aplicação de diferentes doses (45, 90, 180, 360, 720 e 1440 g e.a ha<sup>-1</sup>) do herbicida glyphosate em diferentes estádios de desenvolvimento da planta daninha (5 folhas e início do florescimento). Colunas em verde e círculo fechado representam a aplicação no estágio de 5 folhas e colunas em marrom e círculo aberto no florescimento. As médias são representadas pelo controle e o desvio padrão de 5 repetições biológicas independentes. \*Difere o controle em cada época na mesma dose do herbicida pelo teste t, a 5% de probabilidade de erro.....55

Figura 13 - Número de sementes fruto<sup>-1</sup> de *Solanum americanum* após a aplicação de diferentes doses de glyphosate (45, 90, 180, 360, 720 e 1440 g e.a ha<sup>-1</sup>) do herbicida glyphosate em diferentes estádios de desenvolvimento da planta daninha (5 folhas e início do florescimento). Colunas em verde e círculo fechado representam a aplicação no estágio de 5 folhas e colunas em marrom e círculo aberto no florescimento. As médias são representadas pelo controle e o desvio padrão de 5 repetições biológicas independentes. \*Difere o controle em cada época na mesma dose do herbicida pelo teste t, a 5% de probabilidade de erro.....56

Figura 14 - Massa da matéria seca da parte aérea (g planta<sup>-1</sup>) de *S. americanum* após a aplicação de diferentes doses (45, 90, 180, 360, 720 e 1440 g e.a ha<sup>-1</sup>) do herbicida glyphosate em diferentes estádios de desenvolvimento da planta daninha (5 folhas e início do florescimento). Colunas em verde e círculo fechado representam a aplicação no estágio de 5 folhas e colunas em marrom e círculo aberto no início florescimento. As médias são representadas pelo controle e o desvio padrão de 5 repetições biológicas independentes. \*Difere o controle em cada época na mesma dose do herbicida pelo teste t, a 5% de probabilidade de erro.....57

Figura 15 - Germinação de sementes (%) de *S. americanum* após a aplicação de diferentes doses de glyphosate (45, 90, 180, 360, 720 e 1440 g e.a ha<sup>-1</sup>) em diferentes estádios de desenvolvimento da planta daninha (5 folhas e início do florescimento). Colunas em verde e círculo fechado representam a aplicação no estágio de 5 folhas e colunas em marrom e círculo aberto no início florescimento. As médias são representadas pelo controle e o desvio padrão de 5 repetições biológicas independentes. \*Difere o controle em cada época na mesma dose do herbicida pelo teste t, a 5% de probabilidade de erro.....58

Figura 16 - Esquema representando os principais resultados encontrados com a aplicação de diferentes doses de glyphosate e estágio de crescimento de *S. americanum*. Os estádios estão representados pelos dois modelos de plantas, 3-5 folhas e início do florescimento. Colunas em verde e círculo fechado representam a aplicação no estágio de 5 folhas e colunas em marrom e círculo aberto no florescimento. As médias são representadas pelo controle e o desvio padrão de 5 repetições biológicas independentes. \*Difere o controle em cada época na mesma dose do herbicida pelo teste t, a 5% de probabilidade de erro.....59

## LISTA DE ABREVIACÕES

AG<sub>3</sub> – Ácido Giberélico

ALS – Acetolactato sintase

B1 – Biótipo suscetível

B2 – Biótipo supostamente resistente

C<sub>50</sub> – Dose de herbicida necessária para controle de 50% das plantas

DAT – Dias após a aplicação dos tratamentos

EPSPs – 5-enolpiruvil shikimato-3-fosfato

FR – Fator de resistência

GR<sub>50</sub> – Dose de herbicida necessária para redução de 50% na massa da matéria seca da parte aérea

IVG – Índice de velocidade de germinação

KNO<sub>3</sub> – Nitrato de Potássio

M1 – Planta matriz 1

M2 – Planta matriz 2

DAA – Dias após aplicação

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>14</b>
REFERÊNCIAS .....	17
<b>2 CAPÍTULO I .....</b>	<b>21</b>
<b>FATORES QUÍMICOS E AMBIENTAIS NA GERMINAÇÃO DE <i>Solanum americanum</i> Mill. 21</b>	
2.1 INTRODUÇÃO.....	22
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
2.2.1 Material vegetal .....	23
2.2.2 Protocolo geral dos experimentos .....	23
2.2.3 Efeito da temperatura e agentes químicos .....	24
2.2.4 Efeito da lavagem de sementes .....	24
2.2.5 Efeito de agentes químicos .....	25
2.2.6 Efeito da cobertura do solo e da profundidade de semeadura .....	25
2.2.7 Análises estatísticas .....	25
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	25
2.3.1 Efeito da temperatura e agentes químicos .....	26
2.3.2 Lavagem das sementes .....	29
2.3.3 Métodos químicos de superação da dormência .....	30
2.3.4 Profundidade de semeadura e cobertura vegetal de solo.....	32
2.4 CONCLUSÃO.....	33
AGRADECIMENTOS .....	33
REFERÊNCIAS .....	33
<b>3 CAPÍTULO II.....</b>	<b>36</b>
3.1 INTRODUÇÃO.....	37
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3.2.1 Material vegetal .....	38
3.2.2 Experimentos preliminares (dose única de herbicida).....	39
3.2.3 Dose-resposta .....	40
3.2.4 Análises estatísticas .....	40
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	41
3.3.1 Experimentos preliminares.....	41
3.3.2 Dose-resposta .....	42
3.4 CONCLUSÃO.....	44

AGRADECIMENTOS .....	44
REFERÊNCIAS .....	45
<b>4 CAPÍTULO III .....</b>	<b>47</b>
<b>ESTÁDIO DE APLICAÇÃO E DOSES DE GLYPHOSATE NO CONTROLE, PRODUÇÃO DE FRUTOS E SEMENTES DE <i>Solanum americanum</i> .....</b>	<b>47</b>
4.1 INTRODUÇÃO.....	48
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	49
4.2.1 Material vegetal .....	49
4.2.2 Design experimental .....	49
4.2.3 Variáveis avaliadas .....	50
4.2.4 Análises estatísticas .....	50
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	51
4.4 CONCLUSÃO.....	58
REFERÊNCIAS .....	58
<b>5 CONSIDERAÇÕES GERAIS .....</b>	<b>61</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A família Solanaceae possui mais de 115 gêneros, dentre os quais o *Solanum* é o que apresenta o maior número de espécies, com cerca de 1500, distribuído nas regiões temperadas e tropicais do mundo (JENNIFER e JAMES, 1997). A maria-pretinha, pimenta de cachorro, erva-de-bicho, erva-moura ou caraxim como é conhecida popularmente, dependendo da região do Brasil, a *Solanum americanum* Mill. pertence a esse gênero. Ocorre em pastagens, pomares, culturas anuais, hortaliças e é uma espécie herbácea, anual, com altura de 40 à 100 cm (GROTH, 1989; MOREIRA; BRAGANÇA, 2010; LORENZI, 2017).

A espécie *S. americanum* é competitiva com as culturas de interesse econômico. Essa espécie está presente em diversas culturas agrícolas, como no milho (CARDOSO et al., 2017), na soja e no milho (SANTOS et al., 2016), na cana-de-açúcar (SOARES et al., 2016), na berinjela (MARQUES et al., 2016) e no feijão (BARCELLOS JÚNIOR et al., 2016), demonstrando sua ampla diversidade de ambientes que pode se desenvolver. Gazolla-Neto et al. (2013), estudaram em ambiente estressor o comportamento dessa planta daninha e concluíram que os níveis de luminosidade influenciaram distintamente o crescimento e a plasticidade de plantas de *S. americanum* sob luz plena, que mesmo apresentando menor área foliar, atingiram desempenho similar na alocação de matéria seca em frutos comparativamente àquelas sob luminosidade de 65%.

A espécie *S. americanum* apresenta propagação por sementes, as quais estão envolvidas por um fruto denominado de baba (solanídeo), cada fruto apresenta dezenas e até centenas de sementes. A sua folha apresenta um limbo oblongo/ovalado, com superfície glabra. Partes da planta e frutos verdes são tóxicos, apresentando alcalóides (GROTH, 1989; MOREIRA; BRAGANÇA, 2010; AGROFIT, 2019).

A dormência de sementes é caracterizada quando as sementes estão viáveis e em ambientes (condições climáticas) que possibilitem sua germinação, mas mesmo assim não germinam (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000). Segundo Egley (1995), a dormência das sementes é quando o embrião não é capaz de atingir um nível de crescimento necessário para a emissão da raiz primária, mesmo quando os fatores de inibição não estão presentes e todas as condições ambientais estejam adequadas para esse processo. A dormência de sementes, característica de algumas espécies vegetais, preserva de certa forma a perpetuação da espécie, pois, favorece a germinação escalonada das sementes (FINCH-SAVAGE; LEUBNER-METZGER, 2006; PAZUCH et al., 2015). Após a maturação e dispersão das sementes, é uma forma de defesa contra as variações do ambiente mesmo quando a vegetação é completamente eliminada (BEWLEY, 1997; MARCOS FILHO, 2005; PAZUCH et al., 2015).

A dormência pode ser caracterizada por dois tipos, quando induzida pelo ácido abscísico, fenóis ou alcalóides, denominada de dormência primária e a secundária que é imposta pelo tegumento ou quando não são dadas condições ambientais favoráveis para a germinação (LADEIRA, 1997; FINCH-SAVAGE; LEUBNER-METZGER, 2006; SALVADOR et al., 2007; SCHWANKE et al., 2008). Na dormência primária a planta mãe libera a semente dormente no solo, isso envolve o balanço entre substâncias inibidoras e promotoras da germinação, como os fitormônios (BEWLEY; BLACK, 1994). Na dormência secundária, a semente só pode ser induzida após a dispersão, com dormência fisiológica não profunda, estando frequentemente associada aos ciclos de dormência no banco de semente no solo (FINCH-SAVAGE; LEUBNER-METZGER, 2006). Conforme as condições ambientais uma semente com dormência primária superada pode não vir a germinar em decorrência da secundária (CARDOSO, 2009).

Segundo Orzari et al. (2013), a germinação das sementes é o resultado do balanço entre condições ambientais favoráveis e características intrínsecas das sementes, que compreendem uma sequência de atividades metabólicas. Resultando na retomada do crescimento do embrião originando uma plântula. Dentre os fatores ambientais que influenciam no processo germinativo estão a luz e a temperatura (DIAS et al., 2010; LUZ et al., 2014).

A superação da dormência das sementes pode ser realizada por meios físicos e químicos. Destaca-se a estratificação a frio, choque térmico, irradiação, ácido giberélico e nitrato de potássio como os principais métodos para superar a dormência de sementes da espécie *Solanum torvum*, alcançando 60% de germinação logo três dias após a aplicação do tratamento (RANIL et al., 2015). Para Ladeira (1997), a lavagem das sementes em água corrente constitui uma importante forma de retirada de substâncias que impede a germinação de *S. americanum*, caracterizando a dormência das suas sementes.

A maioria das sementes de espécies vegetais germina tanto na presença quanto na ausência de luz. Porém, espécies fotoblásticas positivas apresentam exigência em luminosidade para germinação das sementes já que possuem ligação a um tipo de dormência (SILVA et al., 2009). A luz pode ocasionar uma alteração no fluxo das substâncias nas células e na permeabilidade das membranas, contribuindo assim para a quebra da dormência das sementes. Esse mecanismo está ligado à ativação do sistema de fitocromos (HILHORST; KARSSSEN, 1988). No entanto, o tempo de exposição necessário para estimular a germinação pode variar de acordo com a espécie (SILVA et al., 2009).

Algumas espécies de plantas daninhas foram avaliadas quanto a temperatura ótima para a germinação. Para a buva, por exemplo, a temperatura ótima foi de 20°C (VIDAL et al., 2007)

e para a trapoeraba (*Commelina benghalensis*) foi de 25°C (DIAS et al., 2010), já em *S. americanum* a temperatura alternada constitui uma importante forma de aumentar a porcentagem de germinação (LADEIRA, 1997). Desse modo, assim que for superada a dormência e as condições ambientais proporcionam uma faixa ideal de temperatura, há aumento significativo na germinação (VIVIAN et al., 2008).

Os herbicidas mais utilizados para controle de plantas daninhas em culturas de inverno no Sul do Brasil são principalmente os inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS), como o iodosulfuron, o metsulfuron-methyl e pyroxsulam. Esses herbicidas se destacam pelo baixo custo de aquisição e baixas doses de aplicação (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). Para dessecação das plantas daninhas e manejo das culturas de verão destaca-se o emprego do herbicida glyphosate inibidor da síntese de aminoácidos de cadeia aromática, tirosina, triptofano e fenilalanina (CONSTANTIN; INOUE, 2011). Porém, devido seu amplo uso na agricultura nos últimos anos, os casos de resistência aumentaram rapidamente com mais de 10 casos de resistência de plantas daninhas foram comprovados no Brasil (HEAP, 2019).

No atual cenário de manejo de plantas daninhas, encontram-se problemas relacionados a resistência de plantas daninhas a herbicidas. Essa característica é explicada pela sobrevivência e capacidade de recuperação de uma espécie após ser submetida a uma dose de herbicida que seria letal para os outros biótipos da mesma espécie (VARGAS et al., 2009). Para Sawicki (1987), a resistência consiste em uma mudança genética nas espécies de plantas daninhas, proporcionada pela seleção imposta dos herbicidas usados normalmente em doses recomendadas. Existem atualmente 479 casos de plantas daninhas resistentes a herbicidas no mundo, de modo que as plantas daninhas já possuem resistência em 23 dos 26 locais de ação conhecidos de herbicidas e a 163 herbicidas diferentes (HEAP, 2019).

O estágio de desenvolvimento das plantas daninhas é uma característica importante para a obtenção de sucesso no controle químico, sendo que aplicações de herbicidas em estádios avançados de desenvolvimento diminuem a eficiência no controle (SANTOS et al., 2014). Moreira et al. (2010), estudaram a influência do estágio de desenvolvimento de *Conyza bonariensis* e *C. canadensis*, constataram que quanto mais tarde for a aplicação dos herbicidas maior a chance de desenvolver brotações laterais, prejudicando a eficiência no controle da espécie.

Entre as alterações causadas pela resistência está o aumento da dose necessária para controlar estes biótipos, pode-se obter através de curvas de dose-resposta, as quais permitem determinar o C50 (controle de 50%) e o GR50 (redução de 50% da matéria seca), bem como o fator de resistência (FR) dos biótipos. Esse estudo vem ganhando destaque devido ao crescente

número de casos de “escape” de plantas daninhas nas culturas agrícolas. Alguns trabalhos relataram a resistência de nabo *Raphanus sativus* (CECHIN et al., 2016), *Amaranthus palmeri* (GOLÇALVES NETTO et al., 2016) e *Eleusine indica* (VARGAS et al., 2013; JALALUDIN; POWLES, 2014).

## REFERÊNCIAS

- AGROFIT. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários**. Disponível em: <[http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/ap\\_planta\\_detalhe\\_cons?p\\_id\\_planta\\_daninha=1238](http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/ap_planta_detalhe_cons?p_id_planta_daninha=1238)>. Acesso em: 08 maio. 2019.
- BARCELLOS JÚNIOR, L. H. et al. Phytosociology of weeds in bean crops with different herbicides control. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, p. 221-231, 2016.
- BEWLEY, J. D. Seed germination and dormancy. **Plant Cell**, Waterbury, v. 9, p. 1055-1066, 1997.
- BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. Ed. 2, New York: Plenum Press, 1994, 445 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.
- CARDOSO, I. S. et al. Weed community composition in different agro-systems. **Comunicata Scientiae**, v. 8, p. 139-148, 2017.
- CARDOSO, V. J. M. Conceito e classificação da dormência em sementes. **Oecologia Brasiliensis**, São Paulo, v. 13, p. 619-630, 2009.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Ed. 4, Jaboticabal: Funep, São Paulo, 2000. 588 p.
- CECHIN, J. et al. Resistance of radish biotypes to iodosulfuron and alternative control. **Planta Daninha**, v. 34, p. 151-160, 2016.
- CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba, PR: Omnipax, 2011. 348 p.
- DIAS, A. C. R et al. Competitividade de alexandergrass ou Bengala com feijão de soja. **Planta Daninha**, v. 28, p. 515-522, 2010.
- EGLEY, G. H. **Seed germination in soil: dormancy cycles**. In: KIGEL, J.; GALILI, G. (Eds.). Seed development and germination. New York: Marcel Dekker Incorporation, 1995, 529-543 p.
- FINCH-SAVAGE, W. E.; LEUBNER-METZGER, G. L. Seed dormancy and the control of germination. **New Phytologist**, v. 171, p. 501-523, 2006.

- GAZOLLA-NETO, A. et al. Ação de níveis de luminosidade sobre o crescimento de plantas de maria-pretinha (*Solanum americanum* Mill.). **Revista Brasileira de Biociência**, v. 11, p. 88-92, 2013.
- GONÇALVES NETTO, A. et al. Resistência múltipla de *Amaranthus palmeri* aos herbicidas inibidores da ALS e EPSPS no estado do Mato Grosso, Brasil. **Planta Daninha**, v. 34, p. 581-588, 2016.
- GROTH, D. Caracterização morfológica das sementes e plântulas de seis espécies invasoras do gênero *Solanum* L. **Acta botânica brasileira**, v. 3, p. 25-48, 1989.
- HEAP, I. A. **The International Survey of Herbicide Resistant Weeds**. Disponível: <ww.weedscience.org>. Acesso em: 18 de maio, 2019.
- HILHORST, H. W.; KARSSSEN, C. M. Dual Effect of light on the gibberellin- and nitrate-stimulated seed germination of *Sisymbrium officinale* and *Arabidopsis thaliana*. **Plant Physiology**, v. 86, p. 591-597, 1988.
- JALALUDIN, Q. Y. A.; POWLES, S. B. Multiple resistance across glufosinate, glyphosate, paraquat and ACCase-inhibiting herbicides in an *Eleusine indica* population. **Weed Research**, Inra, v. 55, p. 82-89, 2014.
- JENNIFER, M. E.; JAMES, A. C. **Black Nightshades, *Solanum nigrum* L. and Related Species**. IPGRI, Italy. 1997. Acesso em: 23 maio, 2017.
- LADEIRA, A. M. Dormência em sementes de maria-pretinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, p. 1317-1323, 1997.
- LORENZI, H. **Manual de Identificação e de Controle de Plantas Daninhas: plantio direto e convencional**. Ed. 7, Plantarum, Nova Odessa, 2017, 338 p.
- LUZ, F. N. et al. Interferência de luz, temperatura, profundidade de semeadura e palha na germinação e emergência de *Murdannia nidiflora*. **Comunicata Scientiae**, v. 5, p. 26-33, 2014.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, p. 176-177, 1962.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005, 495 p.
- MARQUES, L. J. P. et al. Levantamento fitossociológico e interferência das plantas daninhas na cultura da berinjela. **Planta Daninha**, v. 34, p. 299-308, 2016.
- MOREIRA, H. J. da C.; BRAGANÇA, H. A. B. N. **Manual de identificação de plantas infestantes – Cultivos de verão**, Campinas, SP. 2010, 650 p.
- MOREIRA, M. S. et al. Herbicidas alternativos para o controle de biótipos de *Conyza bonariensis* e *C. Canadensis* resistentes ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, v. 28, p. 167-175, 2010.

ORZARI, I. et al. Germinação de espécies da família Convolvulaceae sob diferentes condições de luz, temperatura e profundidade de semeadura. **Planta Daninha**, v. 31, p. 53-61, 2013.

PAZUCH, D. et al. Superação da dormência em sementes de três espécies de *Ipomoea*. **Ciência Rural**, v. 45, p. 192-199, 2015.

RANIL, R. H. G. et al. Improving seed germination of the eggplant rootstock *Solanum torvum* by testing multiple factors using an orthogonal array design. **Scientia Horticulturae**, v. 193, p. 174-181, 2015.

SALVADOR, F. L. et al. Efeito da luz e da quebra de dormência na germinação de sementes de espécies de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 25, p. 303-308, 2007.

SALVADOR, F. L. **Germinação e emergência de plantas daninhas em função da luz e da palha de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2007. 84 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

SAWICKI, R. M. **Definition, detection and documentation of insecticide resistance**. In: FORD, M. G.; HOLLOMAN, D. W.; KHAMBAY, B. P. S.; SAWICKI, R. M. Combating resistance to xenobiotics: biological and chemical approaches. Chichester: Ellis Horwood, 1987. 105-117 p.

SANTOS, F. M. et al. Estádio de desenvolvimento e superfície foliar reduzem a eficiência de chlorimuron-ethyl e glyphosate em *Conyza sumatrensis*. **Planta Daninha**, v. 32, p. 361-375, 2014.

SANTOS, W. F. et al. Weed phytosociological and floristic survey in agricultural areas of southwestern Goiás region. **Planta Daninha**, v. 34, p. 65-80, 2016.

SBCPD - SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: SBCPD, 1995. 42 p.

SCHWANKE, A. M. L. et al. Avaliação de germinação e dormência de ecótipos de arroz-vermelho. **Planta Daninha**, v. 26, p. 497-505, 2008.

SILVA, J. L. et al. Germinação de sementes de *Chloris barbata* (L.) Sw. em função da luz. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 7, p. 23-34, 2009.

SOARES, M. B. B. et al. Comunidade infestante e área de reforma de cana crua submetida a diferentes manejos. **Planta Daninha**, v. 34, p. 91-98, 2016.

VARGAS, L. et al. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas**. In: AGOSTINETTO, R.; VARGAS, L. (Ed). Resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil. Passo Fundo: Berthier, 2009. 350 p.

VARGAS, L. et al. Low level resistance of goosegrass (*Eleusine indica*) to glyphosate in Rio Grande do Sul-Brazil. **Planta Daninha**, v. 31, p. 677-686, 2013.

VIDAL, R. A. et al. Impacto da temperatura, irradiância e profundidade das sementes na emergência e germinação de *Conyza bonariensis* e *Conyza canadensis* resistentes ao glifosate. **Planta Daninha**, v. 25, p. 309-315, 2007.

VIVIAN, R. et al. Dormência em sementes de plantas daninhas como mecanismo de sobrevivência – breve revisão. **Planta Daninha**, v. 26, p. 695-706, 2008.

## 2 CAPÍTULO I

### FATORES QUÍMICOS E AMBIENTAIS NA GERMINAÇÃO DE *Solanum americanum* Mill.

#### RESUMO

*Solanum americanum* é uma espécie de planta daninha presente em lavouras de inúmeras culturas de interesse agrônomo, destaca-se pela alta produção de frutos e sementes e pelo escalonamento de sua germinação. O objetivo do trabalho foi avaliar o comportamento germinativo das sementes de *S. americanum* sob influência de fatores químicos e ambientais. Para isso, foram conduzidos cinco experimentos em laboratório, simulando temperaturas fixas e alternadas, a influência da lavagem das sementes, concentração e tempo de exposição a agentes superadores da dormência e a influência da profundidade de semeadura e cobertura de solo sob a emergência das plântulas. As variáveis avaliadas foram; germinação, índice de velocidade de germinação das sementes (%) e emergência (%) das plântulas para o experimento que se avaliou a profundidade de semeadura e a influência da cobertura de solo. Os resultados indicam que a alternância da temperatura é a principal forma de superação de dormência de sementes de *S. americanum*, porém a utilização dos agentes químicos auxilia no aumento da germinação e no índice de velocidade de germinação das sementes. Não há aumento na germinação com a lavagem das sementes de *S. americanum*. A concentração de 0,84 g L<sup>-1</sup> para o ácido giberélico (AG<sub>3</sub>) e o tempo de exposição de 21,22 h em nitrato de potássio (KNO<sub>3</sub>) a 0,2% apresentaram a máxima eficiência técnica na germinação das sementes de *S. americanum*, demonstrando que ocorre um incremento na germinação com a utilização dos agentes químicos. Para a profundidade de semeadura e o efeito da cobertura a germinação ocorre quando as sementes permanecem na superfície do solo e sem a presença de cobertura vegetal.

**Palavras-chave:** KNO<sub>3</sub>. AG<sub>3</sub>. Temperaturas alternadas. Dormência de sementes. Lavagem de sementes.

## 2.1 INTRODUÇÃO

*Solanum americanum* Mill. é uma espécie pertencente à família Solanaceae, sendo uma planta daninha comumente encontrada em várias regiões do mundo infestando de diferentes culturas agrícolas (SANTOS et al., 2016; SCHUSTER et al., 2016). Pode ser confundida muito facilmente com *S. nodiflorum* ou *S. nigrum*, porém no Brasil ocorre predomínio da espécie *S. americanum*, apresentando características locais que difere da mesma espécie presente em outros países (MANOKO et al., 2007).

Considerada uma espécie herbácea de 40 a 70 cm de altura, com folhas ovaladas-lanceoladas e frutos do tipo baga que possuem entre 24 e 70 sementes de 0,8 a 1,5 mm (EDMONDS; CHWEYA, 1997; LORENZI, 2017). Frutos verdes são tóxicos e quando maduros apresentam benefícios a saúde, seus níveis de glicoalcalóides são comparados inclusive aos encontrados na berinjela (YUAN et al., 2018).

A espécie *S. americanum* é competitiva com as culturas de interesse econômico, está presente em culturas como o milho, soja (SANTOS et al., 2016), cana-de-açúcar (SOARES et al., 2016), berinjela (MARQUES et al., 2016) e pastagens (SCHUSTER et al. 2016), demonstrando sua ampla diversidade de ambientes a qual pode se desenvolver. Gazolla-Neto et al. (2013), estudaram em ambiente estressor o comportamento dessa planta daninha e constataram que níveis de luminosidade influenciam o crescimento e a plasticidade de plantas de *S. americanum*, contudo o desempenho na alocação de matéria seca em frutos foi similar nos diferentes níveis.

A ampla diversidade de ambientes e culturas que a planta daninha infesta é explicada em boa parte pela dormência presente nas sementes. A dormência de sementes, característica de algumas espécies vegetais, preserva de certa forma a perpetuação da espécie, pois, favorece a germinação escalonada (PAZUCH et al., 2015). Após a maturação e dispersão das sementes, a dormência é uma forma de defesa contra as variações do ambiente mesmo quando a vegetação é completamente eliminada (PAZUCH et al., 2015, PENFIELD, 2017).

No caso da espécie *S. americanum* alguns fatores ambientais como alternância de temperatura e presença de luz podem superar grande parte da dormência das sementes (LADEIRA et al., 1997). Porém, quando não é possível controlar esses fatores surge a necessidade de conhecimento mais específico sobre fatores externos que podem auxiliar o processo envolvido na germinação e emergência das plântulas. Alguns agentes químicos como ácido giberélico (AG<sub>3</sub>) e nitrato de potássio (KNO<sub>3</sub>) atuam na sinalização para o processo germinativo de sementes dormentes (YAMAGUCHI et al., 2008; TANG et al., 2012; TAIZ et al., 2017; NONOGAKI; NONOGAKI, 2017; DUERMAYER et al., 2018). Estudos estes,

justificados tanto pela necessidade na indução da germinação para pesquisas posteriores, quanto para inibição ou controle da espécie mediante técnicas que dispensam o uso de herbicidas.

As hipóteses que foram testadas incluem a superação e aceleração no processo germinativo das sementes de *S. americanum* com a utilização de agentes químicos e o efeito negativo na emergência das sementes, proporcionado pela cobertura de solo e o aumento na profundidade de semeadura. Nesse contexto, o objetivo do estudo foi avaliar o comportamento germinativo das sementes de *S. americanum* sob influência de fatores químicos e ambientais.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório Didático e de Pesquisa em Sementes (LDPS) do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em Santa Maria - RS.

### 2.2.1 Material vegetal

Para estes estudos foram utilizadas sementes coletadas manualmente nos meses de março e abril de 2017 em Santa Maria - RS (29° 42' 55" S e 53° 44' 13" O), em áreas de pousio, próximas a lavouras de soja. Foram coletados os frutos com coloração preta e que se desprendiam facilmente da planta mãe. Os frutos foram coletados de duas plantas matrizes, identificadas com M1 e M2.

Após a coleta, foi realizada a limpeza manual das sementes. As sementes foram separadas das impurezas, lavadas em água corrente, secas à sombra por cinco dias, e armazenadas em local seco em temperatura ambiente.

### 2.2.2 Protocolo geral dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos em câmara de germinação do tipo B.O.D (Biochemical Oxygen Demand) com fotoperíodo de 12 h de luz, em temperaturas fixas e alternada, dependendo do objetivo do experimento. Em todos os experimentos foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Cada repetição foi composta por 50 sementes. Os testes foram conduzidos em caixa gerbox, sob três folhas de papel germitest umedecidos com água destilada em quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco (Brasil, 2002).

Foi considerada semente germinada aquela que teve a radícula com mais de dois milímetros, sendo as avaliações da germinação realizadas diariamente (BRASIL, 2009). A contagem da

germinação foi realizada durante 16 dias, segundo dois aspectos: o percentual e o índice de velocidade de germinação (IVG) utilizando a fórmula proposta por Maguire (1962), como segue:

$$IVG = \left[ \frac{G_1}{N_1} + \frac{G_2}{N_2} + \frac{G_3}{N_3} + \dots + \frac{G_n}{N_n} \right]$$

Onde,  $G_1, G_2, G_3, \dots, G_n$  são o número de sementes germinadas em cada contagem e  $N_1, N_2, N_3, \dots, N_n$  corresponde ao número de dias da semeadura a cada contagem. Germinação (G): calculada pela fórmula  $G = (N \cdot 2 / 100) \times 100$ , em que: N = número de sementes germinadas ao final do teste.

A emergência das sementes de *S. americanum* foi avaliada a cada 7 dias, contabilizadas ao final de 28 dias após a semeadura.

### 2.2.3 Efeito da temperatura e agentes químicos

Para a investigação do efeito das temperaturas e sua interação com agentes químicos foi conduzido um experimento em esquema bifatorial 3 x 8, no qual o fator A foi composto pela utilização do agente químico  $AG_3$  (99% de pureza -  $1,2 \text{ g L}^{-1}$ ),  $KNO_3$  (0,2%  $24 \text{ h}^{-1}$ ) e uma testemunha, somente a lavagem das sementes. Já no fator B alocou-se as temperaturas fixas de 5, 10, 15, 20, 25, 30 e  $35^\circ\text{C}$ , além de uma temperatura alternada 20 –  $30^\circ\text{C}$  (12 h). Todos os testes contaram com a presença de Luz de 12 h. As sementes utilizadas foram provenientes da planta matriz M1. As variáveis avaliadas foram germinação aos 16 dias após a semeadura e o índice de velocidade de germinação das sementes, conforme metodologia descrita no “Protocolo geral dos experimentos”.

### 2.2.4 Efeito da lavagem de sementes

Foi avaliado o efeito da lavagem das sementes de *S. americanum* e a influência dos agentes químicos de superação da dormência. Foi conduzido um experimento em esquema fatorial 3 x 2. No fator A alocaram-se os 3 níveis,  $1,2 \text{ g L}^{-1}$  de  $AG_3$ , 24 h de imersão no  $KNO_3$  e uma testemunha, sem agente químico. Já o fator B foi composto pela lavagem ou não das sementes em água corrente. As sementes utilizadas foram provenientes da planta matriz M2. As variáveis avaliadas foram germinação de sementes no período de 16 dias e o índice de velocidade de germinação, conforme metodologia descrita no “Protocolo geral dos experimentos”.

### 2.2.5 Efeito de agentes químicos

Foram realizados dois experimentos com agentes químicos, no primeiro foram utilizadas seis concentrações de  $AG_3$  (0,0; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 1,25 g L<sup>-1</sup>). As sementes permaneceram imersas durante 48 h e após esse período realizou-se a semeadura. No segundo experimento foi utilizado  $KNO_3$  na concentração de 0,2%, no qual as sementes foram alocadas em béquer contendo a solução. Os tratamentos consistiram em períodos de imersão (0, 6, 12, 18 e 24 h). As sementes utilizadas foram provenientes da planta matriz M1. As variáveis avaliadas foram germinação das sementes no período de 16 dias e o índice de velocidade de germinação, conforme metodologia descrita no “Protocolo geral dos experimentos”.

### 2.2.6 Efeito da cobertura do solo e da profundidade de semeadura

O experimento foi conduzido em esquema bifatorial 6 x 2. No fator A foi alocado seis profundidades de semeadura (0,0; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; e 4,0 cm) e no fator B com e sem a utilização de cobertura vegetal de *Avena strigosa* (6 t ha<sup>-1</sup> de massa seca).

As sementes foram semeadas em vasos plásticos com volume de 0,5 L com solo proveniente de local sem histórico de aplicação de herbicidas e com textura de 55,9% de argila, 27,1% silte e 17,0% de areia, pH de 5,0 e matéria orgânica de 2,3%. As sementes utilizadas foram provenientes da planta matriz M1. A única variável avaliada foi a emergência das plântulas no final de 28 dias após a semeadura, conforme metodologia descrita no “Protocolo geral dos experimentos”.

### 2.2.7 Análises estatísticas

Para todos os experimentos os dados foram submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade das variâncias, e após sua comprovação foi realizada a análise de variância pelo teste F. Em sendo significativo foi aplicado o teste de agrupamento de médias de Scott Knott para o fator qualitativo e regressões lineares ou não-lineares para o fator quantitativo. Todos os testes foram realizados utilizando-se a probabilidade de erro de 5%.

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.3.1 Efeito da temperatura e agentes químicos

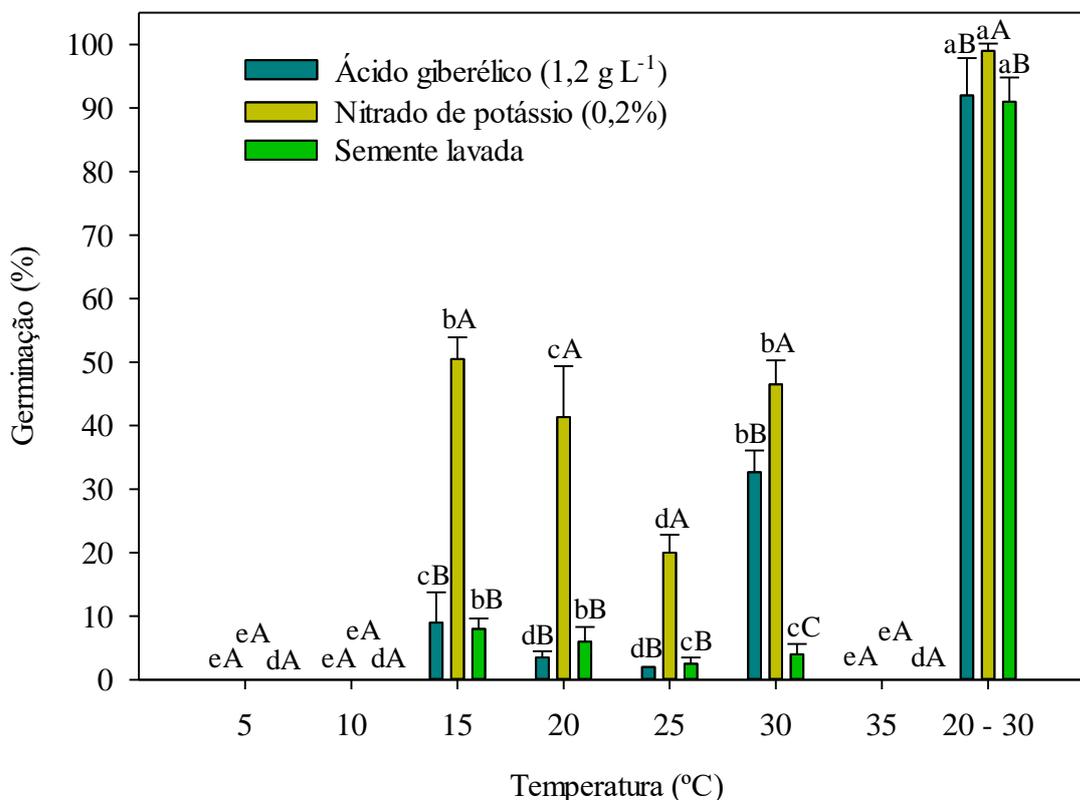
Houve interação entre os fatores agentes químicos e temperaturas para ambas as variáveis avaliadas (Figuras 1 e 2).

A maior porcentagem de germinação das sementes de *S. americanum* foi obtida na alternância de temperatura e incremento quando exposta por 24 h em KNO<sub>3</sub> (Figura 1). As temperaturas tendem a serem alternadas durante o período noturno e diurno, principalmente na superfície do solo quando o mesmo não apresenta cobertura vegetal (LIU et al., 2013). Possivelmente este fato beneficia a germinação de *S. americanum*.

Já em temperaturas fixas a germinação não ultrapassou 50%, mesmo com a utilização de agentes de superação de dormência (Figura 1). As temperaturas em que não proporcionaram germinação das sementes foram 5, 10 e 35 °C, consideradas, portanto, temperaturas que não possibilitam a mobilização de reservas ou podendo estar relacionada a degradação de proteínas, impedindo a germinação das sementes. Zhao et al. (2017) ao avaliarem o efeito da temperatura na germinação de *Alopecurus aequalis* obtiveram resultados semelhantes, com temperaturas fixas de 5, 10, 30 e 35 °C.

Sob temperaturas fixas ou alternada, com exceção das extremas fixas (5, 10 e 35°C), o KNO<sub>3</sub> é o melhor agente químico de superação de dormência de sementes de *S. americanum*. Além de possuir função nutricional e fazer parte da estrutura de proteínas e aminoácidos o KNO<sub>3</sub> apresenta função de estimulador da germinação das sementes, sugerindo que estes sinais ambientais distintos (temperatura, luz e escarificação) compartilham os mesmos alvos (DUERMEYER et al., 2018).

Na comparação entre AG<sub>3</sub> e a testemunha, todos os tratamentos apresentaram germinação similar, a exceção da temperatura de 30°C. As demais temperaturas, fixas ou alternada, não apresentaram diferença entre os dois tratamentos (Figura 1).

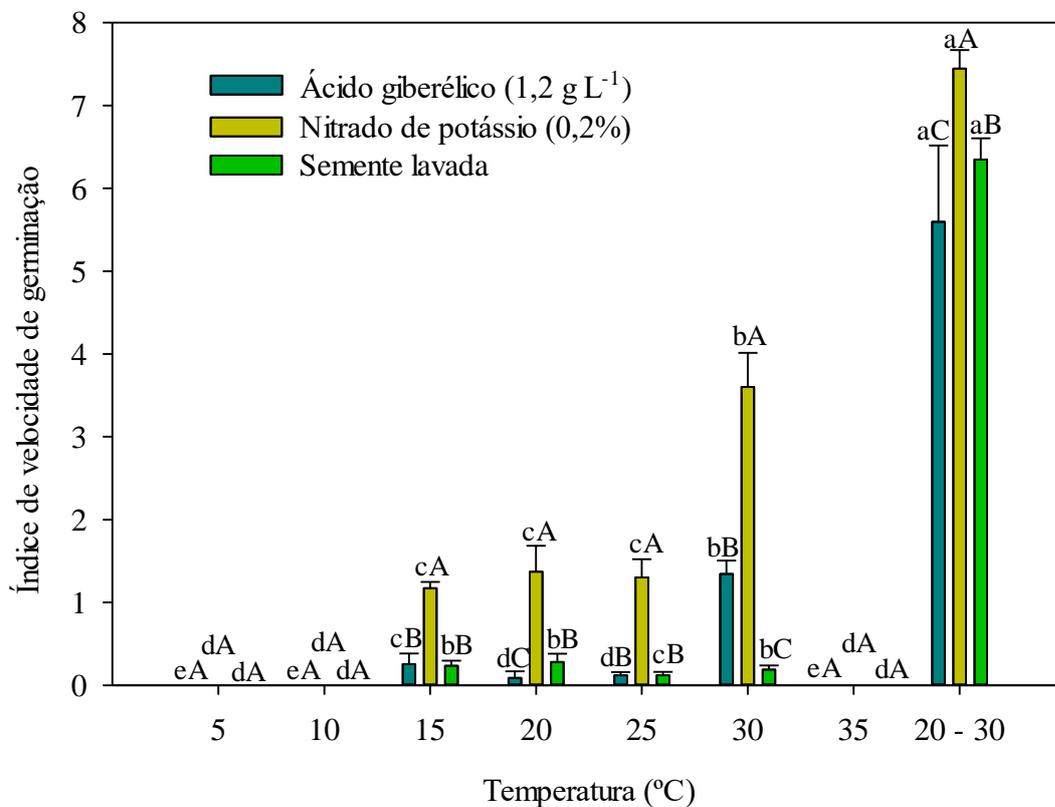


**Figura 1** - Germinação (%) de *Solanum americanum* em função de agentes de superação de dormência e temperaturas. Os dados são apresentados como as médias e desvio padrão de cinco repetições biológicas independentes. Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre os agentes químicos e minúsculas entre as temperaturas, pelo teste Scott Knott, a 0,05 de probabilidade de erro.

O  $\text{KNO}_3$  aumenta o índice de velocidade de germinação sete vezes em média para as temperaturas fixas (15, 20, 25 e 30 °C) e 1,25 vezes para a temperatura alternada, comparando com a média dos tratamentos com  $\text{AG}_3$  e semente lavada (Figura 2). Os compostos nitrogenados podem promover a superação da dormência das sementes, pela alteração na via metabólica, sendo normalmente usados como aceleradores de germinação (TANG et al., 2008; YAMAGUCHI et al., 2008; TANG et al., 2012).

O maior índice de velocidade de germinação ocorreu para a temperatura alternada, independentemente da utilização do agente químico ou não. Temperaturas fixas se destacam pela baixa velocidade de germinação (Figura 2). Esse mesmo resultado foi observado para a espécie *Alopecurus aequalis*, na qual temperaturas de 5, 10 e 30 °C retardaram a germinação e na temperatura de 35 °C ocorreu a inibição total no processo germinativo (ZHAO et al., 2017).

*S. americanum* é dependente dessa alternância da temperatura para seu estabelecimento, o que permite maior eficiência de controle em programas de manejo baseados no comportamento biológico das plantas daninhas. Para Liu et al. (2013), sementes que apresentam massa <1,0 mg obtiveram resposta positiva a alternância de temperatura, independentemente da amplitude. Já espécies com massa de semente >2,0 mg, predominou maior germinação com temperatura fixa. Os mesmos autores destacam que um grupo de espécies anuais/bianuais também demonstram maior germinação com temperatura alternadas (caso da espécie *S. americanum*, com massa média de sementes de 0,2 mg).



**Figura 2** - Índice de velocidade de germinação (%) de *Solanum americanum* em função de temperaturas e agentes de superação de dormência. Os dados são apresentados como as médias e desvio padrão de cinco repetições biológicas independentes. Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre os agentes químicos e minúsculas entre as temperaturas, pelo teste Scott Knott, a 0,05 de probabilidade de erro.

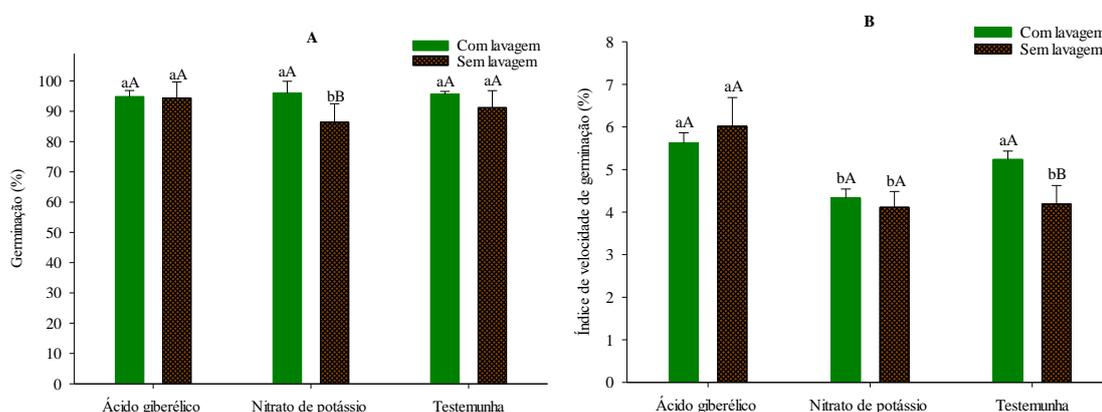
### 2.3.2 Lavagem das sementes

Houve de interação entre os fatores para esse experimento no qual testou-se a lavagem das sementes e os agentes químicos (Figura 3).

Para os agentes químicos observou-se que não houve influência dos mesmos na germinação das sementes lavadas. Ocorreu diminuição quando as sementes não passaram pelo processo de lavagem e foram embebidas na solução de nitrato de potássio, reduzindo 8 e 5% comparando-se o ácido giberélico e a testemunha, respectivamente (Figura 3A). As sementes não lavadas apresentam resíduos mucilaginosos capazes de alterar o processo germinativo de algumas espécies de plantas, principalmente reduzindo a germinação em algumas temperaturas fixas (BHATT et al., 2016).

A imersão das sementes na solução de ácido giberélico a  $1,2 \text{ g L}^{-1}$  promoveu o aumento do índice de velocidade de germinação quando não realizada a lavagem das sementes. Sabe-se que o AG<sub>3</sub> ativa o processo de germinação com maior rapidez, sendo utilizado em alguns casos com agente de superação da dormência das sementes (YAMAGUCHI, 2008; PENFIELD, 2017). Espécies de plantas daninhas como *Echium plantagineum*, *Poa annua*, *Alopecurus aequalis* e *Stellaria aquatica* (TANG et al., 2012; ROSO et al., 2017), ornamentais como *Ramonda serbica* e *Ramonda nathaliae* (GASHI et al., 2012), também aumentaram o índice de germinação com a utilização de AG<sub>3</sub>.

Sementes lavadas, quando não submetidas à imersão de agentes químicos aumentam a velocidade de germinação comparadas as sementes não lavadas, esse resultado possivelmente é explicado pelo fato de as sementes apresentarem uma substância no seu entorno (hidrofóbica), característica das Solanáceas, capaz de reduzir a passagem de água e retardar o processo de germinação. Ladeira (1997), constataram que sementes de *S. americanum* não germinam em condições controladas quando as mesmas não são lavadas, obtendo resultados diferentes dos encontrados no presente estudo.

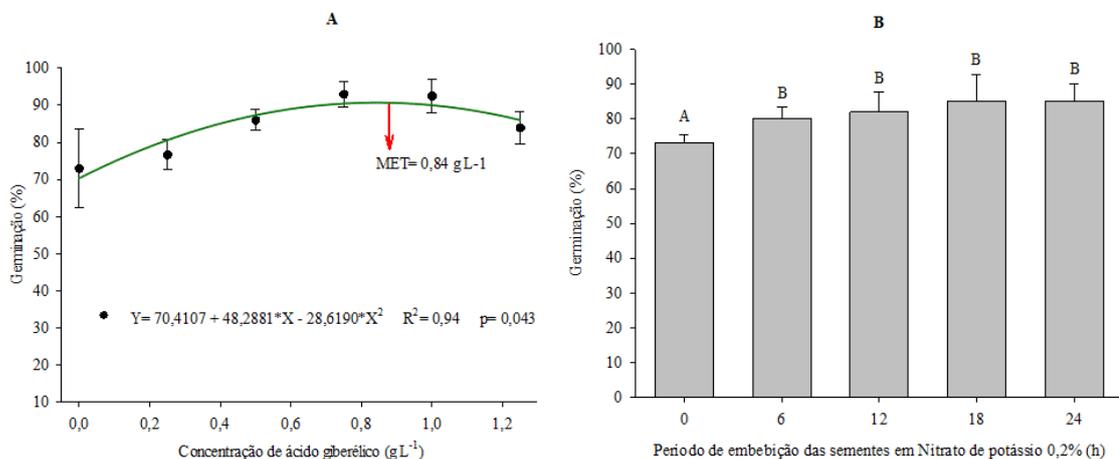


**Figura 3** - Germinação e índice de velocidade de germinação de *Solanum americanum* em função da lavagem das sementes e dos agentes químicos de superação de dormência. Os dados são apresentados como as médias e desvio padrão de cinco repetições biológicas independentes. Médias seguidas de mesma letra maiúscula não difere os níveis do fator lavagem de sementes e minúsculas os agentes químicos, baseados na comparação de médias pelo teste de Scott Knott, a 0,05 de probabilidade de erro.

### 2.3.3 Métodos químicos de superação da dormência

Nos experimentos que foram testadas as concentrações de  $AG_3$  e o tempo de imersão em  $KNO_3$ , houve efeito significativo para a germinação e comprimento da parte aérea das plantas, já o índice de velocidade de germinação para  $AG_3$  não foi observado diferença (Figuras 4, 5 e 6).

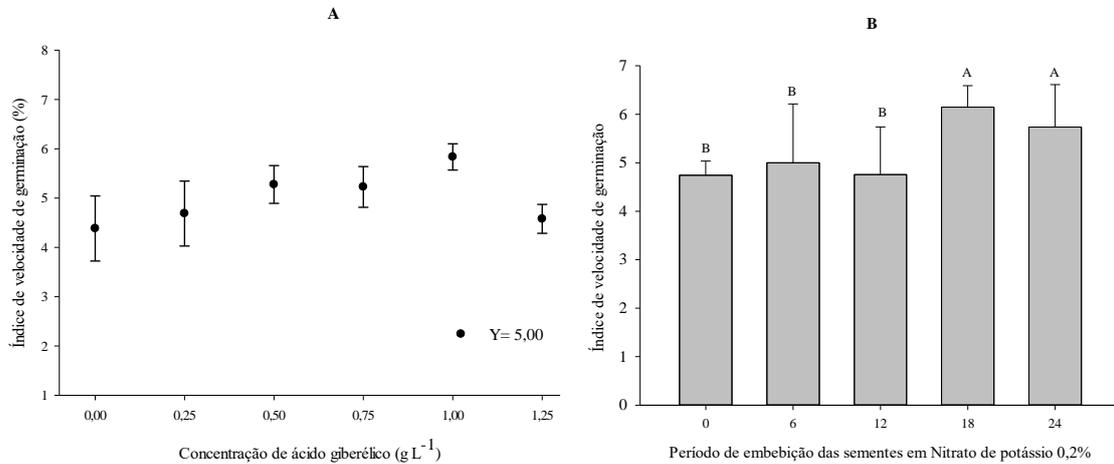
A máxima eficiência técnica obtida nas doses crescentes de  $AG_3$  foi de  $0,84 \text{ g L}^{-1}$ , e para o  $KNO_3$  o período a partir de 6 horas em embebição já foi suficiente para aumentar a germinação das sementes de *S. americanum*, respectivamente (Figura 4A). Compostos nitrogenados e o  $AG_3$  já foram citados como indutores de germinação de semente dormentes (TANG et al., 2008, YAMAGUCHI et al., 2008, TANG et al., 2012, GASHI et al., 2012, ROSO et al., 2017)



**Figura 4** - Germinação de sementes de *Solanum americanum* em função da concentração de  $AG_3$  (A) e do período de imersão de  $KNO_3$  (B). MET= máxima eficiência técnica. Os dados são apresentados como as médias e desvio padrão de quatro repetições biológicas independentes, a 0,05 de probabilidade de erro.

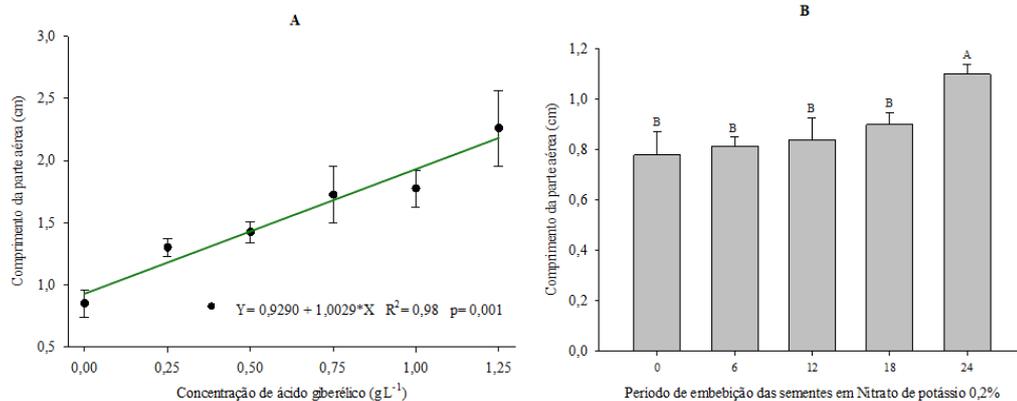
Não foi observado diferença no índice de velocidade de germinação com o aumento da concentração de  $AG_3$  (Figura 5A). Para o experimento com  $KNO_3$  o índice foi superior somente nos tempos de 18 e 24 h em comparação com os demais tempos de exposição com o agente

químico. Para a espécie *Echium plantagineum* o aumento no índice de velocidade de germinação foi ainda maior, cerca de 47% quando se comparou o período de 6 com 24 h de embebição (ROSO et al., 2017).



**Figura 5** - Índice de velocidade de germinação (%) de sementes de *Solanum americanum* em função da concentração de AG<sub>3</sub> (A) e do período de imersão de KNO<sub>3</sub> (B). Os dados são apresentados como as médias e desvio padrão de quatro repetições biológicas independentes, a 0,05 de probabilidade de erro.

O aumento da concentração de AG<sub>3</sub> e o tempo de imersão no KNO<sub>3</sub> foram determinantes no crescimento da parte aérea de plântulas de *S. americanum* (Figuras 6A e 6B). Esse aumento linear na altura de plantas com o aumento da concentração de AG<sub>3</sub> é devido sua funcionalidade, sendo conhecido como hormônio vegetal do crescimento, promovendo o alongamento celular (YAMAGUCHI, 2008; TAIZ et al., 2017). Para o KNO<sub>3</sub>, o aumento da altura da parte aérea de plântulas de *S. americanum* pode estar relacionado com o aumento do índice de velocidade de germinação (Figura 5B), pois, quanto mais rápido for a germinação da semente maior será o crescimento após certo período.



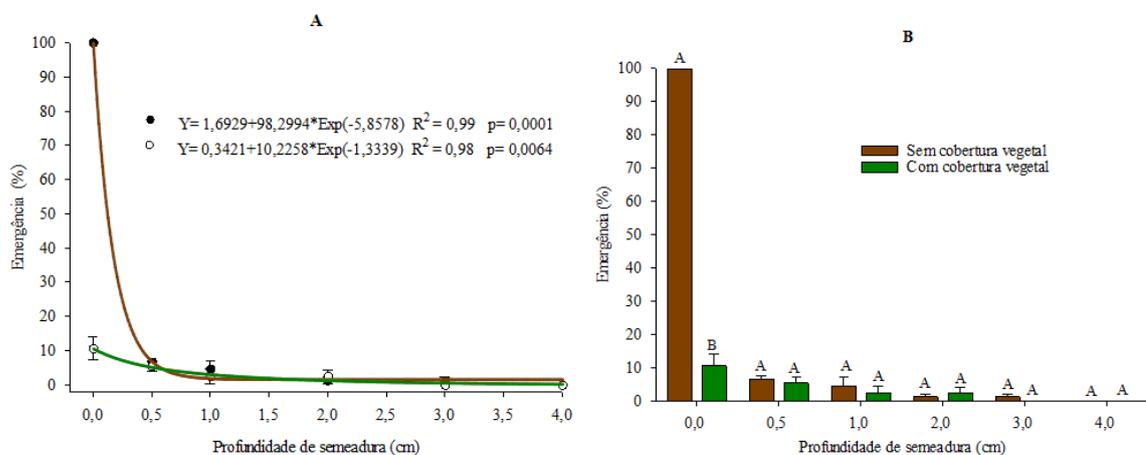
**Figura 6** - Comprimento da parte aérea (cm) de plântulas de *Solanum americanum* em função da concentração de  $AG_3$  (A) e do período de imersão de  $KNO_3$  (B). Os dados são apresentados como as médias e desvio padrão de quatro repetições biológicas independentes, a 0,05 de probabilidade de erro.

### 2.3.4 Profundidade de semeadura e cobertura vegetal de solo

Para os níveis de profundidade de semeadura a espécie *S. americanum* teve sua emergência prejudicada de forma exponencial, conforme o aumento da profundidade de deposição das sementes, em ambos os níveis de cobertura vegetal de solo (Figura 7A). Essa redução na emergência de *S. americanum* é devido, possivelmente, pelo tamanho das sementes não possuir reservas suficientes para vir a emergir em maiores profundidades. Nosratti et al. (2017), constataram que a profundidade de semeadura maior que 4 cm inibiu totalmente a emergência de *Centaurea iberica*. Outro fator importante é a presença de luz, pois, essa espécie apresenta maior germinação quando exposta a luminosidade, entretanto em condições não adequadas de temperatura (LADEIRA, 1997).

Quando na superfície do solo, as sementes de *S. americanum* reduziram aproximadamente 90% na sua emergência com a introdução simulada de 6 t ha<sup>-1</sup> de cobertura vegetal (*Avena strigosa*) sobre o solo (Figura 7B). Além de impedir a passagem da luz, a cobertura do solo proporciona um microclima diferenciado e uma barreira física, restringindo a emergência das sementes de plantas daninhas (LIU et al., 2013; ALONSO-AYUSO et al., 2018).

Não ocorreu diferença na emergência de plantas nos demais níveis de profundidade de semeadura na comparação da presença ou ausência da cobertura vegetal (Figura 7B).



**Figura 7** - Emergência (%) de *Solanum americanum* em função da profundidade de semeadura (A) e da presença ou ausência de cobertura vegetal de solo (B). Letras diferentes nas barras,

para a mesma profundidade de semeadura, indica diferença significativa das médias pelo teste t de *Student*, a 0,05 de probabilidade de erro.

## 2.4 CONCLUSÃO

Alternância de temperatura foi o principal promotor para superar a dormência de sementes de *S. americanum*. No entanto, a utilização de  $\text{KNO}_3$  aumenta a germinação e o índice de velocidade de germinação, principalmente quando as temperaturas são fixas, no intervalo de 15 a 30 °C.

A lavagem das sementes não altera a germinação, mas aumenta o índice de velocidade de germinação de *S. americanum*.

O  $\text{AG}_3$  e  $\text{KNO}_3$  aumentam a germinação de *S. americanum* até a concentração de 0,85 g L<sup>-1</sup> e 21,22 h de imersão, respectivamente. Somente o  $\text{KNO}_3$  aumentou o índice de velocidade de germinação com o aumento do tempo de imersão e ambos os agentes químicos aumentaram a altura da parte aérea das plântulas.

A maior emergência de *S. americanum* ocorre quando exposta na superfície do solo e sem a presença de cobertura vegetal.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro do projeto de doutorado do primeiro autor. Os autores declaram que não possuem conflito de interesse.

## REFERÊNCIAS

ALONSO-AYUSO, M. et al. Weed density and diversity in a long-term cover crop experiment background. **Crop Protection**, v. 112, p. 103-111, 2018.

BHATT, A.; SANTO, A.; GALLACHER, D. Seed mucilage effect on water uptake and germination in five species from the hyper-arid Arabian desert. **Journal of Arid Environments**, v. 128, p. 73-79, 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de Análise Sanitária de Sementes**. Brasília: MAPA, 2009b. 200p.

DUERMEYER, L. et al. Regulation of seed dormancy and germination by nitrate. **Seed Science Research**, v. 1, p. 1-8, 2018.

EDMONDS, J. M.; CHWEYA J. A. Black nightshades. *Solanum nigrum* L. and related species. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 15. Institute of Plant

Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, 1997.

FINCH-SAVAGE, W. E.; LEUBNER-METZGER, G. L. Seed dormancy and the control of germination. **New Phytologist**, v. 171, p. 501-523, 2006.

GASHI, B. et al. Effect of gibberellic acid and potassium nitrate on seed germination of the resurrection plants *Ramonda serbica* and *Ramonda nathaliae*. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, p. 4537-4542, 2012.

GAZOLLA-NETO, A. et al. Ação de níveis de luminosidade sobre o crescimento de plantas de maria-pretinha (*Solanum americanum* Mill.). **Brazilian Journal Bioscience**, v. 11, p. 88-92, 2013.

LADEIRA, A. M. 1997. Dormência em sementes de maria-pretinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, p. 1317-1323, 1997.

LIU, K. et al. Effect of Diurnal Fluctuating versus Constant temperatures on germination of 445 species from the eastern tibet plateau. **Plos one**. v. 8, p. 1-10, 2013.

LORENZI H. 2017. *Manual de Identificação e de Controle de Plantas Daninhas: plantio direto e convencional*. Ed. 7, Plantarum, Nova Odessa, 338p.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, p. 176-177, 1962.

MANOKO, M. L. K. et al. AFLP markers support separation of *Solanum nodiflorum* from *Solanum americanum* sensu stricto (Solanaceae). **Plant Systematics and Evolution**, v. 267, p. 1-11, 2007.

MARQUES, L. J. P. et al. Phytosociological survey and weed interference in eggplants cultivation. **Planta Daninha**, v. 34, p. 299-308, 2016.

NOSRATTI, I. et al. Seed germination and seedling emergence of Iberian starthistle (*Centaurea iberica*). **Weed Biology Management**, v. 17, p. 144-149, 2017.

NONOGAKI, M.; NONOGAKI, H. Germination. **Encyclopedia of Applied Plant Sciences**, 2nd edition, v. 1, p. 509-512, 2017.

PAZUCH, D. et al. Overcoming dormancy seed in three Ipomoea species. **Ciência Rural**, v. 45, p. 1-8, 2015.

PENFIELD, S. Seed dormancy and germination. **Current Biology**, v. 27, p. 853-909, 2017.

ROSO, R. et al. Germination of *Echium plantagineum* L. seeds submitted to dormancy overcoming and variations in temperature, light and depth of sowing. **Journal Seed Science**, v. 39, p. 262-271, 2017.

SANTOS, W. F. et al. Weed phytosociological and floristic survey in agricultural areas of southwestern Goiás region. **Planta Daninha**, v. 34, p. 65-80, 2016.

SCHUSTER, M. Z. et al. Grazing intensities affect weed seedling emergence and the seed bank in an integrated crop–livestock system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 232, p. 232-239, 2016.

SOARES, M. B. B. Weed community in a raw sugarcane renovation area submitted to different soil managements. **Planta Daninha**, v. 34, p. 91-98, 2016.

TAIZ, L. et al. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. – Porto Alegre: Artmed. 2017.

TANG, D. S. et al. Exposure to red light, temperature and exogenous gibberellins influenced germination of some winter weeds. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, p. 273-279, 2012.

TANG, D. S. et al. Role of red light, temperature, stratification and nitrogen in breaking seed dormancy of *Chenopodium album* L. **Journal of crop Science and Biotechnology**, v. 11, p. 199-204, 2008.

YAMAGUCHI, S. Gibberellin Metabolism and its Regulation. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 225-51, 2008.

YUAN, B. et al. Rapid screening of toxic glycoalkaloids and micronutrients in edible nightshades (*Solanum* spp.). **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 26, p. 751-760, 2018.

ZHAO, N. et al. Effect of Environmental factors on germination and emergence of shortawn foxtail (*Alopecurus aequalis*). **Weed Science**, v. 66, p. 47-56, 2017.

### 3 CAPÍTULO II

## **NÍVEL DE RESISTÊNCIA DE *Solanum americanum* A HERBICIDAS INIBIDORES DA ALS E EPSPs**

### **RESUMO**

Existe resistência de plantas daninhas aos herbicidas e a identificação desses casos na fase inicial é pressuposto fundamental para manter o controle dessas espécies. O objetivo do estudo foi o biótipo de *Solanum americanum* aos herbicidas iodosulfuron, metsulfuron-methyl (inibidores da ALS) e glyphosate (inibidor da enzima EPSPs). Foram coletadas sementes de 12 biótipos de *S. americanum* em locais do estado do Rio Grande do Sul e um no estado de Mato Grosso do Sul, totalizando 13 biótipos. Foram conduzidos três experimentos preliminares utilizando os herbicidas iodosulfuron e metsulfuron-methyl, os quais são aplicados no controle de plantas daninhas na cultura do trigo e o herbicida glyphosate, recomendado para controle de *S. americanum* e utilizado para dessecação e controle em culturas geneticamente modificadas. Em seguida foi testada a curva dose-resposta do herbicida glyphosate em biótipos suscetível (B1) e supostamente resistente (B2). As doses testadas foram 0D, 1/16D, 1/8D, 1/4D, 1/2D, 1D, 2D, 4D e 8D, onde D (720 g e.a ha<sup>-1</sup>) é a dose comercialmente utilizada para controle de *S. americanum*. A partir dos experimentos preliminares constatou-se que o controle de *S. americanum* com os herbicidas ALS não superou os 20%, tornando-se difícil o controle da espécie quando infesta a cultura do trigo. Já para o herbicida glyphosate houve diferença no controle dos biótipos, assim o procedimento posterior foi avaliar a curva dose-resposta dos biótipos suscetível (B1) e supostamente resistente (B2), calculando o controle de 50% dos biótipos (C<sub>50</sub>) e redução de 50% na massa seca da parte aérea (GR<sub>50</sub>) e por fim o fator de resistência (FR) de cada um dos biótipos. Para o C<sub>50</sub> e GR<sub>50</sub> o B2 apresentou FR de 1,81 e 5,42, respectivamente. Os herbicidas iodosulfuron e o metsulfuron-methyl aplicados em pós-emergência, não controlam *S. americanum*. Essa espécie não apresenta resistência ao glyphosate. Porém, evoluções em alguns biótipos podem estar ocorrendo.

**Palavras-chave:** Curva dose-resposta. C<sub>50</sub>. GR<sub>50</sub>. Maria-pretinha. Resistência ao glyphosate.

### 3.1 INTRODUÇÃO

*Solanum americanum* Mill. é uma espécie vegetal pertencente à família Solanaceae, apresenta 40 a 70 cm de altura, folhas ovaladas-lanceoladas e frutos do tipo baga que possuem entre 24 e 70 sementes de 0,8 a 1,5 mm (EDMONDS; CHWEYA, 1997). Popularmente conhecida como maria-pretinha (LORENZI, 2017). A espécie *S. americanum* foi identificada em ambientes agricultáveis e regiões do mundo todo, principalmente nas culturas da soja, milho, batata-doce, cereais de inverno e pastagens (LEWTHWAITE; TRIGGS, 2009; PIANO et al., 2013; SAHA; DATTA, 2013; FORTE et al., 2018). Nesse cenário, é destacada como importante planta daninha, causando prejuízos para as culturas agrícolas.

Nos padrões de controle de plantas daninhas, com o intenso uso de herbicidas, é inevitável o aumento de casos de resistência das plantas (HEAP, 2019, HEAP; DUKE, 2018), até mesmo para a espécie objeto desse estudo (ANDRES et al., 2017), confirmado em 2009 o primeiro caso de resistência de *S. americanum* ao herbicida paraquat em cultivos de batata-doce, na Austrália (LEWTHWAITE; TRIGGS, 2009).

Quando resistente ao herbicida glyphosate, especificamente, o mecanismo de resistência pode estar relacionado à exclusão, duplicação de genes, mutação no sítio de ação, superexpressão de EPSPs, entre outros (SAMMONS; GAINES, 2014; GHEREKHLOO, et al., 2017; CHEN et al., 2017; BRACAMONTE et al., 2017). Essa seleção de biótipos resistentes proporcionou o registro de 495 casos, a nível mundial com resistência em 23 dos 26 sítios de ação conhecidos, e a 163 herbicidas diferentes (HEAP, 2019). A projeção é aumentar os casos sem prospectiva de incremento significativo no número de herbicidas e mecanismos de ação (WESTWOOD et al., 2018).

Embora a rotação de herbicidas contribua para retardar o processo de resistência de plantas daninhas, não se caracteriza como uma alternativa definitiva, possibilitando inclusive o aumento da resistência cruzada e até mesmo múltipla (EVANS et al., 2016; HEAP; DUKE, 2018; BRUNTON et al., 2018). A solução vai ao encontro do conhecimento da espécie alvo e práticas proativas de manejo das plantas daninhas por parte dos produtores (BECKIE et al., 2011). Os casos de plantas daninhas resistentes a herbicidas são mais numerosos e frequentes em culturas como trigo, milho, arroz e soja (HEAP, 2019; WESTWOOD et al., 2018; HEAP; DUKE, 2018). Os herbicidas mais utilizados para controle de plantas daninhas nessas culturas são, principalmente, os inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS) e da 5-enolpiruvilshuiquimato-3-fosfato synthase (EPSPs). Porém, devido seu amplo uso na agricultura, os casos de resistência cresceram rapidamente. Já foram relatados 50 casos de

resistência de plantas daninhas no Brasil, inclusive com biótipos apresentando resistência múltipla (HEAP, 2019).

A resistência de plantas daninhas é primeiramente confirmada por meio de experimentos de curvas de dose-resposta, os quais permitem determinar o controle de 50% ( $C_{50}$ ) e a redução de 50% da massa de matéria seca da parte aérea ( $GR_{50}$ ), bem como o fator de resistência (FR) dos biótipos resistentes (STREIBIN, 1988; SEEFELDT, et al., 1995). Esse estudo vem ganhando destaque devido ao crescente número de casos de “escape” de plantas daninhas nas culturas agrícolas, sendo assim a confirmação realizada com ensaios de curva dose-resposta. As principais plantas daninhas que adquiriram resistência, confirmadas inicialmente pela metodologia de curva dose-resposta, foram: *Eleusine indica* (VARGAS et al., 2013; JALALUDIN et al., 2015; CHEN et al., 2017; GHEREKHLOO et al., 2017), *Raphanus sativus* (CECHIN et al., 2016), *Amaranthus palmeri* (DOMINGUEZ-VALENZUELA et al., 2017), *Chloris elata* (BRACAMONTE et al., 2017), *Conyza sumatrensis* (HEAP, 2019).

Supõe-se que possam existir biótipos de *S. americanum* resistentes aos herbicidas inibidores de ALS e EPSPs, pois, o manejo dessa espécie com herbicidas pertencentes a esses mecanismos de ação demonstrou ineficiência em alguns cultivos agrícolas. O objetivo do estudo foi determinar o nível de resistência de biótipos de *S. americanum* aos herbicidas iodosulfuron, metsulfuron-methyl (inibidores da ALS) e glyphosate (inibidor da enzima EPSPs).

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação do grupo de pesquisa Manejo Sustentável dos Sistemas Agrícolas (MASSA) da Universidade Federal da Fronteira Sul – Campus Erechim - RS.

### 3.2.1 Material vegetal

Foram coletados 12 biótipos de *S. americanum* no estado do Rio Grande do Sul e um biótipo no estado do Mato Grosso do Sul, principalmente em lavouras comerciais de grãos que apresentavam dificuldade no manejo da planta daninha com os herbicidas usualmente utilizados. Os locais de coleta, com as coordenadas geográficas estão descritas na Tabela 2.

Para ambos os experimentos foi realizada a semeadura das sementes de *S. americanum* primeiramente em laboratório, sendo previamente superada sua dormência por meio da alternância de temperatura e imersão das sementes por 21 h em  $KNO_3$  a 0,2%. Esse procedimento teve por objetivo proporcionar a uniformidade de germinação das sementes.

Após a germinação, no estágio de plântulas, foi realizado o transplante para as unidades experimentais. Essas foram irrigadas diariamente, para manter a umidade necessária para o estabelecimento das plantas.

**Tabela 1** - Coordenadas geográficas dos locais de coleta de biótipos de *Solanum americanum* com suspeita de resistência aos herbicidas inibidores de ALS e EPSPs. Santa Maria – RS, 2018.

<b>Biótipo</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Município/Estado</b>
B1	-27,742154	-52,421504	Paulo Bento – RS <sup>1</sup>
B2	-27,679669	-52,071530	Áurea – RS
B3	-27,751817	-52,423828	Paulo Bento – RS
B4	-27,727407	-52,429617	Paulo Bento – RS
B5	-29,861286	-53,388129	Restinga Seca – RS
B6	-27,723029	-52,294191	Erechim – RS
B7	-29,714290	-53,710105	Santa Maria – RS
B8	-28,642667	-53,522216	Cruz Alta – RS
B9	-29,166503	-53,664166	Júlio de Castilhos – RS
B10	-29,715760	-53,736405	Santa Maria – RS
B11	-27,932977	-52,087139	Charrua – RS
B12	-28,631666	-52,767393	Tapera – RS
B13	-20,620531	-54,788517	Campo Grande – MS <sup>2</sup>

<sup>1</sup>RS – Rio Grande do Sul (Brasil), <sup>2</sup>MS – Mato Grosso do Sul (Brasil). B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9, B10, B11, B12 e B13

### 3.2.2 Experimentos preliminares (dose única de herbicida)

Foram conduzidos três experimentos preliminares em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições (uma planta por unidade experimental). Cada experimento foi constituído de um herbicida [glyphosate (720 g e.a ha<sup>-1</sup>), iodosulfuron (3,5 g i.a ha<sup>-1</sup>) e metsulfuron-methyl (1,98 g i.a ha<sup>-1</sup>)] e 13 biótipos de *S. americanum*. A dose dos herbicidas seguiu a recomendação de registro para o controle de *S. americanum* (glyphosate) ou a dose recomendada para a cultura de trigo, para os herbicidas não registrados para controle de *S. americanum* (iodosulfuron e metsulfuron-methyl). As unidades experimentais foram constituídas de copos plásticos com capacidade de 0,5 dm<sup>3</sup>, preenchidos com solo peneirado do tipo Latossolo Vermelho Aluminoférrico húmico juntamente com substrato na proporção de volume 1:1 (substrato:solo).

A semeadura, o transplante e os manejos das plantas de *S. americanum* até o momento da aplicação dos herbicidas, foram realizados nas mesmas condições descritas no item “Material vegetal”. No estágio ideal de controle (5 folhas) aplicou-se os herbicidas com pulverizador costal pressurizado por CO<sub>2</sub>, equipado com pontas do tipo leque jato plano TeeJet XR – 110.02, espaçadas com 0,5 m, calibrado para a taxa de aplicação de 150 L ha<sup>-1</sup> e pressão de trabalho de 1,62 kgf cm<sup>-2</sup>.

A variável avaliada nesse experimento foi o controle das plantas de *S. americanum* aos 28 dias após aplicação dos tratamentos (DAT), onde atribuiu-se nota 0% para ausência de controle (injúria) e 100% para controle total das plantas daninhas, seguindo a metodologia da SBPCPD (1995).

### 3.2.3 Dose-resposta

Para determinar a curva dose-resposta do herbicida glyphosate, foi realizado um estudo em casa de vegetação, utilizando delineamento experimental em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos foram arrançados em esquema fatorial em que um fator foi composto de biótipos de *S. americanum* [(B1 - suscetível) (B2 – supostamente resistentes)] e outro fator de doses de glyphosate (0D, 1/16D, 1/8D, 1/4D, 1/2D, 1D, 2D, 4D e 8D, em que D é a dose recomendada do herbicida glyphosate). As unidades experimentais constituíram de copos plásticos com capacidade de 0,5 dm<sup>3</sup>, preenchidos com solo peneirado do tipo Latossolo Vermelho Aluminoférrico húmico juntamente com substrato na proporção de volume 1:1 (substrato:solo). A semeadura, transplante e manejo das plantas de *S. americanum* até o momento da aplicação dos herbicidas, foram realizados nas mesmas condições descritas no item “Material vegetal”.

As variáveis avaliadas foram o controle visual (%), conforme metodologia descrita anteriormente, e a massa de matéria seca da parte aérea aos 28 DAT. A massa de matéria seca da parte aérea foi determinada por secagem do material vegetal em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até atingir massa constante, sendo expressa em g planta<sup>-1</sup>. Os dados de massa de matéria seca da parte aérea foram expressos como a percentagem da testemunha (sem aplicação do herbicida) e ajustados ao modelo log-logístico.

### 3.2.4 Análises estatísticas

Foram verificadas a normalidade dos erros e a homogeneidade das variâncias residuais, e após sua comprovação foi realizada a análise de variância e o teste F. Em sendo significativo o fator qualitativo (biótipos) foi comparado pelo teste t de *Student* e o fator quantitativo (doses

de glyphosate) por regressões não-lineares, conforme metodologia proposta por Streibig (1988), para experimentos de curva dose-resposta. Todos os testes estatísticos foram realizados a probabilidade de erro de 5%.

Para o fator quantitativo os dados foram ajustados a equação de regressão sigmoidal do tipo log-logístico (STREIBIN, 1988), conforme segue:

$$y = \frac{a}{1 + \left(\frac{x}{x50}\right)^b}$$

em que:  $y$  = porcentagem de controle visual ou massa de matéria seca da parte aérea;  $x$  = dose do herbicida; e  $a$ ,  $x50$  e  $b$  = parâmetros de equação, sendo  $a$  diferença entre os pontos máximo e mínimo da curva;  $x50$ , a dose que fornece 50% da resposta variável; e  $b$ , a declividade da curva. Os valores de  $C50$  (dose que controla 50% dos biótipos) e  $GR50$  (redução de 50% na massa seca da parte aérea) foram calculados a partir dos parâmetros da equação aos quais estão relacionados a resposta da planta com a dose do herbicida. O fator de resistência (FR) foi calculado pela razão entre o  $C50$  ou  $GR50$  do biótipo resistente e seu biótipo suscetível correspondente (SEEFELDT et al., 1995).

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos experimentos preliminares foi possível selecionar somente um biótipo com suspeita de resistência ao herbicida glyphosate. Assim, no estudo da dose-resposta de *S. americanum* ao herbicida glyphosate foi constatada interação significativa entre os biótipos e as doses do herbicida para as variáveis controle das plantas (%) e massa de matéria seca da parte aérea (Figuras 8 e 9). Já as doses para  $C_{50}$  e  $GR_{50}$ , FR, bem como os parâmetros da equação proposta por Streibig (1988), estão apresentados na Tabela 4.

#### 3.3.1 Experimentos preliminares

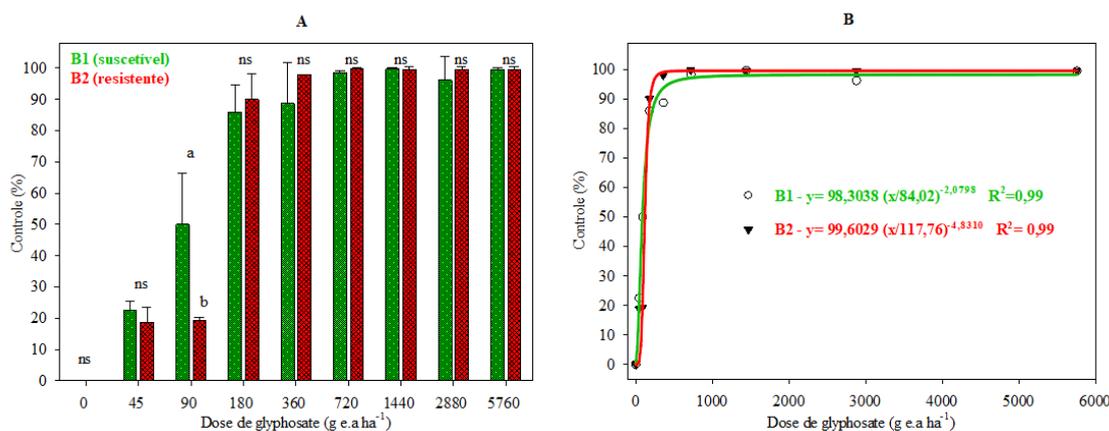
Com os resultados dos experimentos preliminares, identificou-se somente um biótipo com suspeita de resistência (início de rebrota da planta) e o demais biótipos com extrema suscetibilidade ao herbicida glyphosate, em doses muito abaixo da recomendada. Esses biótipos (B1 – suscetível e B2 – suspostamente resistente) foram utilizados no experimento avaliando a curva dose-resposta com a aplicação do herbicida glyphosate. Os herbicidas iodosulfuron e metsulfuron-methyl apresentaram controle inferior a 20%, permitindo concluir que esses herbicidas, nas doses recomendadas para a cultura de trigo, não controlam a espécie *S. americanum*. Assim, a condução dos experimentos dose-resposta foi somente com o herbicida glyphosate.

### 3.3.2 Dose-resposta

A única dose de glyphosate que apresentou diferença entre os dois biótipos foi na aplicação de 90 g e.a ha<sup>-1</sup>, essa dose promoveu o incremento de 30% no controle do B1 quando comparado ao B2 (Figura 8A). Doses superiores a 180 g e.a ha<sup>-1</sup> (1/4 da dose recomendada comercialmente), independentemente do biótipo, demonstraram controle >80% de *S. americanum*. Esse resultado pode ser um indicativo da evolução da resistência de uma determinada população de *S. americanum*. Burgos et al. (2013) destaca que é necessário conhecer a uniformidade de populações resistentes, para discutir os níveis de resistência e sua magnitude. Na dose recomendada do herbicida para controle da espécie (720 g e.a ha<sup>-1</sup>) o controle foi superior a 95% em ambos os biótipos (Figura 8A), não caracterizando a espécie como resistente de acordo com Heap (2018).

A suscetibilidade do B1 foi confirmada pela dose-resposta, doses de glyphosate muito abaixo da recomendada foram suficientes para exercer um controle de 50% (Figura 8B). O C<sub>50</sub> calculado a partir do modelo proposto por Seefeldt et al. (1995) foi de 84,0205 e 117,7599 g e.a ha<sup>-1</sup>, para o biótipo B1 e B2, respectivamente. Essa relação (B2/B1 ou resistente/suscetível) resultou no fator de resistência (FR) de 1,81 (Tabela 4). Esse “nível de resistência”, apesar de ser considerado baixo ou ser a própria variabilidade natural da espécie, não deve ser desprezado.

Pesquisas demonstram que existe evolução constante nos biótipos com a aplicação frequente de um mesmo herbicida (VARGAS et al., 2013; ASHWORTH et al., 2013). Enfatizando que práticas de manejo que visem a adoção de diferentes métodos de controle ou rotação de herbicidas, também são fundamentais para interromper a evolução da resistência de plantas daninhas ao herbicida glyphosate (BECKIE et al., 2011; EVANS et al., 2016).

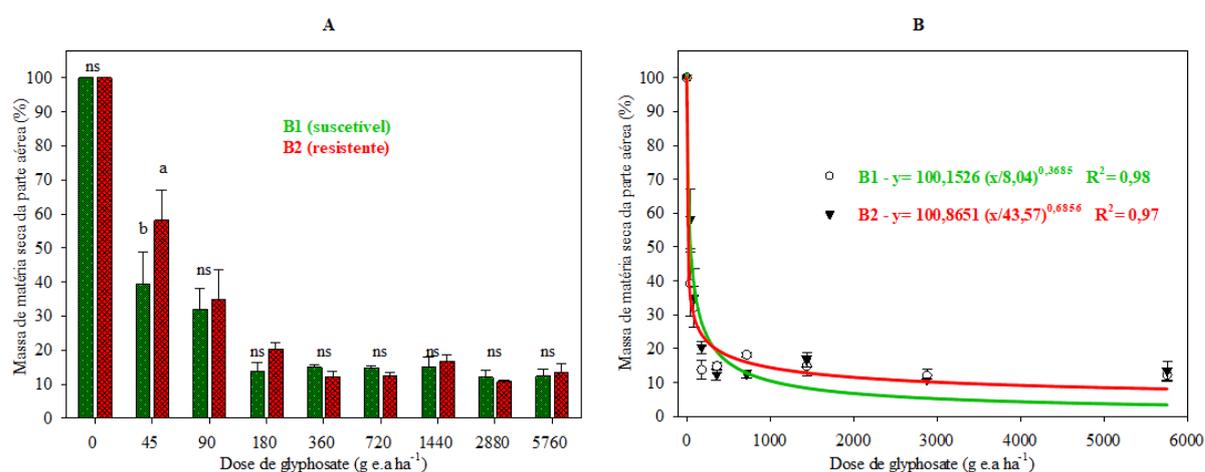


**Figura 8** - Controle aos 28 DAT (dias após aplicação dos tratamentos) (média ± DP) de plantas de *S. americanum* em função de diferentes biótipos (A) e exposto ao incremento da dose de

glyphosate (B). Colunas e linhas verdes e vermelhas representam o biótipo suscetível (B1) e supostamente resistentes (B2), respectivamente. Letras diferentes nas barras, para a mesma dose de herbicida, representa diferença entre os biótipos pelo teste t de *Student*, a 0,05 de probabilidade.

Na comparação dos biótipos só houve diferença estatística na dose de 45 g e.a ha<sup>-1</sup>, sendo o biótipo com suspeita de resistência o que demonstrou menor redução percentual da massa de matéria seca da parte aérea (42,8%), já no biótipo suscetível a redução foi de 61,5%. Doses de 180, 360, 720, 1440, 2880 e 5670 e.a ha<sup>-1</sup> não apresentaram diferenças entre os dois biótipos, sendo que a redução da massa de matéria seca da parte aérea de *S. americanum* oscilou entre 80 e 90% (Figura 9A).

A resposta média da redução da massa seca da parte aérea de *S. americanum* ao glyphosate (Figura 9B) e os valores estimados de GR<sub>50</sub> e razão R/S revelaram diferenças significativas em termos do nível de resistência ao glyphosate entre as duas espécies. Mais especificamente, a população B2 apresentou o maior valor de GR<sub>50</sub> (43,57 g e.a ha<sup>-1</sup>) e B1 o menor GR<sub>50</sub> (8,04 g e.a ha<sup>-1</sup>) (Figura 9B). O FR para GR<sub>50</sub> foi relativamente baixo (5,42), não caracterizando resistência de acordo com Heap (2018), no qual considera o FR maior que 10 para atribuir resistência ao biótipo. Porém, ao avaliar o status de resistência de espécies do gênero *Chloris*, Bracamonte et al. (2017) observaram que mesmo apresentando FR de 6,1 para GR<sub>50</sub>, foi comprovada a resistência de *Chloris elata* por meio de análises moleculares, constatando mutação no gene Pro-106-Ser.



**Figura 9** - Massa de matéria seca da parte aérea (média ± DP) de plantas de *S. americanum* em função de diferentes biótipos (A) e exposto ao incremento da dose de glyphosate (B). Colunas e linhas verdes e vermelhas representam um biótipo suscetível (B1) e supostamente resistente (B2), respectivamente. Letras diferentes nas barras, para a mesma dose de herbicida, difere os biótipos pelo teste t de *Student*, a 0,05 de probabilidade de erro.

Este é o primeiro estudo que relata a evolução da resistência de *S. americanum* ao herbicida glyphosate, e assim, em um futuro próximo, a probabilidade da espécie adquirir maiores níveis de resistência não pode ser descartada. A evolução da resistência desses biótipos deve ser interrompida com estratégias de manejo que integram, não somente a diversificação no uso de herbicidas, mas as mais diferentes ferramentas disponíveis para gestão de plantas daninhas. Essas considerações vão ao encontro de trabalhos desenvolvidos por Beckie et al. (2011), Ashworth et al. (2014), Evans et al. (2016) e Westwood et al. (2017).

**Tabela 2** - Estimativa dos parâmetros do modelo log-logístico, coeficiente de determinação ( $R^2$ ), fator de resistência (FR), controle de 50% dos biótipos ( $C_{50}$ ) e redução de 50% na massa de matéria seca da parte aérea ( $GR_{50}$ ) para biótipos suscetível e supostamente resistente ao herbicida glyphosate aos 28 DAT.

Biótipo	Parâmetros da equação*			$R^2$	FR
	a	b	g e.a ha <sup>-1</sup>		
$C_{50}$					
B1 (suscetível)	98,3038	-2,0798	84,02	0,99	---
B2 (sup. resistente)	99,6029	-4,8310	117,76	0,99	1,81
$GR_{50}$					
B1 (suscetível)	100,1526	0,3685	8,04	0,98	---
B2 (sup. resistente)	100,8651	0,6856	43,57	0,97	5,42

\*  $y = a / 1 + (x/x_{50})^b$ ; onde  $y$  é o controle das plantas (%) ou a massa de matéria seca da parte aérea expresso como uma porcentagem do controle sem aplicação do herbicida,  $a$  é o limite superior da curva,  $b$  é a inclinação da curva no ponto de inflexão,  $x_{50}$  a taxa do herbicida no ponto de inflexão (e.a,  $C_{50}$  ou  $GR_{50}$ ), e  $x$  (variável independente) é a taxa de herbicida.

### 3.4 CONCLUSÃO

Os herbicidas iodosulfuron e metsulfuron-methyl (inibidores da enzima ALS), aplicados em pós-emergência, não controlam a espécie *S. americanum*.

Essa espécie não apresenta resistência ao herbicida glyphosate, sendo que *S. americanum* apresenta diferenciação entre biótipos.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro do projeto de doutorado do primeiro autor. Nenhum conflito de interesse foi declarado.

## REFERÊNCIAS

- ANDRES, A. et al. Additional informatio predictions for weed resistance to herbicides in Brazil. p. 33-56 in PACANOSKI, Z. eds. **Herbicide resistance in weeds and crops**. London, EUA: A Botanical Approach, 2017.
- ASHWORTH, M. B. et al. Review: Confirmation of resistance to herbicides and evaluation of resistance levels. **Weed Science**, v. 61, p. 4-20, 2013.
- BECKIE, H. J. et al. Risk assessment of glyphosate resistance in western Canada. **Weed Technology**, v. 25, p. 159-164, 2011.
- BRACAMONTE, E. R. et al. Identifying *Chloris* species from Cuban citrus orchards and determining their glyphosate-resistance status. **Front Plant Science**, v. 8, p. 1-11, 2017.
- BRUNTON, D. J. et al. Resistance to multiple PRE herbicides in a field-evolved rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) population. **Weed Science**, v. 31, p. 1-5, 2018.
- BURGOS, N. R. et al. Review: confirmation of resistance to herbicides and evaluation of resistance levels. **Weed Science**, v. 61, p. 4-20, 2013.
- CECHIN, J. et al. Resistence of radish biotypes to iodosulfuron and alternative control. **Planta Daninha**, v. 34, p. 151-160, 2016.
- CHEN, J. et al. Investigating the mechanisms of glyphosate resistance in goosegrass (*Eleusine indica* (L.) Gaertn.) by RNA sequencing technology. **The Plant Journal**, v. 89, p. 407-415, 2017.
- DOMINGUEZ-VALENZUELA, J. A. et al. First confirmation and characterization of target and non-target site resistance to glyphosate in Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) from Mexico. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 115, p. 212-218, 2017.
- EDMONDS, J. M.; CHWEYA, J. A. Black nighthshades *Solanum nigrum* L. and related species. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 15. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/Internation Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, 1997.
- EVANS, J. A. et al. Managing the evolution of herbicide resistance. **Pest Management Science**, v. 72, p. 74-80, 2016.
- FORTE, C. T. et al. Cultivation systems, vegetable soil covers and their influence on the phytosocology of weeds. **Planta Daninha**, v. 36, p.1-15, 2018.
- HEREKHLOO, J. et al. Pro-106-Ser mutation and EPSPS overexpression acting together simultaneously in glyphosateresistant goosegrass (*Eleusine indica*). **Scientific Reports**, v. 7, p. 1-10, 2017.
- HEAP, I. The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Online. Internet. Wednesday, September 5, 2019.
- HEAP, I.; DUKE, S. O. Overview of glyphosate-resistant weeds worldwide. **Pest Management Science**, v. 74, p. 1040-1049, 2018.

JALALUDIN, A.; YU, Q.; POWLES, S. B. Multiple resistance across glufosinate, glyphosate, paraquat and ACCase-inhibiting herbicides in an *Eleusine indica* population. **Weed Research**, v. 55, p. 82-89, 2015.

LEWTHWAITE, S. L.; TRIGGS, C. M. Identification of paraquat-resistant *Solanum nigrum* and *S. americanum* biotypes. **New Zealand Plant Protection**, v. 62, p. 349-355, 2009.

LORENZI, H. Manual de identificação e de controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional. Ed. 7, Plantarum, Nova Odessa, 2017, 338p.

PIANO, J. T. et al. Phytosociological survey of weeds in latosol cultivated with different winter cereals handled in integrated crop-livestock. **Science Agrarian Paranaensis**, v. 12, p. 359-367, 2013.

SAHA M; DATTA, B. K. Diversity of *Solanum* L. (Solanaceae) in Tripura (India) including new records. **Pleione**, v. 11, p. 85-96, 2013.

SAMMONS, R. D.; GAINES, T. A. Glyphosate resistance: state of knowledge. **Pest Management Science**, v. 70, p. 1367-1377, 2014.

SBCPD – Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas. Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas. Londrina: SBCPD, 1995. 42p.

SEEFELDT, S. S. et al. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationships. **Weed Technology**, v. 9, p. 218-227, 1995.

STREIBIG, J. Herbicide bioassay. **Weed Research**, v. 28, p. 479-484, 1988.

VARGAS, L. et al. Low level resistance of goosegrass (*Eleusine indica*) to glyphosate in Rio Grande do Sul-Brazil. **Planta Daninha**, v. 31, p. 677-686, 2013.

WESTWOOD, J. H. et al. Weed Management in 2050: Perspectives on the future of weed science. **Weed Science**, v. 66, p. 275-285, 2017.

#### 4 CAPÍTULO III

### ESTÁDIO DE APLICAÇÃO E DOSES DE GLYPHOSATE NO CONTROLE, PRODUÇÃO DE FRUTOS E SEMENTES DE *Solanum americanum*

#### RESUMO

As plantas daninhas interferem nas culturas de interesse econômico, sendo que seu controle vem sofrendo ameaças devido a forma atual de manejo, aumentando os casos de resistência aos herbicidas. O objetivo do trabalho foi avaliar a influência do estágio de aplicação e doses do herbicida glyphosate nas características de desenvolvimento de *Solanum americanum* e na produção de frutos e sementes. O experimento foi caracterizado como bifatorial (doses x estádios de aplicação). O primeiro fator foi composto por 7 doses do herbicida glyphosate (0, 45, 90, 180, 360, 720 e 1440 g e.a ha<sup>-1</sup>) e o estágio de aplicação foi efetuado com 5 folhas e no florescimento (primeira flor aberta), simulando a aplicação no momento ideal e tardiamente, respectivamente. As variáveis avaliadas foram o controle aos 28 e 56 dias após a aplicação dos tratamentos (DAA), 28 DAA; foi aferida a altura das plantas (cm), número de frutos planta<sup>-1</sup>, sementes por frutos, produção total de frutos, a massa da matéria seca das plantas e a germinação de sementes ao final da condução do experimento. A aplicação de glyphosate nos estádios iniciais da planta daninha melhorou o controle quando comparado com a aplicação no florescimento da espécie, resultando em menor dose de glyphosate para o controle. A antecipação do controle diminuiu drasticamente a altura, a produção de frutos, sementes, e a massa da matéria seca de *S. americanum*, porém sem afetar a germinação das sementes. Quando aplicado no estágio de 5 folhas, 25% (180 g e.a ha<sup>-1</sup>) da dose recomendada de glyphosate é suficiente para a espécie *S. americanum* não produzir descendentes.

**Palavras-chave:** Maria-pretinha. Banco de sementes. Estádio ideal de aplicação. Controle químico.

#### 4.1 INTRODUÇÃO

*Solanum americanum* Mill. é uma planta daninha pertencente à família Solanaceae, infestante em culturas anuais produtoras de grãos, hortaliças e frutíferas (LORENZI, 2017; FORTE et al., 2018). Além de competirem com as culturas de interesse agrônomico, a espécie pode ser hospedeira de doenças como *Corynespora cassiicola*, que infesta a cultura da soja (PEREIRA e MAY-DE-MIO, 2019). A principal forma de controle de *S. americanum* é por meio da aplicação de herbicidas. Os herbicidas registrados no Brasil para o controle em pós-emergência de *S. americanum* destaca-se o 2,4-D, fomesafen, lactofen, paraquat e principalmente o glyphosate, ingrediente ativo com o maior número de produtos comerciais para o controle desta espécie (AGROFIT, 2019).

O glyphosate é o herbicida mais utilizado mundialmente, de amplo espectro, sistêmico, não seletivo e pós-emergente, boa parte dessa utilização está associada ao aumento das culturas geneticamente modificadas, com resistência ao herbicida (BAYLIS, 2000; DUKE et al., 2014; YANG et al., 2015). Esse herbicida alia vários fatores agrônomicos importantes, como eficácia no controle de mono e dicotiledôneas, praticidade de uso, reduzida toxicidade aos animais, custo relativamente baixo devido a facilidade de sintetização (DUKE e POWLES, 2008; PERRY et al., 2019). Porém, com o uso descontrolado, algumas espécies de plantas daninhas adquiriram resistência ao produto. Já foram registrados 97 casos de resistência (HEAP e DUKE, 2018), principalmente para *Conyza* sp. (DENNIS et al., 2016; OKUMU et al., 2019), *Digitaria insularis* (LOPEZ-OVEJERO et al., 2017), *Eleusine indica* (JALALUDIN et al., 2015), dentre outras.

Doses de glyphosate podem variar de espécie para espécie, cultura que está presente e estágio de desenvolvimento da planta daninha (AGROFIT, 2019). Muitas das falhas no controle é devido ao estágio das plantas daninhas no momento de aplicação dos herbicidas, podendo inclusive, selecionar plantas resistentes ao princípio ativo (RIOS et al., 2016). Aplicações tardias implicam no acúmulo de reservas das plantas daninhas, esse efeito diminui a eficiência dos herbicidas e conseqüentemente pode aumentar a interferência com as culturas (DENNIS et al., 2016; OKUMU et al., 2019). Rios et al. (2016), relataram que tanto o glyphosate como o glufosinato, aplicados em isolados, apresentam eficácia no controle e *Amaranthus palmeri* desde que aplicadas antes do estágio de 8 a 10 folhas.

A ferramenta química, por meio do uso de herbicidas, é uma importante estratégia de manejo, quando utilizada da forma correta assegura maiores rendimentos das culturas e diminui o reabastecimento do banco de sementes de plantas daninhas no solo (MAYEROVÁ et al., 2018). Outras pesquisas mostram que o simples manejo cultural e uso de práticas

conservacionistas (plantio direto) podem reduzir significativamente o banco de sementes de plantas daninhas, inclusive para *S. americanum* (FORTE et al., 2018a). Práticas de manejo que propiciam o reabastecimento de sementes de plantas daninhas no solo são indesejáveis para o avanço nas estratégias de controle (WESTWOOD et al., 2018).

A hipótese que foi testada é de que a aplicação tardia de glyphosate em *S. americanum* acarretasse, mesmo em doses altas, no controle ineficiente das plantas e na possibilidade de produzir descendentes para reabastecimento do banco de sementes. Deste modo, o objetivo do estudo foi avaliar a influência do estágio de aplicação e doses do herbicida glyphosate nas características de desenvolvimento de *S. americanum* e na produção de frutos e sementes.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os estudos foram conduzidos em casa de vegetação e laboratório, do grupo de pesquisa Manejo Sustentável dos Sistemas Agrícolas (MASSA) da Universidade Federal da Fronteira Sul – Campus Erechim - RS.

### 4.2.1 Material vegetal

As sementes de *S. americanum* foram coletadas manualmente, em áreas de pousio, ao lado de culturas comerciais de milho e soja. As coletas foram realizadas em Santa Maria - RS (29° 42' 55" S e 53° 44' 13" O) em abril de 2017.

Para obtenção da uniformidade de plantas, a semeadura de *S. americanum* foi conduzida primeiramente em laboratório, sendo previamente superada sua dormência por meio da alternância de temperatura e imersão das sementes por 21h em KNO<sub>3</sub> a 0,2% (FORTE et al., 2019 – No Prelo). Após a germinação (25 dias após a emergência), no estágio de plântulas, foi realizado o transplante para as unidades experimentais, composta por recipientes plásticos com capacidade de 8 L e preenchidas com substrato e solo na proporção de 25 e 75%, respectivamente. Essas foram irrigadas diariamente, para manter a umidade necessária para o crescimento e desenvolvimento da espécie.

### 4.2.2 Design experimental

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema bifatorial 7 x 2 (doses x estádios de aplicação). O fator doses foi composto por 7 concentrações do herbicida glyphosate (0, 45, 90, 180, 360, 720 e 1440 g e.a ha<sup>-1</sup>), sendo a dose de 720 g e.a ha<sup>-1</sup> a recomendada para o controle no estágio. O fator estádios

de aplicação foi 5 folhas e no florescimento (primeira flor aberta), simulando a aplicação no momento ideal e tardiamente, respectivamente.

Nos estádios predefinidos aplicou-se os herbicidas com pulverizador costal pressurizado por CO<sub>2</sub>, equipado com pontas do tipo leque jato plano TeeJet XR – 110.02, espaçadas com 0,5 m, calibrado para a taxa de aplicação de 150 L ha<sup>-1</sup> e pressão de trabalho de 1,62 kgf cm<sup>-2</sup>.

#### 4.2.3 Variáveis avaliadas

Foram realizadas avaliações do controle de *S. americanum* em dois momentos, aos 28 e 56 dias após a aplicação dos tratamentos (DAA), segundo os critérios estabelecidos pela SBPCPD (1995). Aos 28 DAA foi aferida a altura das plantas (cm), da base da planta até o ápice, utilizando-se uma régua graduada. Foi avaliado o número de frutos planta<sup>-1</sup>, por meio da contagem do início ao fim do estágio de desenvolvimento da espécie. Na sequência foi realizada a contagem de sementes por frutos, adotando-se amostras de 10 frutos por unidade experimental. Já a determinação da produção de frutos e sementes foi realizada contando-se todos os frutos das plantas, bem como o número total de sementes produzidas por frutos e a massa da matéria seca das plantas ao final da condução do experimento (g planta<sup>-1</sup>), essa determinação foi realizada em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 72 h.

Os testes de germinação das sementes foram conduzidos em caixa gerbox, sob três folhas de papel germitest umedecidos com água destilada em quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco e a temperatura alternada de 20 - 30°C, 12 h para cada temperatura. Para cada gerbox alocou-se 50 sementes. Foi considerada semente germinada aquela que teve a radícula com mais de dois milímetros, sendo as avaliações da germinação realizadas diariamente.

#### 4.2.4 Análises estatísticas

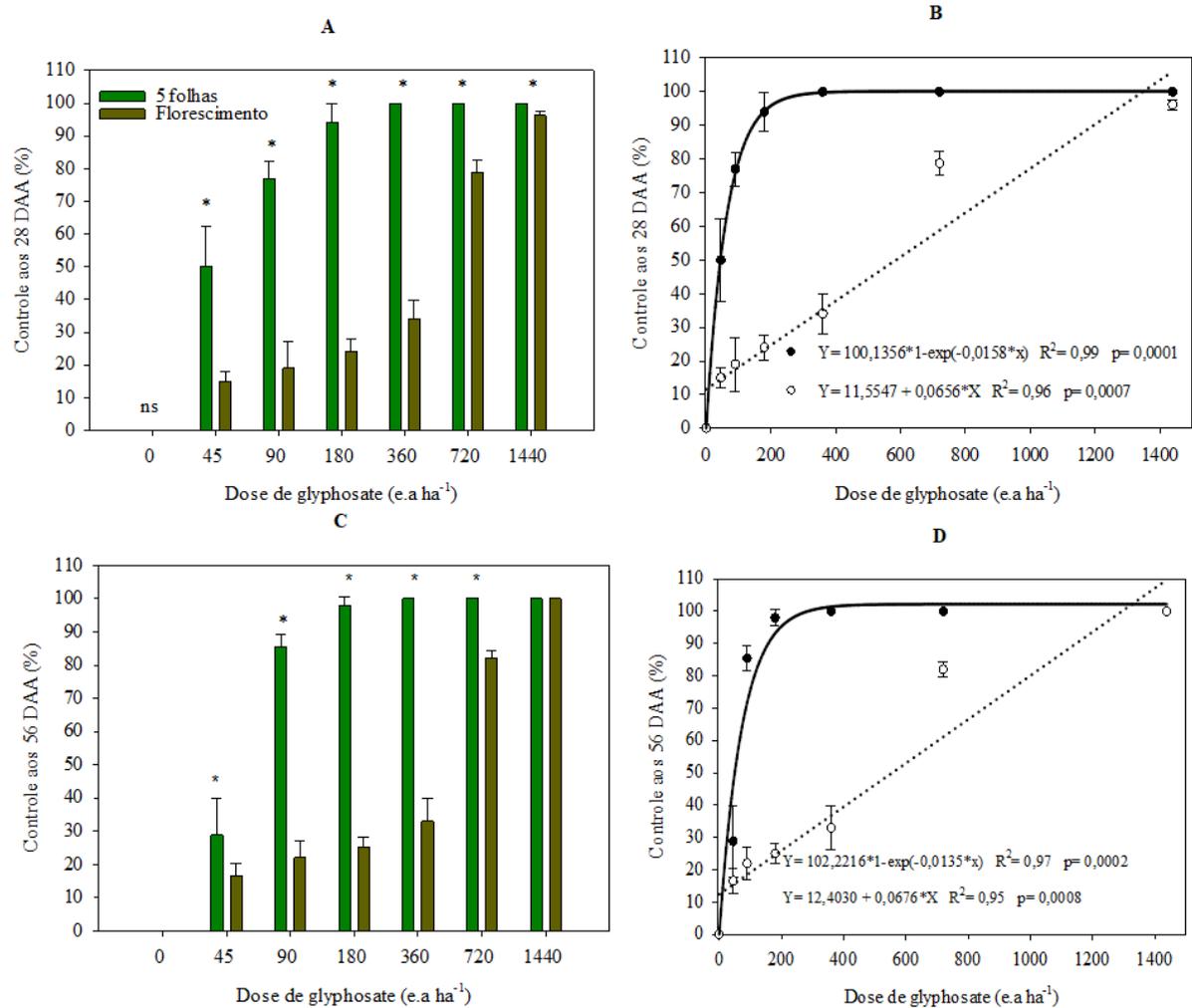
Foi verificada a normalidade dos erros e a homogeneidade das variâncias residuais. Para as variáveis dadas em porcentagem (controle e germinação de sementes) os dados foram transformados para  $\arcsen\sqrt{\%/100}$ . Após sua comprovação foi realizada a análise de variância e o teste F. Em sendo significativo o fator qualitativo (estádios) foi comparado pelo teste t de *Student* e o fator quantitativo (doses de glyphosate) por regressões lineares ou não-lineares. Todos os testes estatísticos foram realizados a probabilidade de erro de 5%.

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante dos resultados obtidos, foi possível constatar que todas as variáveis avaliadas apresentaram interação significativa, com exceção da germinação de sementes de *S. americanum* (Figuras 10 a 15).

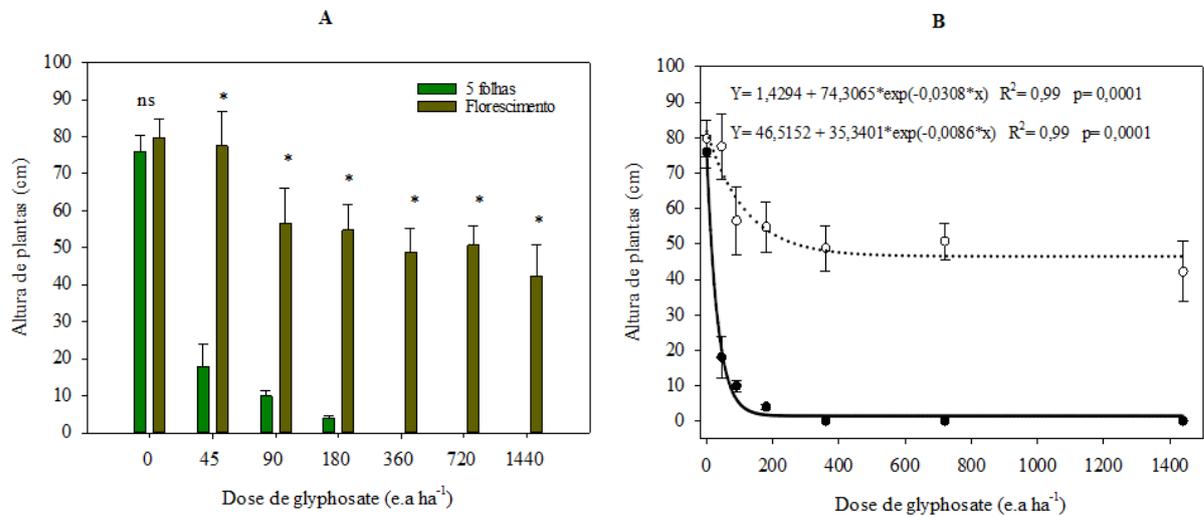
Plantas daninhas quando jovens podem ser mais facilmente controladas com o uso de herbicidas, independentemente da época de avaliação (Figura 10). Na avaliação dos 28 dias após a aplicação (DAA) o controle de *S. americanum* foi superior à 80%, entretanto quando aplicada a dose de 180 g e.a ha<sup>-1</sup> em estágio de 5 folhas, quando aplicada a mesma dose no florescimento da espécie o controle não superou os 30% (Figura 10A). A quantidade necessária de glyphosate para atingir controle de 80% seria próximo 1040 g e.a ha<sup>-1</sup>, quando aplicado no florescimento (Figura 10B), também ilustrado na Figura 16. Resultados semelhantes foram encontrados para *Conyza bonariensis*, no qual a dose de 900 g e.a ha<sup>-1</sup> demonstrou sintomas severos no estágio de “roseta”, não observado no estágio mais avançado da espécie (OKUMU et al., 2019).

Na avaliação dos 56 DAA de glyphosate é possível observar resultados similares aos encontrados nos 28 DAA, a principal diferença está atrelada a dose de 1440 g e.a ha<sup>-1</sup>, a qual nessa avaliação teve controle total das plantas de *S. americanum*, no estágio de florescimento. Esse resultado indica que mesmo a dose de 1440 (dobro da recomendada para o controle de *S. americanum*) às plantas só foram completamente controladas após 28 DAA, esse maior período para obtenção do controle máximo pode resultar em uma competição da planta daninha com a cultura, quando em situação de campo. Destaca-se a importância da antecipação do controle (estádios jovens) favorece o aumento da eficiência no controle, reforçando a importância da aplicação em plantas com menores reservas (SHRESTHA et al., 2007; VANGESSEL et al., 2009).



**Figura 10.** Controle de *Solanum americanum* (%) aos 28 e 56 dias após a aplicação de diferentes doses (45, 90, 180, 360, 720 e 1440 g e.a ha<sup>-1</sup>) do herbicida glyphosate em diferentes estádios de desenvolvimento da planta daninha (5 folhas e início do florescimento). Colunas em verde e círculo fechado representam a aplicação no estágio de 5 folhas e colunas em marrom e círculo aberto no florescimento. As médias são representadas pelo controle e o desvio padrão de 5 repetições biológicas independentes. \* Difere o controle em cada época na mesma dose do herbicida pelo teste t, a 5% de probabilidade de erro.

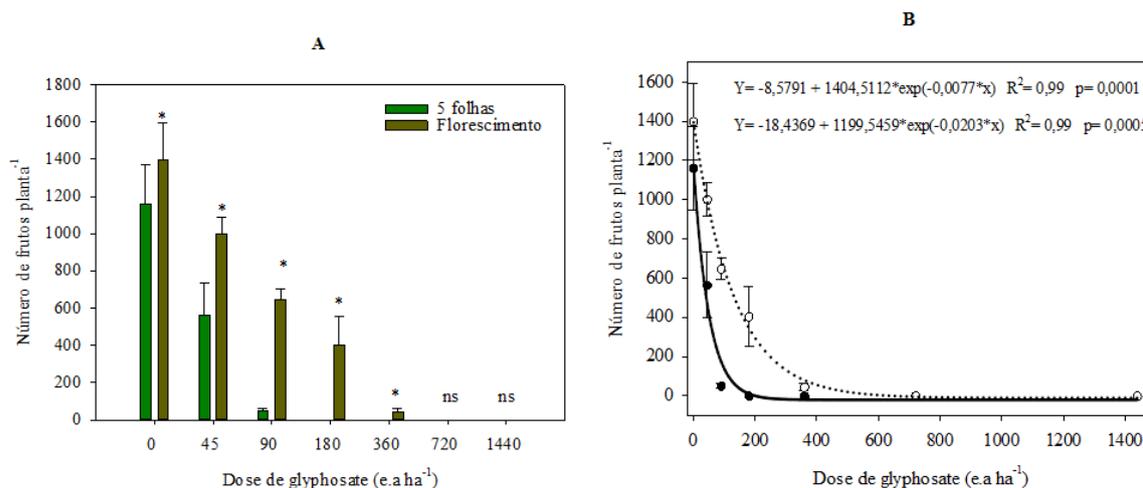
A aplicação de glyphosate no estágio de florescimento de *S. americanum* proporcionou a maior altura das plantas, em todas as doses testadas, quando comparado com a aplicação no estágio de 5 folhas (Figura 11A). Para a dose recomendada de controle (720 g e.a ha<sup>-1</sup>) a média da altura das plantas daninhas foi de 46,5 cm para a aplicação no início da floração, enquanto que para aplicação no estágio de 5 folhas foi paralisado o crescimento (Figura 11B). A aplicação de herbicidas nos estádios mais avançados das plantas daninhas, além de diminuir o controle, pode reduzir a produtividade de grãos das culturas de interesse econômico (CRAIGMYLE et al., 2013).



**Figura 11.** Altura de plantas de *Solanum americanum* (cm) 56 dias após a aplicação de diferentes doses (45, 90, 180, 360, 720 e 1440 g e.a ha<sup>-1</sup>) do herbicida glyphosate em diferentes estádios de desenvolvimento da planta daninha (5 folhas e início do florescimento). Colunas em verde e círculo fechado representam a aplicação no estádio de 5 folhas e colunas em marrom e círculo aberto no florescimento. As médias são representadas pelo controle e o desvio padrão de 5 repetições biológicas independentes. \*Difere o controle em cada época na mesma dose do herbicida pelo teste t, a 5% de probabilidade de erro.

A produção de frutos pode ser diretamente relacionada com a produção de sementes, sendo fundamental o entendimento de como reduzir o reabastecimento do banco de sementes dessas espécies (WESTWOOD et al., 2018, FORTE et al., 2018b). Diante disso, constata-se na Figura 12A que até a dose de 360 g e.a ha<sup>-1</sup> as plantas de *S. americanum*, com aplicação no estádio de florescimento, produziram mais frutos em comparação com a aplicação no estádio de 5 folhas.

Ressalta-se que na dose 0 g e.a ha<sup>-1</sup> de glyphosate ocorreu diferença pelo fato de as plantas serem conduzidas em períodos diferentes, possibilitando a realização das aplicações no mesmo momento. É provável que as plantas de *S. americanum* apresentam resposta ao acúmulo de graus dias e por esse motivo ter diferenças no número de frutos.

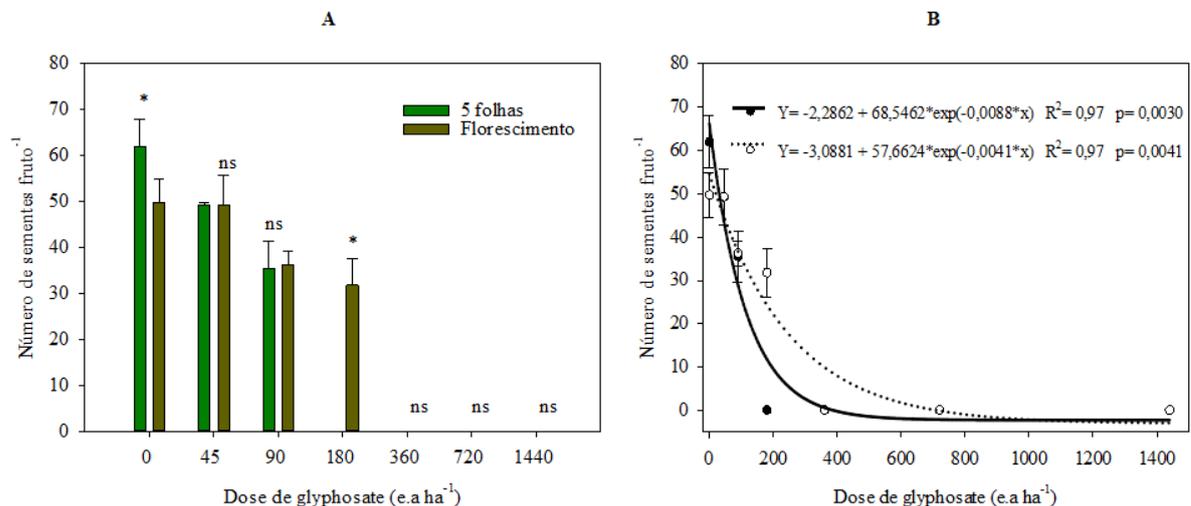


**Figura 12.** Número de frutos planta<sup>-1</sup> de *Solanum americanum* após a aplicação de diferentes doses (45, 90, 180, 360, 720 e 1440 g e.a ha<sup>-1</sup>) do herbicida glyphosate em diferentes estádios de desenvolvimento da planta daninha (5 folhas e início do florescimento). Colunas em verde e círculo fechado representam a aplicação no estádio de 5 folhas e colunas em marrom e círculo aberto no florescimento. As médias são representadas pelo controle e o desvio padrão de 5 repetições biológicas independentes. \*Difere o controle em cada época na mesma dose do herbicida pelo teste t, a 5% de probabilidade de erro.

Ao aplicar glyphosate nos dois estádios de desenvolvimento de *S. americanum*, não foi possível detectar diferenças na produção de sementes fruto<sup>-1</sup>. A única diferença na produção de sementes por fruto foi observada nas doses de 0 e 180 g e.a ha<sup>-1</sup>, possivelmente se justifica pela diferença na época de semeadura e pela morte completa das plantas no estádio de 5 folhas, respectivamente (Figura 13A). A produção de sementes está diretamente atrelada ao reabastecimento no solo, sendo a ferramenta química, por meio do uso de herbicidas, uma importante estratégia de manejo (MAYEROVÁ et al., 2018).

Na Figura 13B é representada graficamente a redução na produção de sementes fruto<sup>-1</sup> por meio das equações exponenciais decrescentes, conforme o aumento da dose do glyphosate. É importante destacar que ¼ da dose recomendada do herbicida (180 g e.a ha<sup>-1</sup>) ocorreu redução total na produção de frutos/sementes, quando as aplicações foram realizadas nas plantas com 5 folhas. Para aplicação nas plantas em florescimento somente as doses de 360, 720 e 1440 g e.a ha<sup>-1</sup> reduziram completamente a produção de frutos e sementes (Figura 12 e 13). Resultados semelhantes foram encontrados para a espécie *Euphorbia heterophylla*, os quais somente a dose maior de glyphosate teve controle eficaz quando aplicado nos estádios mais avançados de desenvolvimento (LATI et al., 2019). Os mesmos autores concluíram que a eficácia dos herbicidas foi dependente do estádio de crescimento da planta daninha no momento de aplicação dos produtos, corroborando com os encontrados no presente estudo.

A produção total de sementes planta<sup>-1</sup> estimada, sem aplicação de glyphosate, pode chegar em média à 72.000, de acordo com os dados observados no presente estudo. É importante destacar que as condições de realização foram controladas, sendo que as unidades experimentais podem ter limitado o crescimento das plantas e isso não demonstre o real potencial de produção de sementes. Porém, é inegável que a espécie pode produzir milhares de descendentes, contribuindo com o reabastecimento do banco de sementes do solo. Estudos com a espécie *S. ptycanthum*, mesma gênero da espécie do presente estudo, apontam que aproximadamente 5% das sementes produzidas possam estabelecer novas plantas no próximo ano de cultivo (SCURSONI et al., 2007). Para *S. americanum*, se 5% das sementes produzidas apresentariam capacidade de gerar uma nova planta no sistema, originaria um total de 3.600 novos indivíduos na próxima estação de cultivo.



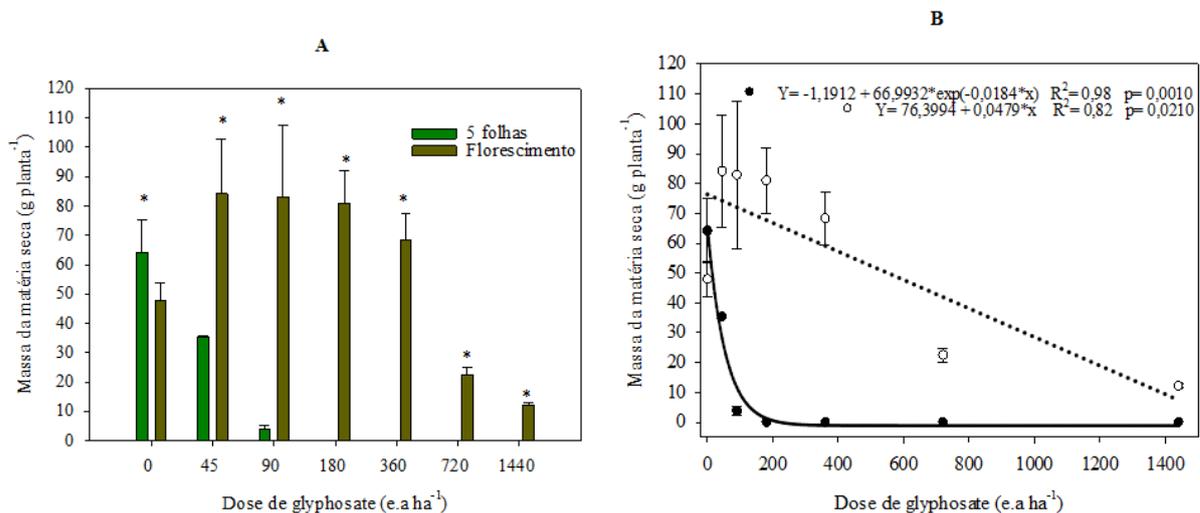
**Figura 13.** Número de sementes fruto<sup>-1</sup> de *Solanum americanum* após a aplicação de diferentes doses de glyphosate (45, 90, 180, 360, 720 e 1440 g e.a ha<sup>-1</sup>) do herbicida glyphosate em diferentes estádios de desenvolvimento da planta daninha (5 folhas e início do florescimento). Colunas em verde e círculo fechado representam a aplicação no estádio de 5 folhas e colunas em marrom e círculo aberto no florescimento. As médias são representadas pelo controle e o desvio padrão de 5 repetições biológicas independentes. \*Difere o controle em cada época na mesma dose do herbicida pelo teste t, a 5% de probabilidade de erro.

O estudo demonstrou que em todas as doses de glyphosate houve superioridade no acúmulo de massa da matéria seca da parte aérea de *S. americanum*, quando a aplicação foi realizada no início da floração da espécie (Figura 14A). Enquanto que na dose de 90 g e.a ha<sup>-1</sup> de glyphosate (aplicação no início da floração) a massa da matéria seca foi acima de 80 g planta<sup>-1</sup>, na mesma dose para aplicação no estádio de 5 folhas as plantas de *S. americanum* reduziram para uma média de 5 g. Esses resultados reforçam a justificativa de controlar essa espécie nos estádios iniciais de desenvolvimento. A diminuição no controle de plantas daninhas nos estádios

mais avançados pode estar relacionada com a maior taxa de degradação do herbicida e menor absorção pelas plantas (LATI et al., 2012).

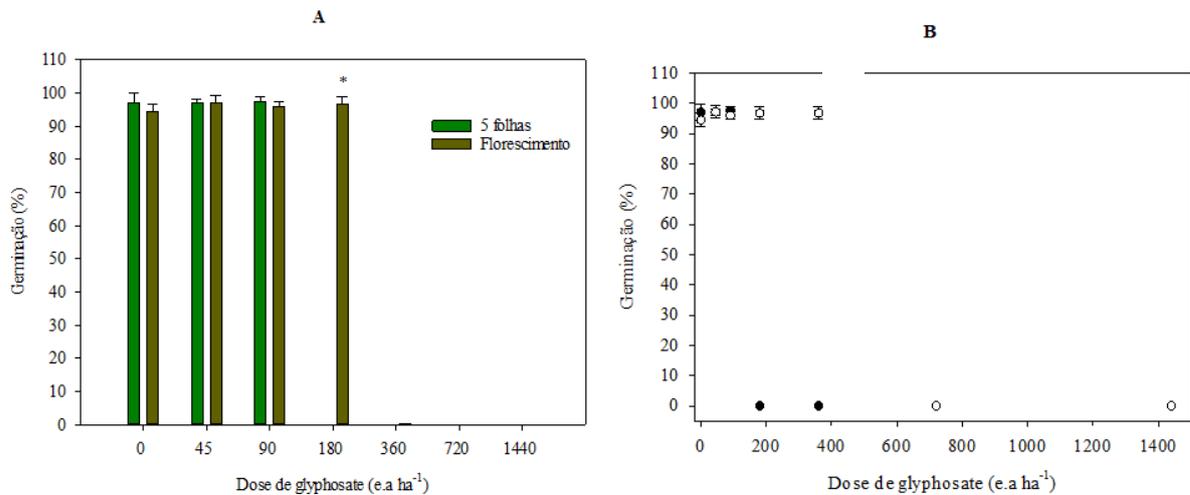
A diferença observada para os estádios, na dose zero, provavelmente, pode ter sido atrelada ao fato de serem estabelecidas em diferentes épocas, objetivando realizar às aplicações de glyphosate nas mesmas condições edafoclimáticas.

Ao analisar o fator quantitativo (doses de glyphosate), observa-se que para cada 100 g e.a ha<sup>-1</sup> de glyphosate adicionado, a redução foi de 4,8 g planta<sup>-1</sup>. O aumento da dose do herbicida reduziu de forma linear a massa da matéria seca de *S. americanum*, isso para a aplicação no estádio de início da floração. Quando a aplicação foi realizada no estádio de até 5 folhas é possível visualizar que 100 g e.a foram suficientes para reduzir 54,7 g planta<sup>-1</sup>, ou seja, 85% de redução quando comparado a testemunha sem aplicação (Figura 14B).



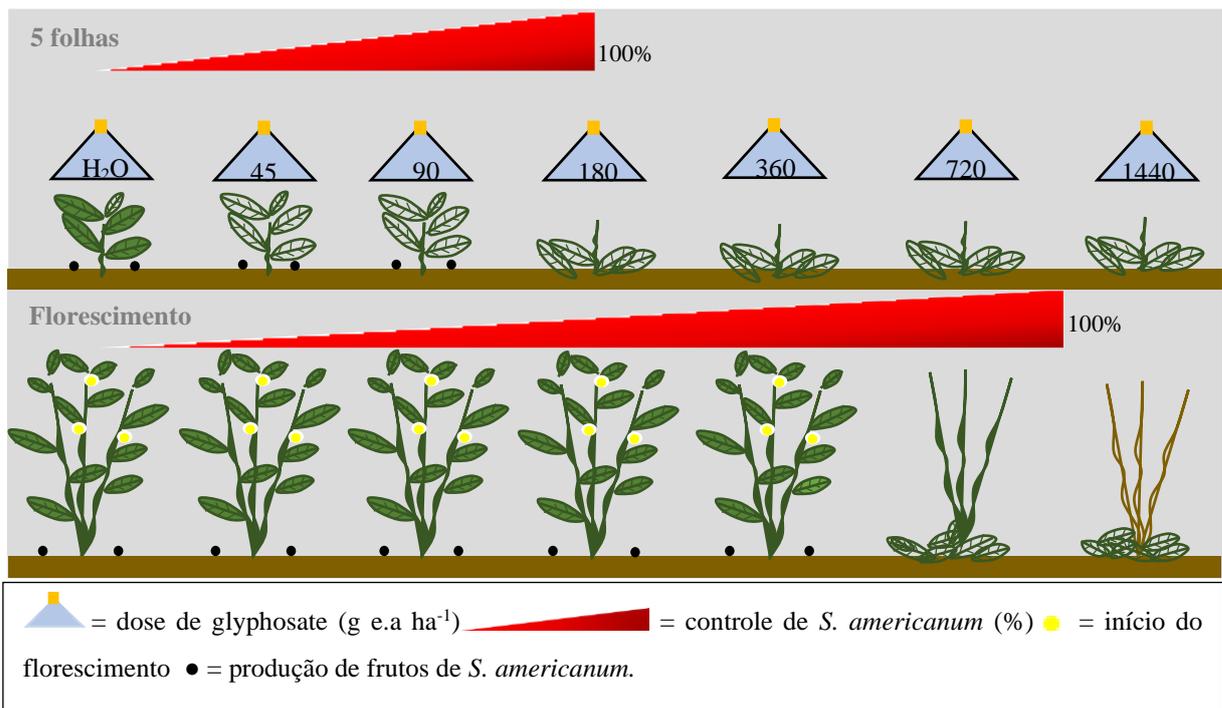
**Figura 14.** Massa da matéria seca da parte aérea (g planta<sup>-1</sup>) de *S. americanum* após a aplicação de diferentes doses (45, 90, 180, 360, 720 e 1440 g e.a ha<sup>-1</sup>) do herbicida glyphosate em diferentes estádios de desenvolvimento da planta daninha (5 folhas e início do florescimento). Colunas em verde e círculo fechado representam a aplicação no estádio de 5 folhas e colunas em marrom e círculo aberto no início florescimento. As médias são representadas pelo controle e o desvio padrão de 5 repetições biológicas independentes. \*Difere o controle em cada época na mesma dose do herbicida pelo teste t, a 5% de probabilidade de erro.

As sementes de *S. americanum*, produzidas pelas plantas que receberam as diferentes doses de glyphosate e das épocas de aplicação, não demonstraram alteração na germinação com a aplicação dos diferentes tratamentos (nas doses zero a 180 g e.a ha<sup>-1</sup>) (Figura 15A e B). A diferenças encontradas entre as duas épocas de aplicação (180 g e.a ha<sup>-1</sup>) se deve pelo fato da ausência na produção de sementes para a aplicação no estádio de 5 folhas (Figura 15A). Assim, o glyphosate pode interferir na produção de sementes de plantas daninhas (SCURSONI et al., 2007), porém as aplicações de diferentes doses em diferentes estádios não interferem na porcentagem de germinação das sementes de *S. americanum* (Figura 15).



**Figura 15.** Germinação de sementes (%) de *S. americanum* após a aplicação de diferentes doses de glyphosate (45, 90, 180, 360, 720 e 1440 g e.a ha<sup>-1</sup>) em diferentes estádios de desenvolvimento da planta daninha (5 folhas e início do florescimento). Colunas em verde e círculo fechado representam a aplicação no estádio de 5 folhas e colunas em marrom e círculo aberto no início florescimento. As médias são representadas pelo controle e o desvio padrão de 5 repetições biológicas independentes. \*Difere o controle em cada época na mesma dose do herbicida pelo teste t, a 5% de probabilidade de erro.

Muitas das vezes as plantas daninhas apresentam falhas no controle, e isso é atrelado, equivocadamente a supostas resistências a herbicidas. Na Figura 16 está representado um resumo ilustrativo dos estudos desenvolvidos no controle de *S. americanum* no momento ideal e fora do estádio ideal (florescimento). Destaca-se a importância do manejo adequado para evitar o reabastecimento do banco de sementes, início de níveis de resistência e perdas pela competição com as culturas de interesse econômico.



**Figura 16.** Esquema representando os principais resultados encontrados com a aplicação de diferentes doses de glyphosate e estágio de crescimento de *S. americanum*. Os estádios estão representados pelos dois modelos de plantas, 3-5 folhas e início do florescimento. Colunas em verde e círculo fechado representam a aplicação no estágio de 5 folhas e colunas em marrom e círculo aberto no florescimento. As médias são representadas pelo controle e o desvio padrão de 5 repetições biológicas independentes. \*Difere o controle em cada época na mesma dose do herbicida pelo teste t, a 5% de probabilidade de erro.

#### 4.4 CONCLUSÃO

O aumento da dose de glyphosate proporcionou maior controle, diminuição da altura, número de frutos e massa da matéria seca da parte aérea de *S. americanum*, quando a aplicação ocorreu no estágio de até 5 folhas.

Para aplicação no estágio de até 5 folhas, 180 g e.a ha<sup>-1</sup> de glyphosate é suficiente para a espécie *S. americanum* não produzir descendentes, para o estágio de florescimento a dose deve ser de 720 g e.a ha<sup>-1</sup>.

#### REFERÊNCIAS

- AGROFIT – Sistema de Agrotóxicos fitossanitários. Disponível em: <[http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>. Acesso em: 14 de julho de 2019.
- BAYLIS, A. D. Why glyphosate is a global herbicide: strengths, weaknesses and prospects. **Pest Management Science**, v. 56, p. 299-308, 2000.
- CRAIGMYLE, B. D. et al. Influence of weed height and glufosinate plus 2,4-D combinations on weed control in soybean with resistance to 2,4-D. **Weed Technology**, v. 27, p. 271-280, 2013.
- DENNIS, M. et al. Growth stage, temperature, and time of year affects the control of glyphosate-resistant and glyphosate-paraquat resistant *Conyza bonariensis* with saflufenacil. **Crop Protection**, v. 81, p. 129-137, 2016.
- DUKE, S. O.; POWLES, S. B. Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. **Pest management science**, v. 64, p. 319-325, 2008.
- DUKE, S. O. Biotechnology: Hebicide-Resistant crops. **Encyclopedia of Agriculture and Food Systems**, v. 2, 2014.
- FORTE, C. T. et al. Cultivation systems, vegetable soil covers and their influence on the phytosocology of weeds. **Planta Daninha**, v. 36, p. 1-15, 2018a.
- FORTE, C. T. et al. Chemical and environmental factors driving *Solanum americanum* Mill. Germination. **Weed Biology and Management**. No prelo. 2019.

- FORTE, C.T. et al. Soil management systems and their effect on the weed seed bank. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, p. 435-442, 2018b.
- HEAP, I.; DUKE S. O. Overview of glyphosate-resistant weeds worldwide. **Pest Management Science**, v. 74, p. 1040-1049, 2018.
- JALALUDIN, A. et al. Multiple resistance across glufosinate, glyphosate, paraquat and ACCase-inhibiting herbicides in an *Eleusine indica* population. **Weed Research**, v. 55, p. 82-89, 2015.
- LATI, R. N. et al. Wild poinsettia biology and management—determining optimal control with herbicides and propane flaming. **Crop Protection**, v. 115, p. 20-26, 2019.
- LATI, R. N. et al. Effect of tuber density and trifloxysulfuron application timing on purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) control. **Weed Science**, v. 60, p. 494-500, 2012.
- LOPEZ-OVEJERO, R. F. et al. Frequency and dispersal of glyphosate-resistant sourgrass (*Digitaria insularis*) populations across brazilian agricultural production areas. **Weed Science**, v. 65, p. 285-294, 2017.
- LORENZI, H. 2017. **Manual de Identificação e de Controle de Plantas Daninhas: plantio direto e convencional**. Ed. 7, Plantarum, Nova Odessa, 338p.
- MAYEROVÁ, M. et al. Effect of chemical weed control on crop yields in different crop rotations in a long-term field trial. **Crop Protection**, v. 114, p. 215-222, 2018.
- OKUMU, M. N. et al. Growth-stage and temperature influence glyphosate resistance in *Conyza bonariensis* (L.) Cronquist. **South African Journal of Botany**, v. 121, p. 248-256, 2019.
- PEREIRA, W. V.; MAY-DE-MIO, L. L. First report of *Corynespora cassiicola* causing leaf spot on *Solanum americanum* in Brazil. **Journal of Plant Pathology**. 2019.
- PERRY, E. D. et al. Product concentration and usage: Behavioral effects in the glyphosate market. **Journal of Economic Behavior & Organization**. v.158, p. 543-559, 2019.
- RIOS, S. I. et al. Tolerance of *Amaranthus palmeri* populations from California to postemergence herbicides at various growth stages. **Crop Protection**, v. 87, p. 6-12, 2016.
- SBCPD - Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (1995). **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina, SBCPD. 42p.
- SCURSONI, J. A. et al. Weed escapes and delayed weed emergence in glyphosate-resistant soybean. **Crop Protection**, v. 26, p. 212-218, 2007.
- SHRESTHA, A. et al. Growth stage influences level of resistance in glyphosate-resistant horseweed. **California Agriculture**, v. 61, p. 67-70, 2007.
- VANGESSEL, M. J. et al. Influence of glyphosate-resistant horseweed (*Conyza canadensis*) growth stage on response to glyphosate applications. **Weed Science**, v. 23, p. 49-53, 2009.

WESTWOOD, J. H. et al. Weed Management in 2050: Perspectives on the Future of Weed Science. **Weed Science**, v. 66, p. 275-285, 2018.

YANG, X. et al. Short-term transport of glyphosate with erosion in Chinese loess soil — a flume experiment. **Science Total Environ.** v. 512-513, p. 406-414, 2015.

## 5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

*Solanum americanum* Mill. é uma espécie muito dependente da alternância de temperatura e semeadura na superfície do solo, sem cobertura vegetal, para promover a germinação das sementes.

A lavagem das sementes não influenciou no aumento da germinação e a utilização de substância que promovem a superação de dormência, como ácido giberélico (AG<sub>3</sub>) e nitrato de potássio (KNO<sub>3</sub>) apresenta-se como promotores para aumentar a germinação das sementes.

Foi possível constatar que *S. americanum* não apresenta resistência ao herbicida glyphosate, porém a espécie está adquirindo níveis de resistência, necessitando cuidados para que esses níveis não aumentem para futuras resistências.

É importante salientar que o melhor controle de *S. americanum* se dá em estádios jovens, ou seja, até 5 folhas. Ao passo que quando essa aplicação se estende ao florescimento a produção de descendentes pode alimentar o banco de sementes com mínimas falhas de aplicação, aumentando chance de adquirir resistência e competindo com as culturas de interesse econômico.

Estratégias de controle utilizando uma diversidade de herbicidas e a união de vários métodos de manejo são, sem dúvidas, a essência para atingir a máxima eficiência no controle das plantas daninhas, nesse caso *S. americanum*.

Os resultados compilados nesse trabalho ajudam a entender a biologia germinativa da espécie e os possíveis métodos de manejo aumentar os níveis de controle. É perceptível a crescente presença de *S. americanum* nas lavouras produtoras de grãos da região Sul do Brasil, assim pesquisas que antecipam problemas futuros dos agricultores, podem ser de extrema importância para a agricultura.