

REAÇÃO DE *DIGITARIA INSULARIS* RESISTENTE AO GLIFOSATO A
FITONEMATOIDES

por

WILLYAN ALVES REZENDE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Bioenergia e Grãos.

Rio Verde – GO

Abril – 2025

REAÇÃO DE *DIGITARIA INSULARIS* RESISTENTE AO GLIFOSATO A
FITONEMATÓIDES

Por

WILLYAN ALVES REZENDE

Comitê de Orientação:

Orientadora: Profa. Dra. Renata Pereira Marques – IF Goiano – Campus Rio Verde

Coorientador: Prof. Dr. Adriano Jakelaitis – IF Goiano – Campus Rio Verde

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

R467r	Rezende, Willyan Alves Reação de Digitaria Insularis Resistente ao Glifosato a Fitonematoides / Willyan Alves Rezende. Rio Verde 2025. 48f. il. Orientadora: Prof^a. Dra. Renata Pereira Maques. Coorientador: Prof. Dr. Adriano Jakelaitis. Dissertação (Mestre) - Instituto Federal Goiano, curso de 0233154 - Mestrado Profissional em Bioenergia e Grãos - Integral (Campus Rio Verde). 1. Herbicida. 2. Nematoides. 3. Plantas Daninhas. 4. Patógeno. I. Título.
-------	--



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 19/2025 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

REAÇÃO DE DIGITARIA INSULARIS RESISTENTE AO GLIFOSATO A FITONEMATOIDES

Autor: Willyan Alves Rezende
Orientadora: Renata Pereira Marques

TITULAÇÃO: Mestre em Bioenergia e Grãos - Área de Concentração Agroenergia

APROVADA em 11 de abril de 2025.

Assinado eletronicamente
Me. Anderson Guerra
Avaliador externo - Corteva Agriscience

Assinado eletronicamente
Prof. Dr. Leonardo de Castro Santos
Avaliador interno - IF Goiano Campus

Hidrolândia

Assinado eletronicamente
Prof.^a Dr.^a Renata Pereira Marques
Presidente da Banca - IF Goiano Polo de Inovação

Documento assinado eletronicamente por:

- Renata Pereira Marques, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 11/04/2025 16:52:53.
- Leonardo de Castro Santos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 11/04/2025 17:34:37.
- Anderson Guerra, 364.773.828-06 - Usuário Externo, em 23/04/2025 19:19:40.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 06/12/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 659227
Código de Autenticação: 67e9a00b4a



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3624-1000



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 36/2025 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

ATA Nº 108 (CENTO E OITO)

BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos onze dias do mês de abril do ano de dois mil e vinte e cinco, às 14h30min (quatorze horas e trinta minutos), reuniram-se os componentes da banca examinadora em sessão pública realizada por videoconferência na plataforma Google Meet, para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, de autoria de **WILLYAN ALVES REZENDE**, discente do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pela presidente da Banca Examinadora, Prof.^a Dr.^a Renata Pereira Marques, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida ao autor da Dissertação que, em 30 min, procedeu a apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o examinado, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos, e procedida às correções recomendadas, a Dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM BIOENERGIA E GRÃOS**, na área de concentração Agroenergia, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGBG da versão definitiva da Dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa perderá a validade, se não cumprida essa condição, em até **60 (sessenta) dias** da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Dissertação em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação de Mestrado, e para constar, foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada eletronicamente pelos membros da Banca Examinadora.

Membros da Banca Examinadora

Nome	Instituição	Situação no Programa
Renata Pereira Marques	IF Goiano – Polo de Inovação	Presidente
Leonardo de Castro Santos	IF Goiano – Campus Hidrolândia	Membro interno
Anderson Guerra	Corteva Agriscience	Membro externo

Documento assinado eletronicamente por:

- Renata Pereira Marques, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 11/04/2025 16:47:14.
- Leonardo de Castro Santos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 11/04/2025 17:34:00.
- Anderson Guerra, 364.773.828-06 - Usuário Externo, em 23/04/2025 19:20:37.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 06/12/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 659222

Código de Autenticação: 680235cea0



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 011, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

☐ Tese (doutorado)	☐ Artigo científico
☒ Dissertação (mestrado)	☐ Capítulo de livro
☐ Monografia (especialização)	☐ Livro
☐ TCC (graduação)	☐ Trabalho apresentado em evento
☐ Produto técnico e educacional - Tipo:	
Nome completo do autor:	Matrícula:
Willyan Alves Rezende	2023102331540017
Título do trabalho:	
REAÇÃO DE DIGITARIA INSULARIS RESISTENTE AO GLIFOSATO A FITONEMATÓIDES	

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: / /

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente
WILLYAN ALVES REZENDE
Data: 15/05/2025 17:07:34-0300
Verifique em <https://validar.ifg.gov.br>

Local

/ /

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Página de assinaturas



Renata Marques
006.253.351-71
Signatário

HISTÓRICO

22 mai 2025 09:12:23		Renata Pereira Marques criou este documento. (Email: renata.marques@ifgoiano.edu.br, CPF: 006.253.351-71)
22 mai 2025 09:12:24		Renata Pereira Marques (Email: renata.marques@ifgoiano.edu.br, CPF: 006.253.351-71) visualizou este documento por meio do IP 200.137.236.107 localizado em Goiânia - Goiás - Brazil
22 mai 2025 09:12:28		Renata Pereira Marques (Email: renata.marques@ifgoiano.edu.br, CPF: 006.253.351-71) assinou este documento por meio do IP 200.137.236.107 localizado em Goiânia - Goiás - Brazil

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar a saúde e a oportunidade de chegar até aqui.

Agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, por toda estrutura e oportunidades concedidas nos anos de estudos.

Agradeço aos professores, que fizeram parte da minha formação e contribuíram com tanto conhecimento para o meu desenvolvimento profissional.

Agradeço a minha orientadora, Dra. Renata Pereira Marques, e ao meu coorientador, Dr. Adriano Jakelaite, por toda a oportunidade, suporte e conhecimento que me proporcionaram em todo período, sempre que precisei, para a realização dos meus trabalhos.

Agradeço também a toda minha família, minha mãe, tia, esposa, filhos e minha avó materna que infelizmente não está mais presente fisicamente, por fazerem parte da minha trajetória.

Agradeço aos meus amigos, que fizeram toda a diferença nesse período.

SUMÁRIO

RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	2
1. INTRODUÇÃO.....	3
2. OBJETIVOS.....	6
2.1 Geral.....	6
2.2. Específicos.....	6
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
3.1. Plantas daninhas.....	7
3.2. Interferência das plantas daninhas na lavoura.....	8
3.3. Capim-amargoso.....	10
3.4. Resistência, hospedagem de pragas e doenças.....	11
3.5. Nematoides.....	12
3.6 Nematoides em plantas daninhas.....	14
3.7 Respostas das plantas à patogenicidade.....	16
3.8 Enzimas β -1,3 glucanase, quitinase, fenilalanina amônia-liase e lipoxigenase.....	16
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
4.1. Coleta das sementes.....	19
4.2. Hospedabilidade de <i>Digitaria insularis</i> a <i>Pratylenchus brachyurus</i> , <i>Heterodera glycines</i> e <i>Meloidogyne incognita</i>	19
4.3. Determinação da atividade das enzimas β -1,3 glucanase, quitinase, fenilalanina amônia-liase e lipoxigenase em plantas <i>D. insularis</i> desafiadas com <i>P. brachyurus</i>	21
4.4. Condições de plantio e ensaio de dose-resposta de Glifosato.....	22
4.5. Análises de acúmulo de biomassa vegetal.....	23

4.6. Ácido chiquímico.....	23
4.7. Teor de Clorofila.....	24
4.8. Análise de Fluorescência de imagem.....	24
4.9. Anatomia foliar de três populações de <i>D. insularis</i>	25
4.10. Análise estatística.....	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
5.1.Fator de reprodução e proteínas relacionadas à patogênese.....	27
5.2.Teor de clorofila.....	31
5.3.Acúmulo de biomassa vegetal.....	35
5.4.Acúmulo de ácido chiquímico.....	35
5.5.Alterações anatômicas	40
6.	
CONCLUSÃO.....	443
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

REAÇÃO DE *DIGITARIA INSULARIS* RESISTENTE AO GLIFOSATO A FITONEMATOIDES

por

WILLYAN ALVES REZENDE

Sob Orientação da Professora Profa. Dra. Renata Pereira Marques - IF Goiano – Campus Rio Verde

RESUMO

O capim-amargoso (*Digitaria insularis*(L.) Fedde) é uma planta daninha de difícil controle, especialmente problemática no sistema de sucessão soja-milho safrinha, situação que se agrava pelo sistema de plantio direto. A principal estratégia de controle é o uso de herbicidas, principalmente o glifosato, porém o uso recorrente levou ao desenvolvimento de biótipos resistentes. O capim-amargoso pode atuar como hospedeiro alternativo de nematoides e outras pragas. O objetivo deste estudo foi analisar a hospedabilidade de *D. insularis* a *Pratylenchus brachyurus*, *Heterodera glycines* e *Meloidogyne javanica*, bem como avaliar biótipos (oriundos de áreas agrícolas e urbanas) de *D. insularis* sob curvas dose-repostas de glifosato e o padrão dos índices morfofisiológicos e enzimáticos. O capim-amargoso *D. insularis* mostrou-se suscetível ao nematoide *P. brachyurus*, enquanto não ocorreu a reprodução de *H. glycines* e *M. javanica* demonstrou pouca agressividade, destacando a resposta enzimática das plantas ao estresse causado por *P. brachyurus*, observando atividade enzimática variável (PAL, LOX, GLU) em plantas inoculadas, evidenciando defesa. As populações de *D. insularis*, inclusive a urbana, demonstraram baixa sensibilidade ao glifosato.

PALAVRAS-CHAVE: Herbicida, Nematoides, Plantas daninhas, Patógeno

GLYPHOSATE-RESISTANT *DIGITARIA INSULARIS* REACTION TO PHYTONEMATOIDS

by

WILLYAN ALVES REZENDE

Under the Guidance of Professor Dr. Renata Pereira Marques - IF Goiano – Rio Verde
Campus

ABSTRACT

The Sourgrass (*Digitaria insularis* (L.) Fedde) is a weed difficult to control, especially problematic in the soybean-corn succession second crop, a situation that is aggravated by the direct planting system. The main control strategy is the use of herbicides, mainly glyphosate, however, recurrent use has led to the development of resistant biotypes. Sourgrass can act as an alternative host for nematodes and other species. The objective of this study was to analyze the hostability of *D. insularis* to *Pratylenchus brachyurus*, *Heterodera glycines* and *Meloidogyne javanica*, as well as to evaluate biotypes (natives of agricultural and urban areas) of *D. insularis* on dose-refueling curves of glyphosate and the basis of two morphophysiological and enzymatic indices. The Sourgrass *D. insularis* was shown to be susceptible to the nematoid *P. brachyurus*, while there was no indication of *H. glycines* reproduction and *M. javanica* shown to be aggressive, highlighting the enzymatic response of plants to the stress caused by *P. brachyurus*, observing variable enzymatic activity (PAL, LOX, GLU) in inoculated plants, evidencing defense. The *D. insularis*, even in urban areas, demonstrate low sensitivity to glyphosate.

KEYWORDS: Herbicide, Nematodes, Weeds, Pathogen

1. INTRODUÇÃO

Dentre as plantas daninhas de difícil controle que têm aumentado de importância no sistema de sucessão soja-milho safrinha, o capim-amargoso (*Digitaria insularis*[L.] Fedde) é uma das espécies que merece mais atenção aos produtores (Da Silva *et al.*, 2017).

O gênero *Digitaria* sp. compreende a cerca de 300 espécies de plantas daninhas descritas. Essas espécies são distribuídas em diferentes regiões do mundo, de clima tropical e subtropical, por causa do difícil controle e agressividade. O gênero é de grande importância econômica (Canto-Dorow, 2001). O capim-amargoso é nativo das regiões tropicais e subtropicais das Américas, com ocorrência dos Estados Unidos até o sul do continente na região da Argentina, sendo amplamente disseminado nas principais áreas agrícolas do mundo (Cabi, 2019). É uma questão especialmente problemática em áreas do centro-oeste do Brasil que realizam a sucessão soja-milho.

Com a implementação do sistema de plantio direto, esta espécie de planta daninha vem crescendo na agricultura brasileira, devido as características de agressividade (Gemelli *et al.*, 2013). A dispersão é feita principalmente por sementes leves, fato que permite a disseminação a longas distâncias, essa é uma espécie de ciclo perene, e tem aptidão de germinar, crescer e desenvolver-se praticamente o ano todo (Gazola *et al.*, 2016). Esta espécie caracteriza-se por ser uma planta de difícil controle, em decorrência da velocidade de crescimento, da dificuldade de controle de plantas já entouceiradas, da adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas e do aumento da população de biótipos resistentes ao glifosato no Brasil (Silva *et al.*, 2017).

O manejo para o controle do capim-amargoso baseia-se principalmente no uso de químicos, o uso de herbicidas, especialmente o glifosato, que é a molécula mais empregada. Porém, o uso desordenado, aliado a não utilização de outros métodos de controle, proporciona

a seleção de populações de indivíduos resistentes, como relatado em diversas partes do mundo e inclusive no Brasil (Andrade *et al.*, 2020).

O glifosato é um herbicida de grande importância mundial, é o mais utilizado no mundo, sendo empregado por muitos anos no controle de plantas daninhas anuais e/ou perenes em diversos sistemas de produção (Melo *et al.*, 2017). O glifosato é o único herbicida que pode ser utilizado em qualquer estágio do ciclo da planta daninha, embora não seja eficaz no controle de biótipos resistentes.

Os mecanismos que conferem resistência dessa espécie estão relacionados a menor velocidade de absorção do glifosato por biótipos resistentes. Além disso, a translocação também é muito menor em biótipos resistentes em relação aos susceptíveis. Adicionalmente, uma vez que a planta esteja estabelecida, com o início da formação dos rizomas e posteriormente à formação de grandes touceiras, torna-se muito difícil o controle (Carvalho, 2011).

Dentre os vários agentes que podem causar danos as culturas, eventualmente usam plantas daninhas como hospedeiras, e assim não há quebra de ciclo da praga, afetando, conseqüentemente, as culturas. Destacam-se os nematoides, microrganismos multicelulares que colonizam as plantas e causam danos como destruição do sistema radicular, formação de nodulações e lesões necróticas, prejudicando a absorção de água e nutrientes.

Um dos principais nematoides responsáveis por prejuízos nas áreas agrícolas brasileiras é o nematoide das lesões radiculares (*P. brachyurus*), que destrói as células do sistema radicular das plantas atacadas. Embora existam poucos estudos sobre a capacidade das plantas daninhas em hospedar o *P. brachyurus*, há mais informações disponíveis para outras espécies de nematoides (Braz *etal.*, 2016).

Diferentes opções para melhor controlar a infestação desses patógenos no ambiente de produção são de extrema importância. Recentemente, tem sido observada uma conexão entre a

presença de plantas daninhas no solo, especialmente aquelas que são resistentes aos métodos químicos de manejo, e a disseminação dos fitonematoides. Essa relação tem causado sérios problemas de infestação de nematoides no mundo, principalmente em áreas com plantas daninhas comuns e densas populações, como o capim-amargoso. A confirmação ou refutação dessa teoria será valiosa para os agricultores na escolha e aplicação de herbicidas, proporcionando um controle mais eficaz da presença de nematoides no solo.

Desenvolver uma ferramenta eficaz para lidar com a resistência de plantas daninhas a herbicidas e, ao mesmo tempo, diminuir o uso dessas espécies como hospedeiras alternativas de *Pratylenchus brachyurus*, *Heterodera glycines* e *Meloidogyne javanica* é uma opção vantajosa para a agricultura em Goiás.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

O objetivo deste estudo foi analisar a hospedabilidade de *D. insularis* a *Pratylenchus brachyurus*, *Heterodera glycines* e *Meloidogyne javanica*, bem como avaliar biótipos de *D. insularis* sob curvas dose-repostas de glifosato e o padrão dos índices morfofisiológicos.

2.2. Específicos

Avaliar a infestação e a reprodução de *P. brachyurus*, *H. glycines* e *M. javanica* em diferentes biótipos de *D. insularis*.

Investigar a suscetibilidade de *D. insularis* a *H. glycines*, *P. brachyurus* e *M. javanica*, analisando a dinâmica populacional dos nematoides nas raízes.

Analisar a resposta dos diferentes biótipos de *D. insularis* a doses crescentes de glifosato, estabelecendo as curvas dose-resposta.

Examinar as alterações nos índices morfofisiológicos dos biótipos de *D. insularis* em função da aplicação de glifosato.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Plantas daninhas

Ao longo dos tempos, muitos termos surgiram, e continuam surgindo, para descrever o que chamamos de planta daninha. Além dessa expressão, podem ser encontrados sinônimos, como plantas infestantes, invasoras, voluntárias, espontâneas. Também existem denominações mais informais, tais como mato, tigueria, inço e juquira, dentre outras. De modo geral, todos esses termos estão relacionados à indesejabilidade de certas espécies vegetais em atividades humanas. Especialmente nas práticas agrícolas, as plantas daninhas são vistas como problemáticas pelos prejuízos que ocasionam à produtividade agrícola e aos custos de produção (Silva *et al.*, 2021).

As plantas daninhas são vegetais que surgem espontaneamente em sistemas agrícolas e competem por recursos como água, luz e nutrientes e possuem maior habilidade que as plantas cultivadas no recrutamento destes recursos. Durante a disputa pela luz, as plantas daninhas enfrentam uma desvantagem inicial, uma vez que possuem sementes menores e plântulas menores. Nesse estágio, as plantas cultivadas destacam-se por serem mais altas conseguindo bloquear a luz com maior eficiência. No entanto, as espécies daninhas possuem grande habilidade de estiolamento quando estão sombreadas, permitindo que rapidamente superem a desvantagem, posicionando suas folhas ao mesmo nível ou até acima das folhas das culturas, interceptando a radiação solar (Brighenti & Oliveira 2011).

Essa competição pode levar a diferentes níveis de prejuízo nas culturas de valor econômico, o que varia de acordo com a comunidade de plantas daninhas, além de fatores culturais, ambientais e a duração da convivência entre elas (Silva *et al.*, 2021). As plantas

daninhas são naturalmente adaptadas ao meio em que se encontram e têm habilidade para desenvolver-se com rapidez, especialmente quando comparadas às plantas cultivadas, que foram escolhidas e selecionadas geneticamente com ênfase na produtividade (Cury *et al.*, 2011).

Essas espécies, ao longo do tempo, foram capazes de desenvolver características que asseguram a sobrevivência em ambientes com diferentes tipos e intensidades de restrições ao crescimento e desenvolvimento das plantas. Tais características dificultam a obtenção de um controle eficaz das plantas daninhas, sendo conhecidas como características de agressividade (Brighenti & Oliveira 2011). As plantas daninhas são reconhecidas também como hospedeiras alternativas para vários fitonematoides. Elas possibilitam que os nematoides mantenham populações elevadas, mesmo durante a entressafras, atuando, dessa forma, como uma fonte de inóculo para a próxima safra (Oliveira *et al.*, 2023).

Em infestação natural, é possível observar a presença de plantas daninhas que possuem ciclos de vida anuais, bianuais e perenes. As espécies anuais concluem o ciclo biológico em um único ano, enquanto as bianuais o fazem em até dois anos, e as perenes demoram mais de dois anos para completar o ciclo (Blanco, 2014).

3.2. Interferência das plantas daninhas na lavoura

O grau de interferência entre as plantas cultivadas e as plantas daninhas depende de diversos fatores relacionados à comunidade infestante, composição específica, densidade e distribuição e a própria cultura, gênero, espécie ou cultivar, espaçamento entrelinhas de cultivo e densidade de semeadura (Bife *et al.*, 2018).

As pesquisas sobre a influência de plantas nas culturas agrícolas visam determinar os momentos críticos de interação entre as culturas e as comunidades infestantes. Pitelli e Durigan (1984) classificaram esses momentos em três fases: o Período Total de Prevenção à

Interferência (PTPI), o Período Anterior à Interferência (PAI) e o Período Crítico de Prevenção à Interferência (PCPI). O PTPI representa o intervalo que se inicia com a semeadura ou o transplante, durante o qual a cultura deve estar isenta de determinadas plantas para evitar um impacto negativo significativo na produtividade. Após esse intervalo, as culturas autocontrolam-se, devido à cobertura do solo. O PAI representa a fase inicial do ciclo da cultura, em que a convivência com plantas não prejudica a produtividade, permitindo que as plantas cresçam sem necessidade de controle.

O PCPI, por sua vez, é o intervalo entre o PAI e o PTPI, em que práticas de controle devem ser inovadoras para evitar perdas produtivas. O entendimento desses períodos é fundamental para a adoção eficaz de métodos de controle, tanto mecânicos quanto químicos, a fim de minimizar os impactos negativos das plantas daninhas na agricultura (Bife *et al.*, 2018).

Para a implementação de programas de controle integrado de plantas daninhas, é fundamental entender os períodos que essas plantas afetam as culturas. Além disso, é importante ter conhecimento sobre a previsão da emergência das plantas infestantes e o efeito que elas exercem (Rodrigues *et al.*, 2010).

Os danos aos cultivos agrícolas causados pela presença de plantas daninhas não são apenas decorrentes da competição. Há uma série de pressões ambientais que podem ser consideradas, algumas delas diretas, como a competição, competindo por água e luz e a alelopatia, que é o efeito prejudicial de uma planta sobre outra através da produção de compostos químicos liberados no ambiente, e outras indiretas, como a função dessas plantas como hospedeiras de pragas e doenças e nematoides. O impacto combinado desses fatores é conhecido como interferência, que se refere a um conjunto de ações (Brighenti; Oliveira 2011).

A influência das plantas daninhas nos cultivos agrícolas por meio da competição por recursos é uma das principais causas de perdas de produtividade. O potencial de perda é

causado por diferentes plantas daninhas em diferentes culturas. As perdas estão relacionadas principalmente por recursos importantes para desenvolvimento das plantas, como água, CO², luz e nutrientes. É importante conhecer as principais plantas daninhas que ocorrem e que causam prejuízos na cadeia agrícola, para que seja possível identificar soluções para diferentes problemas em relação ao manejo, de modo que seja possível atuar para reduzir os danos ocasionados pela interferência de plantas daninhas (Ulguim *et al.*, 2022).

3.3. Capim-amargoso

A planta daninha *D. insularis* (L.) Fedde, popularmente chamada de capim-amargoso, capim-açu, capim-flexa e capim-pororó, é comum em locais como pastagens degradadas, lavouras perenes, margens de estradas, terrenos abandonados e sistemas de cultivo direto. É nativa de regiões tropicais e subtropicais da América, tendo ocorrência desde o sul dos EUA até o norte das estepes pampeanas argentinas, e, no Brasil, as regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste apresentam grande intensidade de infestação (Piazzentine, 2021).

É uma planta herbácea, perene, rizomatosa, da família Poaceae, que possui folhas com cerca de 45 cm de comprimento e 15 mm de largura, alcançando a altura de aproximadamente 50 a 100 cm. Além disso, apresenta sementes com pilosidade que auxiliam na dispersão a longas distâncias, e um sistema radicular composto por rizomas curtos, ramificados e fibrosos, sendo uma espécie de ciclo perene com metabolismo fotossintético do tipo C4 (Melo, 2015). A ocorrência desta espécie tem aumentado nas áreas agrícolas que não possuem culturas de cobertura estabelecidas na entressafra, fato que está diretamente ligado à resistência ao glifosato, que é o herbicida mais utilizado para o controle de plantas daninhas (Gazola *et al.*, 2016).

O capim-amargoso é altamente agressivo em relação a outras plantas devido às características eficientes de propagação, que ocorre principalmente por meio de sementes que

apresentam diversos pelos que facilitam a dispersão por longas distâncias (Gaspar *et al.*, 2019). A sobrevivência e multiplicação também dependem dos rizomas, tecidos no qual armazenam nutrientes ricos em amido. Essas estruturas podem formar uma barreira que impede a translocação do herbicida, dificultando, assim, a ação e possibilitando uma rebrota rápida das plantas (Machado *et al.*, 2008).

Possui alto potencial de infestação, as plantas desenvolvem-se de forma eficaz tanto em solos de alta quanto de baixa fertilidade. Essa adaptabilidade permite que o capim-amargoso se reproduza durante todo o ano, tornando uma praga persistente e desafiadora para o manejo agrícola. Além disso, a capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais facilita a disseminação em diversas áreas (Carvalho, 2011).

3.4. Resistência, hospedagem de pragas e doenças

O capim-amargoso (*D. insularis*) destaca-se entre as principais espécies resistentes ao glifosato no Brasil. Estudos mostram que, quando não manejado adequadamente, pode ocasionar perdas significativas na produtividade, além dos prejuízos diretos que as plantas daninhas causam à agricultura, devido ao alto nível de interferência e competição por recursos naturais (Matias *et al.*, 2018).

O uso contínuo do glifosato ao longo dos anos, especialmente em áreas cultivadas com culturas tolerantes ao herbicida, resultou em forte pressão de seleção sobre populações de *D. insularis* presentes em áreas agrícolas dos estados produtores de grãos e culturas perenes. Considerando todos os fatores biológicos, faz com que alguns agricultores possam acreditar que a maior tolerância ao glifosato em plantas de *D. insularis* após a perenização, seja pela resistência ao herbicida, em função da existência de populações com diferentes níveis de tolerância, seja pelo aumento gradual na dose de glifosato necessária para controlar o capim-amargoso durante o desenvolvimento (Melo, 2015).

Entre os diferentes agentes causadores de doenças que as plantas daninhas podem hospedar, destacam-se os nematoides, que são microrganismos multicelulares que colonizam as plantas promovendo danos como a destruição do sistema radicular, formação de nodulações ou lesões necróticas nas raízes, limitando a absorção de água e nutrientes(Braz *et al.*,2016). Entretanto, as plantas daninhas também atuam como hospedeiros alternativos para uma variedade de patógenos que prejudicam as lavouras. Dessa forma, essas plantas são reconhecidas como ótimos hospedeiros alternativos de nematoides que parasitam plantas. A presença pode dificultar o manejo integrado de pragas, pois oferece um refúgio seguro para nematoides durante os períodos em que as culturas principais estão em estágios de menor suscetibilidade (Brighenti & Oliveira 2011).

A presença de plantas daninhas que atuam como hospedeiras de fitonematoides é especialmente significativa nas zonas tropicais e subtropicais, em que as condições climáticas e ambientais favorecem o crescimento dessas plantas ao longo de todo o ano. Essa situação, somada a grande diversidade de espécies de plantas daninhas, a ampla distribuição geográfica, a alta capacidade de propagação e a contínua evolução de genótipos resistentes a herbicidas, torna a presença de plantas daninhas um fator preocupante nas áreas de cultivo. As diferentes espécies de plantas daninhas possibilitam a sobrevivência dos nematoides na ausência de culturas agrícolas e, assim, conseguem sustentar as populações nos intervalos entre as colheitas. Nesse sentido, as plantas daninhas servem como fonte de inóculo de nematoides para a próxima estação. Durante esse processo, as plantas daninhas podem contribuir para a manutenção e até o aumento das populações de fitonematoides no solo e nos agroecossistemas, dificultando posteriormente o controle desses nematoides(Ramos *et al.*, 2019).

3.5. Nematoides

Os nematoides parasitas de plantas são pragas importantes na maioria dos sistemas produtivos. Os fitonematoides são ainda relativamente pouco conhecidos do homem, apesar dos enormes prejuízos que podem causar às espécies cultivadas (Lambert *et al.*, 2023). São organismos dinâmicos que se deslocam de maneira serpentina e habitam diversos ambientes como solo, rios, lagos e oceanos, sendo encontrados em áreas muito frias até regiões desérticas. Podem ser livres no ambiente ou parasitas de plantas, insetos e animais. Aqueles que habitam o solo apresentam hábitos alimentares variados, diferentes espécies de nematoides alimentam-se de fungos, bactérias, algas ou até mesmo de outros nematoides (Oliveira, 2023).

Segundo Ferraz e Monteiro (2011), os fitonematoides são um tipo de nematoides que se alimentam de plantas, caracterizando-se como organismos tubulares e alongados. O corpo possui uma seção transversal circular, com um diâmetro praticamente constante ao longo do comprimento, afinando-se gradualmente na parte anterior e variando na parte posterior. Essa forma é conhecida como fusiforme ou vermiforme. De tamanho reduzido, esses organismos frequentemente passam despercebidos aos olhos humanos, com comprimento que varia entre 0,3 e 3 mm e diâmetro entre 0,015 e 0,050 mm (Freitaset *al.*, 2009).

Aproximadamente 100 espécies são registradas na classe Nematoda, com a maioria tendo ampla variedade de hospedeiros. No Brasil, diversas espécies foram associadas às principais plantas cultivadas, sendo *Meloidogyne incognitae* e *M. javanica* as mais relevantes, especialmente pelos danos que causam e ampla distribuição geográfica. Outro grupo que requer atenção é o nematoide das lesões radiculares, do gênero *Pratylenchus*, com destaque para as espécies *Pratylenchus brachyurus*, *P. penetrans* (Oliveira *et al.*, 2018). Outro grupo de destaque é o *H. glycines*, conhecido também como nematoide do cisto da soja. Este organismo é notável pela incrível adaptabilidade ao ambiente. Após alcançarem a fase adulta, os machos

abandonam as raízes, enquanto as fêmeas, que possuem a capacidade de causar infecção, permanecem. Dessa forma, a presença das fêmeas de *H. glycines* nas raízes de uma planta é indicativo do potencial dessa planta para hospedar o nematoide do cisto da soja (Braz *et al.*, 2016).

A presença de nematoides nas raízes das plantas provoca alterações que prejudicam o funcionamento radicular, comprometendo a absorção de água e nutrientes, resultando em plantas com baixos índices de produtividade (Lambert *et al.*, 2023). Os nematoides causam perdas principalmente na forma de redução de produção ou afetando a qualidade dos frutos produzidos, podendo alcançar níveis de perda de até 100% em altas infestações no início do plantio. Os danos causados podem variar de acordo com a densidade populacional inicial do patógeno no solo, da suscetibilidade do hospedeiro e das condições ambientais (Oliveira *et al.*, 2018).

3.6 Nematoides em plantas daninhas

Os nematoides conseguem reproduzir em plantas daninhas presentes em áreas de cultivo, e pode potencializar os danos, já que diversas dessas plantas atuam como hospedeiras naturais desses parasitas. Isso, de certa forma, resulta em aumento da quantidade de inóculo e dificulta a interrupção do ciclo do patógeno, dificultando, assim, a eficiência do controle destes parasitas (Lordello; Lordello; Paulo, 1988).

As plantas daninhas podem comportar-se de maneira distinta com relação à capacidade de hospedar nematoides. Algumas espécies de plantas daninhas apresentam liberação de substâncias químicas (alelopatia), que podem influenciar diretamente no desenvolvimento dos nematoides, e pode favorecer o aumento da população destes parasitas (Braz *et al.*, 2016).

Existem algumas diferenças quanto às respostas das plantas daninhas para a mesma espécie de nematoide, que podem ser atribuídas a variações de metodologias utilizadas em

diversos estudos, a variabilidade intraespecífica das plantas daninhas, ou da possível existência de variação fisiológica quanto ao parasitismo dos nematoides. Dentre as plantas com maior potencial de incremento populacional do nematoide, citam-se caruru-roxo *Amaranthus Hybridus*, mentrasto *Ageratum conyzoides*, erva-de-pai-de-caetano *Verbena litoralis*, mentruz *Coronopus didymus*, corda-de-viola *Ipomoea acuminata*, erva-de-bicho *Polygonum hydropiperoides* Michx, e joá-de-capote *Nicandra physaloides*. O joá-de-capote, embora não tenha diferido estatisticamente da poaia-branca e guanxuma quanto à produção de ovos, não pode ser citado como redutor da população do nematoide, pois permitiu a obtenção do Fator de Reprodução (FR) maior que um (Monaco *et al.*, 2009).

O FR é calculado pelo quociente entre a população final e a inicial de ovos para cada tratamento ($FR = Pf/Pi$), em que: Pf = população final e Pi = população inicial. O valor de FR é utilizado para realizar a classificação proposta por Oostenbrink (1966), qualificando as espécies como: Não hospedeiro (N/H) se $FR = 0$, resistente (R) se $FR < 1$ e suscetível (S) quando $FR > 1$.

Em um estudo conduzido por Araujo *et al.* (2023), a média de galhas observadas no sistema radicular das plantas daninhas variou entre 7,3 e 483,5, considerando diferentes espécies. Para as espécies erva-de-são-jão *A. conyzoides*, apaga-fogo *A. tenella*, picão-preto *B. pilosa*, corda-de-viola *Ipomoea acuminata*, maria-pretinha *S. americanum* e jurubeba *S. paniculatum*, foi verificado um Fator de Reprodução (FR) entre 1,2 e 9,4, classificando essas plantas como suscetíveis ao nematoide. Dentre elas, *Solanum paniculatum* destacou-se como a espécie com o maior fator de reprodução, alcançando 9,4, indicando alta hospitalidade ao *M. enterolobii*. ficando caracterizado que a maioria das plantas daninhas são susceptíveis a nematoides sendo um local propício para a colonização desses organismos.

3.7 Respostas das plantas à patogenicidade

Os nematoides criam locais de alimentação nas raízes das plantas, penetrando no córtex da raiz, realizando o ciclo de vida como endoparasitas. Uma das reações das plantas ao processo de alimentação destes parasitas é a formação de células gigantes multinucleadas, resultando no aumento das raízes laterais que se tornam curtas e grossas, provocando a interrupção do desenvolvimento das raízes. Durante o processo de infecção, os nematoides induzem mudanças na expressão gênica tanto no local de infecção quanto nas outras partes da planta (Santos, 2012).

Algumas ferramentas, como a análise de expressão gênica durante a infecção por nematoide nas plantas, têm ajudado a compreensão dos mecanismos de interação plantanematoide, além de acelerar o desenvolvimento de estratégias moleculares para aumentar a resistência das plantas. Quando a presença do parasitismo está abaixo do nível detectável pelo hospedeiro, ou seja, em populações muito baixas, os mecanismos de resistência não são ativados e o papel da tolerância nas interações planta-patógeno parece ainda ser pouco estudado (Marini, 2018).

Alterações no padrão de expressão gênica são previstas entre plantas que são resistentes e aquelas que são suscetíveis durante resposta de defesa. No entanto, estudos sobre transcriptomas em plantas indicam que a ativação dessa resposta de defesa está relacionada a variações quantitativas na expressão dos genes, o que sugere que a resposta basal desempenha papel essencial no reconhecimento do patógeno e no início da reação. Portanto, genes responsáveis pelo controle dessa resposta, como os genes que codificam fatores de transcrição, devem apresentar alterações significativas em sua expressão (Silvestrini *et al.*, 2005).

3.8 Enzimas β -1,3 glucanase, quitinase, fenilalanina amônia-liase e lipoxigenase

A indução de proteínas pode estar associada à origem de doenças causadas por infecções ou por substâncias químicas e fatores ambientais. As alterações nas atividades dessas enzimas-chave possibilitam monitorar o nível de resistência em plantas que foram expostas a patógenos (Macagnan *et al.*, 2008).

As lipoxigenases têm a função de catalisar a formação de hidroperóxidos a partir de ácidos graxos poli-insaturados, resultando na produção de compostos voláteis e da traumatina, um regulador que desempenha papéis importantes no crescimento, maturação, senescência e nas respostas de defesa das plantas. A fenilalanina amônia-liase é essencial para a biossíntese de fenilpropanóis e está envolvida na produção de monômeros de lignina, ácido salicílico, fitoalexinas e flavonoides (Almeida *et al.*, 2012).

As quitinases promovem a hidrólise das ligações β -1,4 das N-acetilglicosaminas, que são componentes da quitina presente nas paredes celulares dos fungos. Por sua vez, as β -1,3-glucanases realizam a hidrólise das β -1,3-glucanas encontradas nas paredes celulares e nos esporos dos fungos. Embora as quitinases e as β -1,3-glucanases não sejam expressas em grandes quantidades nas plantas, sua produção aumenta rapidamente em resposta a situações de estresse (Almeida *et al.*, 2012).

Enzimas antioxidantes, como a fenilalanina amônia-liase, desempenham papel fundamental na defesa das plantas. Quando uma planta é atacada por algum patógeno, ela é capaz de ativar essas enzimas para limitar os danos oxidativos. Esse mecanismo atua protegendo as células das plantas dos danos que podem ser causados durante o ataque de patógenos como fungos, bactérias e nematoides. Essas enzimas são essenciais para neutralizar radicais livres e outras espécies reativas de oxigênio, garantindo que as células das plantas continuem viáveis e resistam à penetração destes patógenos (Nascimento *et al.*, 2014).

As enzimas funcionam por meio de mecanismos de prevenção, bloqueando ou regulando a formação de radicais livres e espécies não-radicais, que estão relacionados ao

início das reações em cadeia, isso evita com propagação e a intensificação do processo, o que, por sua vez, previne a ocorrência de danos oxidativos (Barbosa *et al.*, 2010). Alterações na fisiologia da planta, após a entrada de algum patógeno, ativam mecanismos de defesa e podem explicar, pelo menos parcialmente, a diminuição da suscetibilidade das plantas a patógenos. Esses efeitos podem surgir por meio de mudanças na formação de lignina e aparecimento de novas isoformas das enzimas hidrolíticas, como quitinase e β -1,3-glucanase (Folli-Pereira *et al.*, 2012).

4. MATERIAL E MÉTODOS

O projeto foi realizado nos Laboratório de Fitopatologia e de Plantas Daninhas e na casa de Vegetação do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. O trabalho foi conduzido em dois ensaios. No primeiro, foi verificada a reação de biótipo resistente de *D. insularis* a três espécies de fitonematoides: *Pratylenchus brachyurus*, *Heterodera glycines* e *Meloidogyne incognita*. Já no segundo, foram analisadas respostas fisiológicas de três biótipos de *D. insularis* sob diferentes doses de glifosato.

4.1. Coleta das sementes

As sementes de capim-amargoso foram utilizadas no presente estudo em janeiro de 2020. O local de coleta das sementes das três populações está na Tabela 1. A população A e B constituem os biótipos sob intensa pressão de seleção e são oriundas de áreas agrícolas naturalmente infestadas e com histórico de aplicação de glifosato. A população C foi coletada em área urbana sem histórico de aplicação do glifosato, sendo, portanto, o biótipo suscetível.

Tabela 1. Local da coleta dos biótipos de *Digitaria insularis* utilizadas nos experimentos.

População	Biótipo	Município	Localização
A	Resistente	Rio Verde- GO	17°40'40.0"S 50°56'06.5"W
B	Resistente	Rio Verde- GO	17°38'35.5"S 50°56'25.1"W
C	Suscetível	Rio Verde- GO	17°48'13.0"S 50°54'40.0"W

4.2. Hospedabilidade de *Digitaria insularis* a *Pratylenchus brachyurus*, *Heterodera glycines* e *Meloidogyne incognita*

No Ensaio 1, diagnosticou-se a reação de *D. insularis* como hospedeira de fitonematoides. Sementes de capim-amargoso, provenientes de campos agrícolas e comerciais em Rio Verde – GO com histórico de aplicação (17°40'40.0"S 50°56'06.5"W), foram semeadas em bandejas de isopor com substrato. Sete dias após a emergência, as plântulas foram transplantadas para vasos de 5 L. Quatorze dias após o transplântio, as plantas de capim-amargoso foram inoculadas com os fitonematoides nas concentrações descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Concentração do inóculo dos nematoides.

Nematoide	Concentração de ovos e J2 por vaso de planta	Hospedeira padrão
<i>Pratylenchus brachyurus</i>	700	<i>Abelmoschus esculentus</i>
<i>Heterodera glycines</i>	2000	<i>Glycine max</i>
<i>Meloidogyne javanica</i>	2000	<i>Solanum lycopersicum</i>

Para fins de comparação, cada nematoide teve sua respectiva hospedeira padrão, com 7 repetições de cada nematoide. O inóculo foi produzido no próprio laboratório de fitopatologia. O experimento foi conduzido em condições de casa-de-vegetação. O solo utilizado foi solarizado para assegurar que não houvesse a presença de outros nematoides. Inicialmente, o solo foi peneirado e colocado sobre lona plástica, fazendo uma camada de 20 cm de altura, sendo posteriormente levemente umedecido sem deixar encharcar. Após este procedimento, o solo foi coberto por lona plástica transparente, a fim de elevar-se a temperatura interna pela exposição ao sol. Após 50 dias nesta condição, o solo foi então utilizado no experimento. Aos 50 dias após a infestação dos nematoides, as plantas foram retiradas cuidadosamente do vaso separando a parte aérea do sistema radicular. Esta foi levada ao Laboratório de Fitopatologia para a obtenção da população final e cálculo do fator de reprodução (FR) de cada nematoide ($FR = \text{população final} \div \text{população inicial}$), utilizando câmara de Peters e microscópio óptico.

Para tal fim, as raízes foram cortadas e trituradas utilizando a técnica do liquidificador, aliada à centrifugação em solução de sacarose, seguindo o método de Coolen e D'Herde (1972).

4.3. Determinação da atividade das enzimas β -1,3 glucanase, quitinase, fenilalanina amônia-liase e lipoxigenase em plantas *D. insularis* desafiadas com *P. brachyurus*

A fim de detectar respostas de defesa de *D. insularis* desafiada com *P. brachyurus*, as coletas foram feitas em 1, 2, 3, 7, 14 e 21 dias após a inoculação (DPI). Toda parte aérea da planta foi coletada, dez plantas por tratamento, e então acondicionadas em caixas de gelo e congeladas (-80°C) para uso posterior. Plantas tratadas com H₂O constituíam o controle negativo.

Extração de proteínas

As amostras da parte aérea das plantas de *D. insularis* foram maceradas em nitrogênio líquido e em cada amostra foi adicionado solução-tampão (Tris-HCl 10 mM; NaCl [150 mM]; EDTA [2 mM]; DTT [2 mM]; PMFS [1 mM]; Leptina [10 µg.mL⁻¹]; Aprotinina [10 µg.mL⁻¹]). Em seguida, as amostras foram agitadas num vortex durante 1 minuto e centrifugadas por 5 minutos a 10.000 rpm a 4°C. O sobrenadante foi utilizado para quantificar as proteínas solúveis totais e nos ensaios de determinação de atividade enzimática. Cinquenta µL de cada amostra foram transferidos para tubos do tipo Eppendorf acrescentando 1000 µL de CBB (comoassie brilliant blue). As amostras foram homogeneizadas e colocadas em repouso durante 15 minutos. Após, transferiu-se 100 µL para placas de Elisa as quais foram colocadas em espectrofotômetro (λ 597 nm). O conteúdo de proteínas solúveis totais no extrato bruto foi medido de acordo com o método de Bradford (1976), com albumina sérica bovina (BSA) como padrão.

β-1,3-Glucanase (EC 3.2.1.39) (GLU) e Quitinase (EC 3.2.1.14) (CHI)

Utilizou-se a metodologia descrita por Pan *et al.* (1991) com algumas modificações. Atividade de GLU, em extrato proteico de folhas de *D. insularis* de diferentes tratamentos, foi avaliada pela medição da taxa de redução de açúcar, utilizando laminarina como substrato. Para CHI, o substrato utilizado foi quitina coloidal. O reagente DNS (ácido dinitrosalicílico) foi usado como agente colorimétrico. A atividade foi expressa em unidades por miligrama de proteína (U.mg⁻¹). Uma unidade de atividade enzimática foi definida como atividade enzimática catalisando a formação de açúcares redutores que aumenta a absorbância de uma unidade por hora.

Fenilalanina Amônia-liase (EC 4.3.1.24) (PAL)

A atividade de fenilalanina amônia-liase foi determinada utilizando 2 ml de solução de fenilalanina 10 mM, em solução tampão borato 0,1 M, pH 9,0 e 50 µl de cada amostra, em triplicata. A mistura foi homogeneizada e submetida à quantificação em espectrofotômetro, em comprimento de onda 290 nm (ultravioleta) (Côrtes *et al.*, 2008).

Lipoxigenase (EC:1.13.11.12) (LOX)

A atividade de LOX foi determinada de acordo com Axelrod *et al.* (1981) usando ácido linoleico como substrato. 50 µl do extratos da parte aérea de *D. insularis* foram adicionados em 2 mL de solução de ácido linoleico (10 mM) em tampão fosfato (50 mM, pH 6.0) (0,1% v/v), em temperatura ambiente. A atividade de LOX foi quantificada em espectrofotômetro ($\lambda=234$ nm).

4.4. Condições de plantio e ensaio de dose-resposta de Glifosato

Os experimentos foram desenvolvidos em condições ambientes nos meses de dezembro de 2019 e janeiro e fevereiro de 2020. As sementes das três populações de capim-amargoso foram semeadas em bandejas de poliestireno para mudas contendo substrato para plantio em casa de vegetação. Sete dias após a semeadura, as plântulas germinadas foram transplantadas para vasos de 5 L. Quanto estavam no estágio de três a quatro folhas, as plantas de cada biótipo de *D. insularis* foram tratadas com as seguintes doses do glifosato (Roundup Original, 360 g L⁻¹; Monsanto, Brasil): 0,0, 0,0015625; 0,003125, 0,00625, 0,0125, 0,025 e 0,05 µL.L⁻¹, o que equivale, respectivamente a 0,2031; 0,4063; 0,8125; 1,625; 3,25, 6,5 e 13 kg. e. a. ha⁻¹. O glifosato foi aplicado por meio de um pulverizador costal pressurizado a CO₂, acoplado com uma ponta de pulverização do tipo leque. O pulverizador foi calibrado para aplicar 200 L ha⁻¹. Cada dose de cada um dos três biótipos teve quatro repetições, num total de 96 vasos. A aplicação foi feita quando as plantas estavam com a terceira folha verdadeira completamente desenvolvidas.

Aos 28º DAA, a mortalidade dos biótipos foi quantificada. A parte aérea das plantas foram colhidas ao nível do solo e colocadas individualmente em sacos de papel. As amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar por 72 horas e pesadas para determinar a matéria seca (MS). O experimento foi organizado de forma aleatória com seis repetições por dose e foi repetido.

4.5. Análises de acúmulo de biomassa vegetal

Sessenta dias após o plantio, quatro plantas por tratamento foram coletadas. As partes aéreas das plantas foram colocadas em envelopes de papel pardo para secagem em estufa de secagem a 70°C por 72h. Após isso, as plantas foram pesadas e a biomassa quantificada.

4.6. Ácido chiquímico

A determinação do ácido chiquímico foi efetuada segundo método proposto por Gaitonde e Gordon (1957) e Perez-Jones *et al.* (2005), com modificações. Foi coletada uma alíquota de 30 µL do sobrenadante e foram adicionados 500 µL de ácido periódico a 1%. Logo após, esse material foi colocado em banho-maria a 37°C por 45 min. Ao retirar as amostras do banho, foram acrescentados 500 µL de hidróxido de sódio (1 N) e 300 µL de glicina (0,1 M). Em seguida, a solução foi homogeneizada e efetuaram as leituras a 380 nm, em espectrofotômetro UV – VIS modelo Evolution 60S (Thermo Fischer Scientific®, Madison, Estudos Unidos), e os resultados expressos em mg g⁻¹ MF, realizados por meio do coeficiente de absortividade.

4.7. Teor de Clorofila

As leituras de clorofila foliar (índice de clorofila) foram realizadas em quatro plantas por tratamento com um medidor portátil (Falker ClorofiLOG® 1030), que forneceu os correspondentes teores de clorofila (Índice de Clorofila Falker – ICF) na primeira folha abaixo da folha bandeira. A seção intermediária do limbo foliar foi a parte avaliada nas leituras aos 7 e 21 dias após a aplicação (DAA).

4.8. Análise de Fluorescência de imagem

As imagens e os parâmetros de fluorescência da clorofila a foram obtidos usando um fluorômetro IMAGING-PAM (versão MAXI) e o software Imaging Win (Heinz Walz GmbH, Effeltrich, Alemanha). As primeiras avaliações foram realizadas em plantas adaptadas à escuridão, quando os centros de reação foram totalmente abertos (todos os aceitadores primários oxidados) com perda mínima de calor. Sob essa condição, os tecidos foliares foram

expostos a uma luz fraca ($0,03\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) para determinar a fluorescência escura (F_0). Em seguida, um pulso de luz saturante ($> 6000\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foi aplicado por 0,8s para determinar a fluorescência máxima (F_m). A partir dessas medidas iniciais, foi calculado o rendimento quântico máximo de PSII, $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$. Os tecidos foliares foram então expostos à luz actínica para obter a fluorescência (F). Posteriormente, um pulso de saturação foi aplicado para obter a máxima fluorescência (F_m'). O rendimento quântico efetivo do PSII, $\Phi_{II} = (F_m' - F)/F_m'$, foi calculado de acordo com Genty *et al.* (1989). Além disso, foram obtidos o Φ_{NO} e Φ_{NPQ} . O Φ_{II} foi utilizado para calcular a taxa aparente de fotossíntese, $ETR = Y(II) \times PAR \times \text{LeafABS} \times 0,5$ (Bilger *et al.*, 1995), em que PAR é o fluxo de fótons ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) nas folhas, LeafABS é a fração da luz incidente que é absorvida pelas folhas e 0,5 é a fração de energia de excitação direcionada ao PSII (Laisk & Loreto, 1996).

4.9. Anatomia foliar de três populações de *D. insularis*

Para realizar a análise anatômica dos três biótipos de *D. insularis* submetidos a 8 doses diferentes de glifosato, o material foliar foi amostrado ao acaso no vaso, coletando as folhas inteiramente expandidas aos 7, 21 e 35 dias, após a aplicação do herbicida.

O terço médio foram fixados em FAA 50 (formaldeído + ácido acético glacial + álcool 50%), durante 48 horas, sendo, posteriormente, conservadas em álcool 70% (Johansen, 1940), utilizando quatro repetições para cada tratamento. Após a fixação, as amostras foliares foram desidratadas em série etílica ascendente (90%, 96% e 100% por quatro, duas e uma hora, respectivamente). Em seguida, as amostras foram pré-infiltradas (etanol 95% + resina por 12 h) e infiltradas (~12h) em resina glicol-metacrilato, seguindo a técnica de Gerrits (1991). Os cortes transversais foram feitos utilizando micrótomo rotatório com espessuras de 4 a 8 μm e então submetidos à coloração com Azul de Toluidina 0,05% (O'Brien *et al.*, 1964). Após, foram montados em resina sintética (Permout).

As observações microscópicas das estruturas anatômicas das regiões da nervura central e a região compreendida entre a nervura central e a margem do limbo, foram feitas segundo Metcalfe (1960). As fotos foram obtidas no microscópio Trino com câmera digital acoplada (CMOS – 5 mp). Os limites e os contornos dos tecidos foram mensurados pelo software Mosaic 2.0 (Tucsen, Photonics Co., Ltd).

4.10. Análise estatística

Todos os dados obtidos foram submetidos à ANOVA e teste de Tukey ($p=0,05$). Para a análise do efeito dose-resposta da concentração do herbicida em variáveis fisiológicas, efetuaram-se estudos de regressão polinomial. A análise de componentes principais (PCA) reuniu as variáveis relacionadas com as respostas de defesa da planta em *D. insularis* inoculadas com *P. brachyurus*. A PCA foi realizada utilizando os pacotes Rcmdr e FactoMineR, ambos do software 'R' 2.15 (R Development Core Team, Vienna, Austria). Essa análise foi feita utilizando os efeitos multivariados das variáveis de defesa de resistência (GLU, CHI, PAL e LOX) em plantas inoculadas com *P. brachyurus*.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Fator de reprodução e proteínas relacionadas à patogênese

Tabela 3. Hospedabilidade de *Digitaria insularis* aos nematoides *Meloidogyne* spp., *Heterodera glycines* e *Pratylenchus brachyurus*.

Nematoide	Hospedeira	PF ¹	FR ²	Reação ³
<i>Pratylenchus brachyurus</i>	<i>Digitaria insularis</i>	1689	2,41	S
	<i>Glycine max</i>	2537	3,62	S
<i>Heterodera glycines</i>	<i>Digitaria insularis</i>	0	0	N/H
	<i>Glycine max</i>	5234	5,23	S
<i>Meloidogyne javanica</i>	<i>Digitaria insularis</i>	0	0	N/H
	<i>Solanum lycopersicum</i>	12034	6,017	S

¹População fina. ²FR = população final de ovos (Pf) / população inicial de ovos (Pi = 5.000). ³R = Resistente (FR < 1); S = Suscetível (FR > 1); N/H = Não hospedeiro (FR = 0).

Das espécies avaliadas de fitonematoides, *D. insulareis* mostrou-se suscetível apenas para *P. brachyurus* (Tabela 3). *Heterodera glycines* e *M. javanica* não se reproduziram no capim-amargoso. Conforme evidenciado na literatura por meio de outros estudos como o de (Ferraz *et al.*, 1982) as espécies de *Pratylenchus* estão predominantemente associadas a gramíneas. Belle *et al.* (2017), ao analisarem a população final (FP) do nematoide *P. brachyurus* classificaram as plantas em quatro distintos grupos de hospedeiros suscetíveis ao parasita, organizados pela ordem decrescente do número de indivíduos. Os resultados mostraram que *Urochloa decumbens*, *Rhynchelytrum repens*, *D. horizontalis* e *B. brizantha* apresentaram uma população final variando entre 6.981 e 6.239 indivíduos. Essas espécies mostraram diferença estatisticamente significativa em relação às demais analisadas, tornando-se, portanto, os hospedeiros mais propícios para esses nematoides.

Em outros estudos realizados para analisar a vulnerabilidade de espécies de plantas invasoras ao nematoide de cisto da soja *Heterodera glycines*, não foi detectado percentual de FR. Nas plantas daninhas analisadas (Braz *et al.*, 2016), esclarecendo que a *D. insularis* não apresentou FR. Giraldele (2015) cita algumas espécies de plantas daninhas que são hospedeiras de nematoides para *M. javanica*, como o caruru, gerânio, mentrasto, hortaliças, corda-de-viola, feijão, fumo, joá-bravo e guanxuma. Giraldele (2015) avaliou a *M. javanica* em plantas daninhas e no tomate atuando como testemunha inoculadas com 2.000 ovos e J2 (PI) por sistema radicular aos 60 dias, após a inoculação. Das 10 plantas daninhas avaliadas, apenas 2 mostraram-se hospedeiras para a *M. javanica*: *L. aegyptiaca* e a *S. lycopersicum*. Sendo assim, não foi demonstrada agressividade para a maioria das plantas daninhas avaliadas no trabalho, destacando a *D. horizontalis* que se demonstrou resistente à *M. javanica*, pertencente ao mesmo gênero e família da *D. insularis*.

O plantio sequencial de plantas não hospedeiras é uma das táticas de manejo de fitonematoides, a fim de reduzir a população. Mas, em alguns casos, quando há a presença de plantas daninhas, a população desses parasitas cresce rapidamente. Os resultados sugerem que a eficiência de táticas de manejo de *P. brachyurus* pode ser comprometida pela presença de plantas daninhas, antes, durante e após o cultivo.

A suscetibilidade do capim-amargoso a *P. brachyurus* pode aumentar as perdas produtivas, especialmente no sudoeste goiano, local que predominantemente cultiva-se soja e milho em sucessão, ambos hospedeiros desse nematoide. Pelo potencial dessa planta de matocompetição com a soja e outras culturas, ao potencial de disseminação e relatos de resistência ao glifosato, requerendo, por parte do produtor, especial cuidado no manejo. É importante ressaltar que, assim como outras espécies de plantas daninhas, a *D. insularis* também pode ser hospedeira de outros fitonematoides de importância agrícola e de fungos fitopatogênicos.

De maneira geral, plantas de capim-amargoso desafiadas com *P. brachyurus* apresentaram menores valores de PAL quando comparadas com o controle, especialmente nos momentos iniciais, após a inoculação, mas apresentaram atividade crescente, aumentando nos dias avaliados, exceto aos 21DAI (Figura 2ª, Tabela 4). Essa é uma resposta importante de defesa da planta, pois a PAL é a primeira enzima da via metabólica dos fenilpropanoides e tem importante papel em plantas expostas a estresses ambientais e em patógenos biotróficos, como *P. brachyuyrus*. Já a atividade de LOX nas plantas inoculadas decresceu nos primeiros dias avaliados. Entretanto, diferiu das plantas controle apenas 3DAI (Figura 2B). Lipoxigenase é a primeira enzima da via metabólica do ácido jasmônico, hormônio de vegetal envolvido em respostas de defesa contra patógenos necrotróficos. Plantas inoculadas com *P. brachyurus* apresentaram atividade de GLU crescentes e superiores às plantas controle, nos dois primeiros dias avaliados. Essa enzima possui alta atividade em plantas atacadas por bactérias, fungos e nematoides. Não houve diferença da atividade de CHI nos períodos e tratamentos avaliados.

Tabela 4. Proteínas relacionadas à patogênese – PRP.

Tratamento	DAI		PAL		LOX			GLU			CHI		
Controle	1	1,34E-05	aA	1,11E-06	2,20E-04	aA	4,55E-05	90,72	aAB	11,41	35,89	aBC	4,55E-05
Controle	2	1,16E-04	bC	1,06E-05	2,34E-04	aA	4,62E-05	81,56	aA	16,80	13,93	aAB	4,62E-05
Controle	3	9,66E-05	bBC	1,48E-05	3,28E-04	bB	4,23E-04	216,76	bC	21,31	39,39	aBC	4,23E-04
Controle	7	7,27E-05	aB	4,31E-06	1,48E-04	aA	3,82E-05	131,97	aB	18,93	39,54	aBC	3,82E-05
Controle	14	9,44E-05	aBC	1,93E-05	2,68E-04	aA	4,18E-05	134,58	aB	20,87	51,41	aC	4,18E-05
Controle	21	7,18E-05	aBC	6,84E-06	1,68E-04	aA	4,53E-05	203,84	aC	11,54	-5,11	aA	4,53E-05
<i>P. brachyurus</i>	1	1,41E-05	aA	1,65E-06	2,88E-04	aC	4,09E-05	123,22	bAB	9,39	18,38	a**	4,09E-05
<i>P. brachyurus</i>	2	5,84E-05	aB	6,15E-06	2,55E-04	aBC	1,58E-05	326,35	bD	14,43	20,43	a**	1,58E-05
<i>P. brachyurus</i>	3	7,46E-05	aC	1,37E-06	1,72E-04	aAB	4,56E-05	124,66	aAB	36,42	19,42	a**	4,56E-05
<i>P. brachyurus</i>	7	7,10E-05	aBC	2,99E-06	1,65E-04	aA	9,21E-06	161,35	aB	20,37	22,17	a**	9,21E-06

<i>P. brachyurus</i>	14	1,36E-04	bD	4,65E-06	2,48E-04	aABC	3,28E-05	98,68	aA	14,09	2,76	a**	3,28E-05
<i>P. brachyurus</i>	21	7,26E-05	aBC	1,14E-05	2,03E-04	aAB	2,24E-05	218,54	aC	16,88	-12,53	a**	2,24E-05

Comparação das variáveis avaliadas entre tratamentos no mesmo dia: médias seguidas por letras minúsculas (colunas) e minúsculas (linhas) iguais não diferem estatisticamente de acordo com o teste de T ($p=0,05$). Comparação das variáveis avaliadas no mesmo tratamento (com ou sem *P. brachyurus*): médias seguidas por letras maiúsculas iguais na coluna não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey ($p=0,05$). **não significativo.

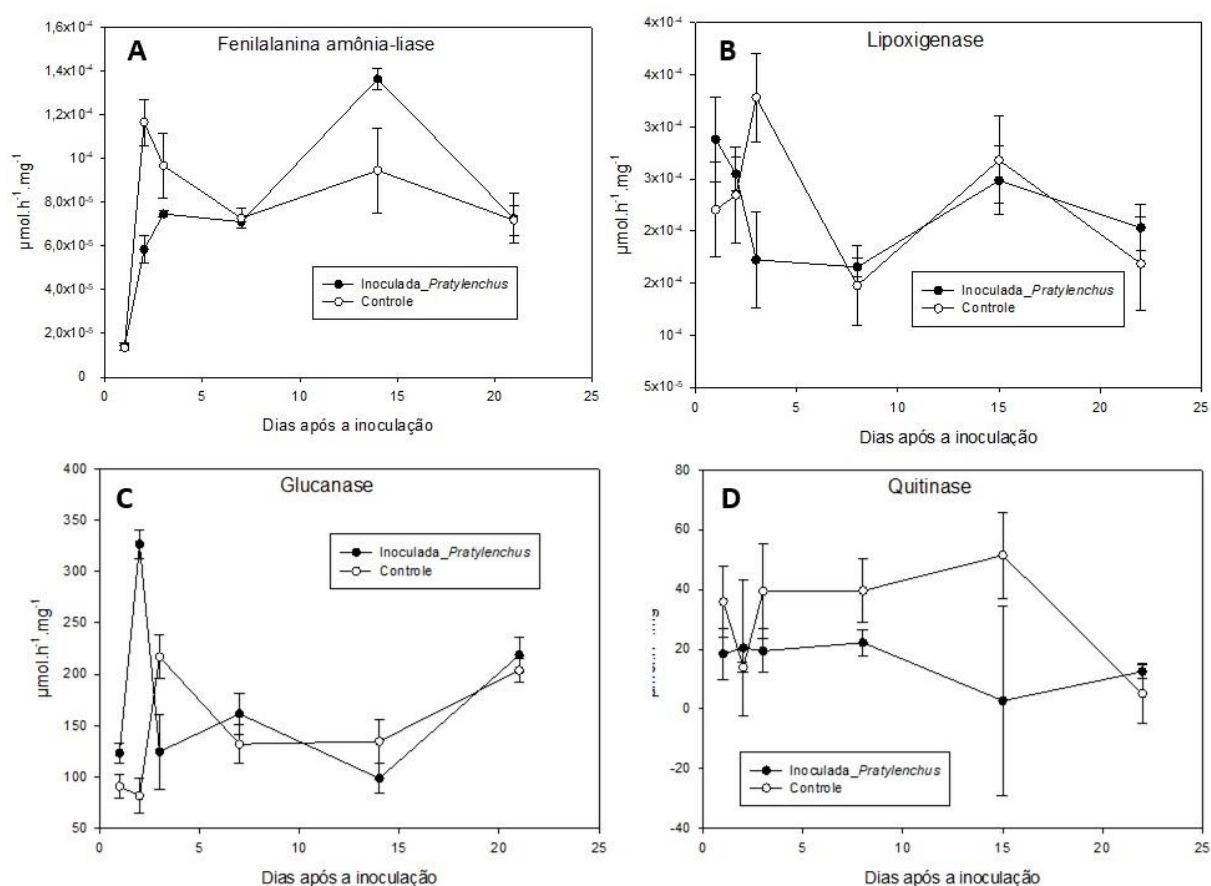


Figura 2. Quantificação de Proteínas relacionadas à patogênese – PRP.

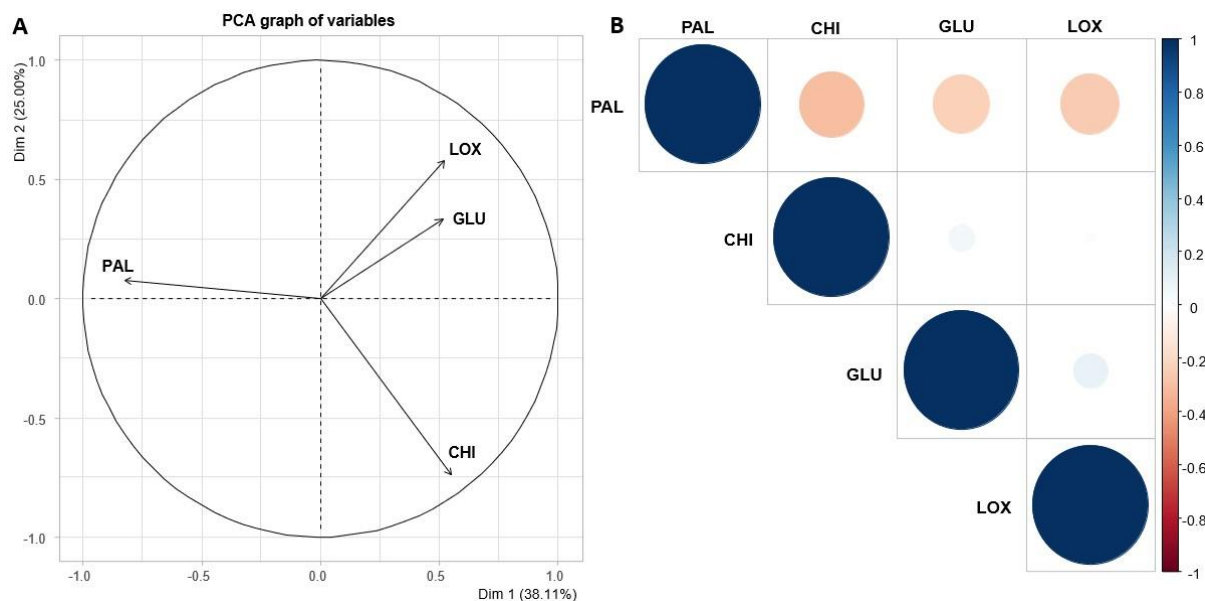


Figura 3. A: Gráfico de análise de componentes principais (PCA) das PRPs avaliadas. B: Matriz de correlação das variáveis analisadas ($p=0,05$).

A atividade de PAL foi negativamente correlacionada com a atividade de GLU, CHI e LOX. Tais correlações indicam que PAL desempenha papel-chave na via metabólica dessas enzimas. Em muitos patossistemas envolvendo patógenos biotróficos, essas enzimas de defesa possuem atividades altas nos primeiros eventos da patogênese. Após altas atividades dessa enzima, outras respostas subsequentes de defesa são observadas. Glucanases e quitinases são enzimas que atuam diretamente nos patógenos, principalmente em componente das estruturas do patógeno, tais como parede celular e cutícula. Além disso, essa enzima também é envolvida na síntese de compostos de defesa, como as fitoalexinas e hormônios, como ácido salicílico. Lipoxigenase também foi correlacionado negativamente com PAL. Ambas são as primeiras enzimas nas vias de biossíntese do ácido jasmônico (JA) e ácido salicílico (SA) respectivamente. Esses hormônios governam cascatas de sinais envolvidas em respostas de defesa contra patógenos: JA contra patógenos necrotróficos e AS contra biotróficos. Em muitos patossistemas, esses hormônios possuem papel antagônico um para com o outro: o

aumento de um desencadeia a diminuição do outro e vice-e-versa. O mesmo ocorre com as referidas enzimas.

Esses resultados ilustram a complexidade das respostas de defesa contra parasitismo de *P. brachyurus*, sendo este, segundo informações obtidas, o primeiro trabalho que busca investigar respostas de defesas de plantas daninhas contra seus patógenos.

5.2. Teor de clorofila

Nos momentos avaliados, o teor de clorofila decresceu, à medida que aumentava a concentração de glifosato nas doses utilizadas (Tabela 5 e Figura 4). No primeiro dia, a população C, proveniente de área urbana sem histórico de aplicação, apresentou maiores teores de clorofila, quando comparado com as populações A e B, ambas oriundas de lavouras comerciais com histórico de aplicação de glifosato, em todas as concentrações utilizadas neste trabalho, inclusive nas duas maiores concentrações, que correspondem a dose recomendada e o dobro da dose recomendada (6,5 e 13 g.e.a.ha⁻¹, respectivamente) (Figuras 6 e 7).

De modo geral, o mesmo aconteceu no 21DAA (Tabela 5 e Figura 4) em que, na maioria das doses avaliadas, a população C apresentou maiores teores de clorofila, embora nas três populações, esses mesmos teores decresceram à medida que as concentrações de glifosato aumentavam (Figura 6 e 7). Moraes (2015) avaliou o índice de clorofila na cultura do arroz aos 7, 14 e 21 DAA, de clomazona na dose de (600 g.i.a. ha⁻¹). Houve diferença significativa, no teor de clorofila. A diferença entre os valores acentuou nos tratamentos e mostrou que, à medida que prolongou o tempo de estresse, a degradação da clorofila é induzida por muitos estresses, levando a mudanças na atividade de certas enzimas, no transporte de elétrons fotossintéticos, metabolismo do carbono e fotossíntese.

A equação de regressão para o conteúdo de clorofila total foi explicada pelo modelo de regressão quadrático (Figura 6 e 7). Ao contrário do que se esperava, as plantas da população C, de área urbana sem histórico de aplicação, não se mostraram tão sensíveis ao herbicida; pelo contrário, apresentaram teores de clorofila maiores do que as demais populações. Melo (2023), em seus resultados, menciona que os danos causados pelo acúmulo do ácido chiquímico, devido a altas doses do glifosato, tende a demandar maior energia luminosa da planta para ser absorvida. As plantas da população C, até então, não tinham sido expostas ao glifosato. Sendo assim, as clorofilas mantiveram-se estáveis nos tratamentos, indicando boa recuperação pela planta.

Tabela 5. Teor de clorofila em diferentes populações de *D. insularis* submetidas a oito doses de glifosato.

Dose ¹	7DAA			21DAA		
	A	B	C	A	B	C
0						
0,2031	28,85aC	26,9aBCD	34,18bC	33,6aC	32,23aD	43,75bB
0,4063	29,33aC	27,825aDE	45,73bD	32,4aC	28,08aBCD	38,3bB
0,8125						
1,625	29,4bC	26aBC	31,63bBC	26,6*B	26,7*B	29,78*A
3,25	24,85aB	30,5bE	42,18cD	27,23aB	31,45bCD	31,83bA
6,5						
13	24,7aB	25,88aBCD	31,63bBC	24,4aB	24,2aB	30,4bA
	21,4aA	24,1aBC	31,03bBC	25,4aB	23,88aB	31,85bA
	24,93aB	23,03aAB	27,4bAB	24,4aB	27,45bBC	27,35bA
	18,98aA	20,5aA	23,05bA	20,78aA	17,9aA	26,9bA

Médias seguidas por letras minúsculas (linhas) iguais não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey ($p=0,05$). Médias seguidas por letras maiúsculas (colunas) iguais na coluna não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey ($p=0,05$). ¹Dose: g.e.a.ha⁻¹.

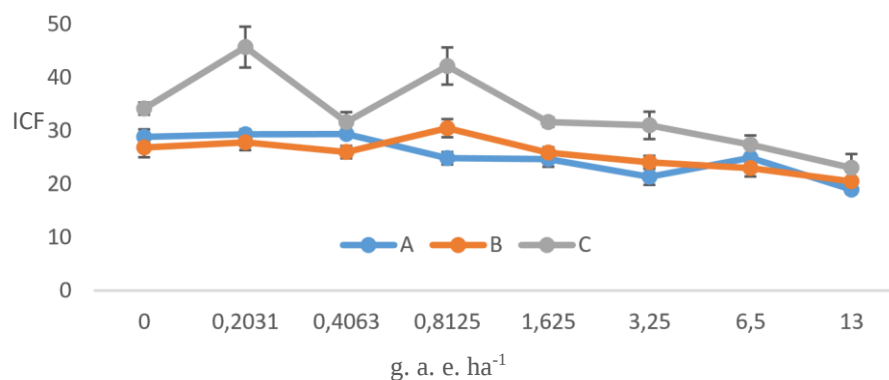


Figura 4. Teor de clorofila (ICF) em lâminas foliares de três populações de *D. insularis* submetidas a diferentes doses de glifosato 1 dia após a aplicação (DAA) do herbicida. Cada ponto corresponde à média de quatro repetições. As barras verticais indicam o desvio padrão da média.

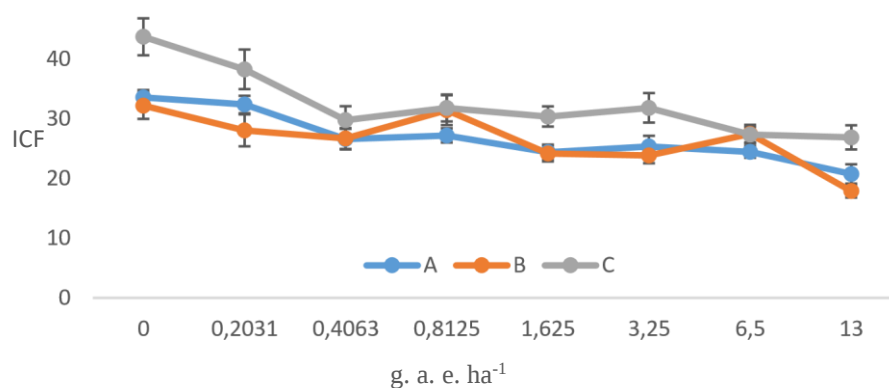


Figura 5. Teor de clorofila (ICF) em lâminas foliares de três populações de *D. insularis* submetidas a diferentes doses de glifosato 3 dias após a aplicação (DAA) do herbicida. Cada ponto corresponde à média de quatro repetições. As barras verticais indicam o desvio padrão da média.

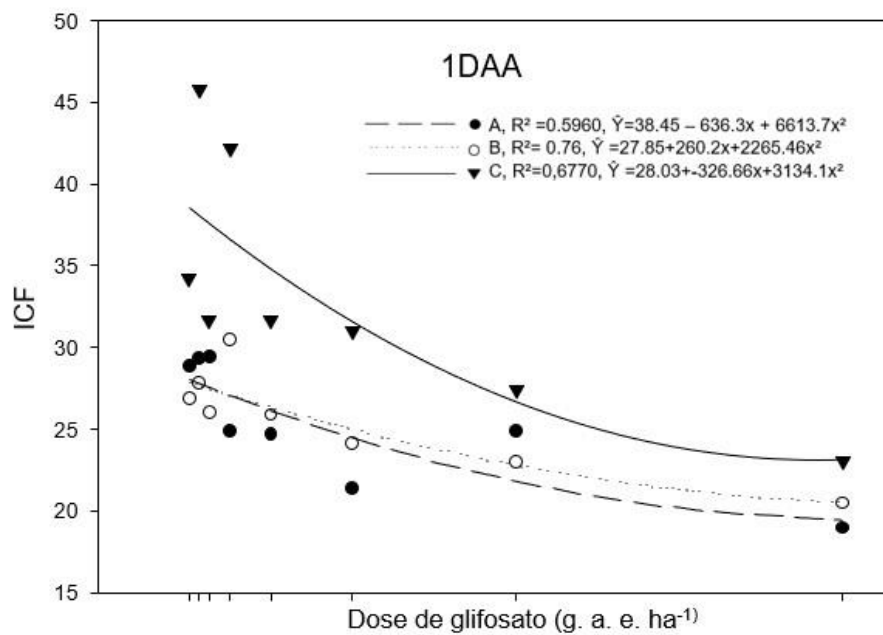


Figura 6. Concentração de clorofila em função das oito doses de glifosato em três populações (A, B e C) 1 dia após a aplicação (DAA) do herbicida.

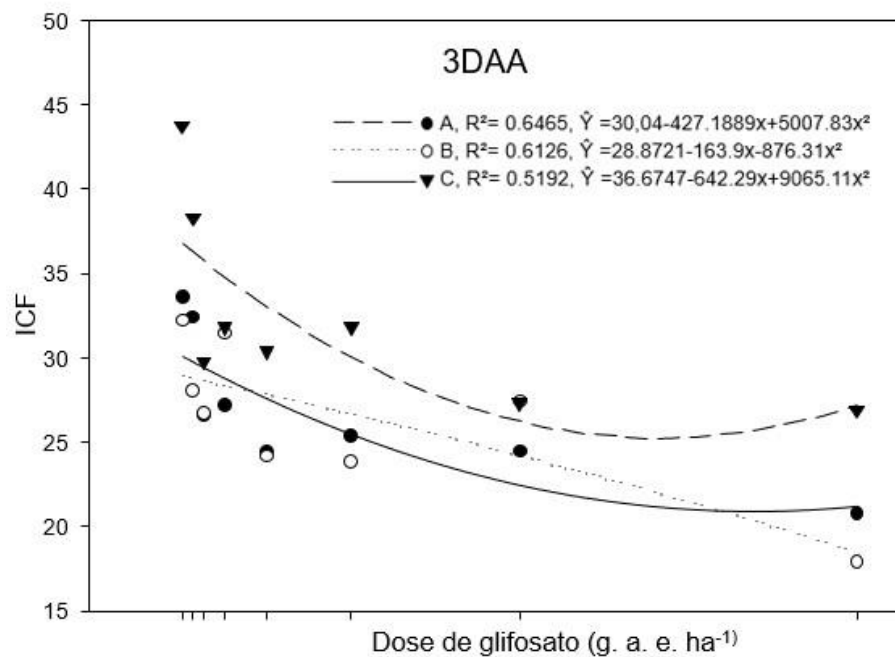


Figura 7. Concentração de clorofila em função das oito doses de glifosato em três populações (A, B e C) 3 dias após a aplicação (DAA) do herbicida.

5.3.Acúmulo de biomassa vegetal

As diferenças entre as médias de biomassa vegetal não foram estatisticamente significativas ($p=0,05$).

5.4.Acúmulo de ácido chiquímico

A concentração de ácido chiquímico variou em resposta ao aumento das doses de glifosato e a diferentes populações nos dias avaliados (Figura 1). A concentração de ácido chiquímico pode ser compreendida pelo fato de que o glifosato atua como inibidor da enzima 5-enolpiruvilshikimate-3-fosfato sintase (EPSPs), levando ao acúmulo de Shk, ocorrendo pela desregulação da via metabólica (Melo *et al.*, 2015). Como consequência desse acúmulo, observam-se a redução na fotossíntese líquida, aparentes diminuições no transporte de elétrons e na assimilação de CO₂, podendo ocorrer danos foto oxidativos e aumento na fotorrespiração.

Para o dia 01, somente a população C, segundo a equação quadrática, foi possível definir o ponto mais alto dessa função sendo de 2.8 g e. a. ha⁻¹ da dose do glifosato. Para a população A, obtendo uma função linear e para a população C não foi possível determinar uma equação (Figura 8A). Quando verificada a concentração de ácido chiquímico para o dia 3, somente para a população A foi possível definir uma função linear crescente de acordo com o aumento das doses. Já para a população B e C, os valores ficaram na média entre as diferentes doses, não sendo possível estabelecer uma equação representativa para os pontos (Figura 8B). Tanto para o dia 1 quanto para o dia 3 a população C obteve menores valores de ácido chiquímico entre as populações de acordo com as diferentes doses de glifosato (Figura 8).

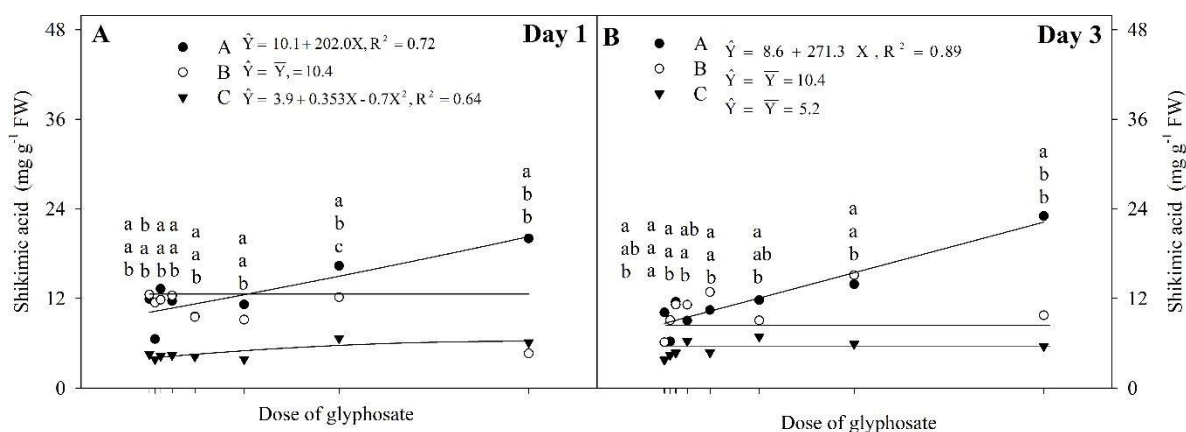


Figura 8. Concentração do ácido chiquímico nas folhas de capim-amargoso submetidas a 8 doses de glifosato e 3 populações de *D. insularis*.

Resultado do fatorial entre 3 populações e 8 doses de glifosato aos 1 e 3 dias, após a aplicação, para a fluorescência da clorofila *a*, foi avaliado. Para a variável rendimento quântico máximo do fotossistema II (*Fv/Fm*), não ocorreu interação, sendo estatisticamente diferente somente entre doses, e, de acordo com o aumento da dose, observou-se decréscimo dessa variável, em ambos os dias (Figura 9^a e 10^a). Interação foi evidenciada para a taxa de transporte de elétrons (ETR) no dia 1 após a aplicação, e, de acordo com o aumento da dose, foi registrado decréscimo acentuado em ambas as populações. Além disso, a diferença entre as populações ocorreu somente entre as doses menores, tendo população B os menores valores de ETR (Figura 9 B). Já para o terceiro dia, após a aplicação, a primeira dose do glifosato diminuiu o ETR, e para as últimas doses o valor foi próximo de 0 (Figura 10B).

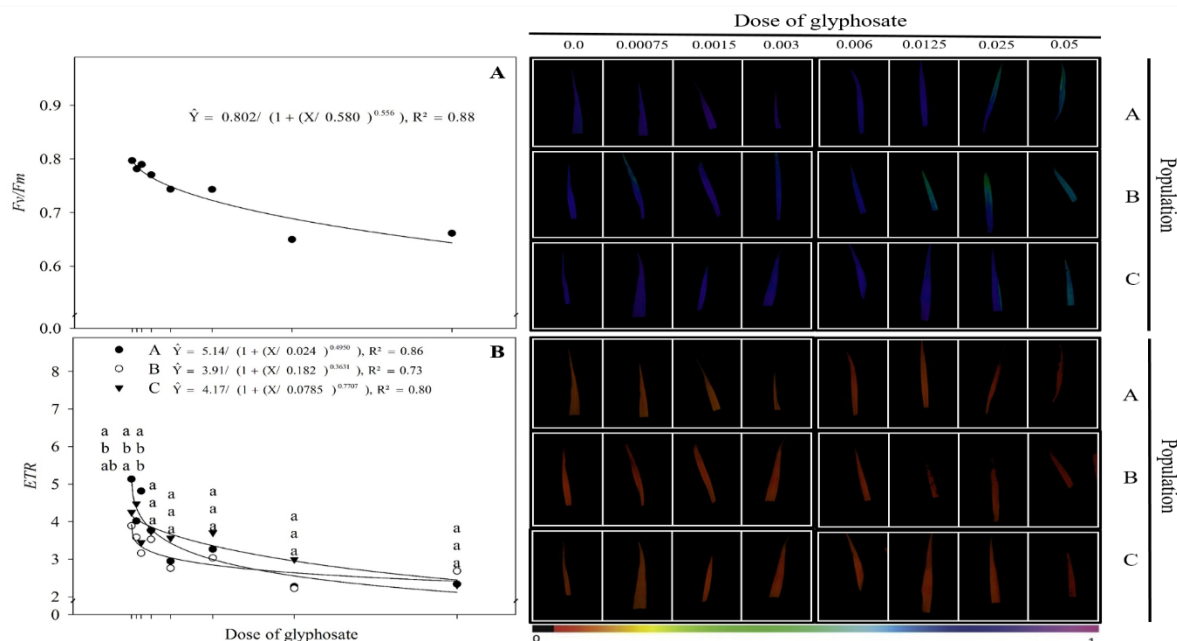


Figura 9. Rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m - A) e taxa de transporte de elétrons (ETR - B) medido nas folhas de capim-amargoso submetidas a 8 doses de glifosato e 3 populações, no primeiro dia após a aplicação do herbicida. Os pontos são médias de quatro repetições, e as linhas representam a regressão significativa ajustada entre as doses na mesma população (A ●, B ○ e C ▼) e as letras minúsculas comparam a mesma dose, entre as diferentes populações pelo teste de Tukey. O código de cores falsas, representado na parte inferior das imagens, varia de 0,0 (preto) a 1,0 (rosa).

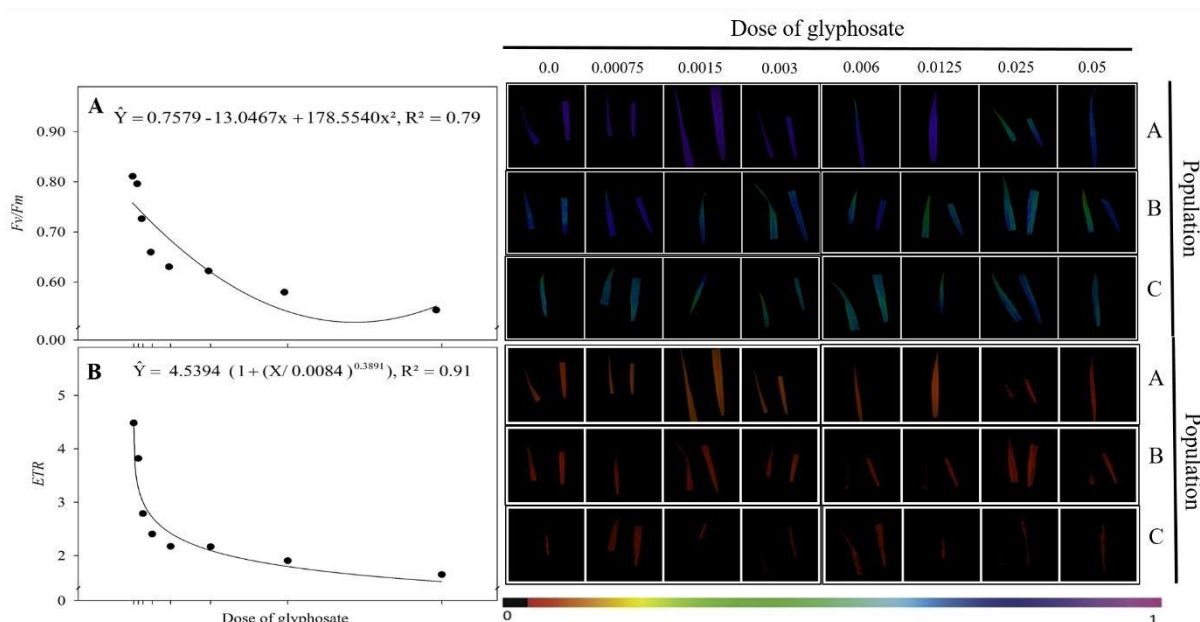


Figura 10. Rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m - A) e taxa de transporte de elétrons (ETR - B) medido nas folhas de capim-amargoso submetidas a 8 doses de glifosato e 3 populações, no terceiro dia, após a aplicação do herbicida. Os pontos são médias de quatro repetições, e as linhas representam a regressão significativa ajustada entre as doses na mesma população (A ●, B ○ e C ▼) e as letras minúsculas comparam a mesma dose, entre as diferentes populações pelo teste de Tukey. O código de cores falsas, representado na parte inferior das imagens, varia de 0,0 (preto) a 1,0 (rosa).

Interação entre doses e a população foram observadas para o rendimento quântico efetivo do fotossistema II (YII) e dissipação da extinção de energia não fotoquímica regulada (YNPQ) no primeiro dia (Figura 11A e B). Para o YII decréscimo, em ambas as populações ocorreram já nas primeiras dosagens concomitantemente ao ETR, e aumento para YNPQ foi observado somente para a população A (Figura 11A e B). Quando verificadas as populações dentro das diferentes doses, a população A sobressaiu-se em relação às demais população nas primeiras dosagens para o YII e a população B foi a melhor, quando comparada com as demais para o YNPQ (Figura 11A e B). A dissipação da extinção de energia não fotoquímica não regulada (YNO) diferiu somente para as diferentes dosagens, em que acréscimo expressivo foi observado de acordo com aumento das doses (Figura 11C).

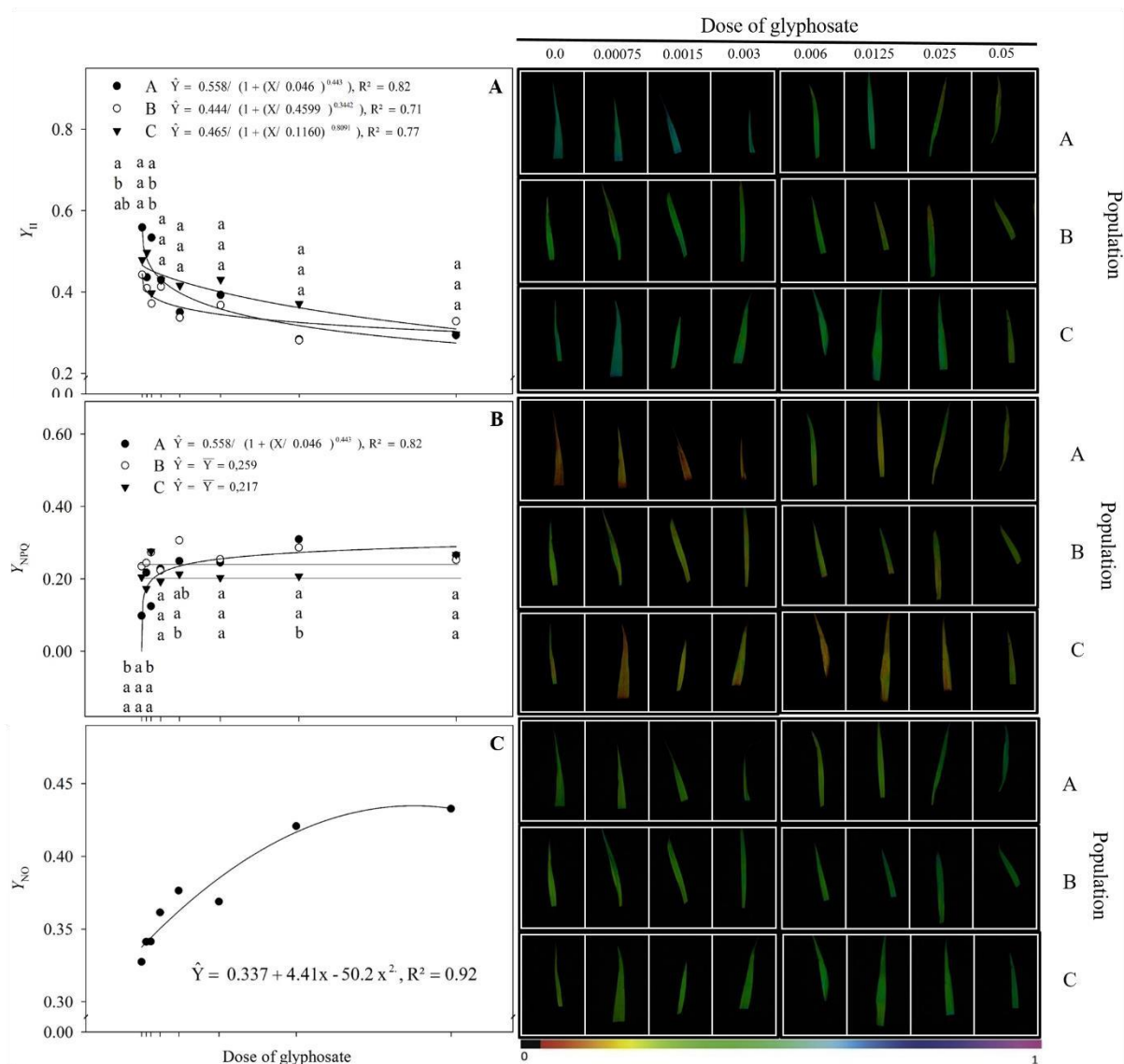


Figura 11. Rendimento quântico efetivo do fotossistema II (Y_{II} - A), dissipação da extinção de energia não fotoquímica regulada (Y_{NPQ} - B) e não regulada (Y_{NO} - C) medido nas folhas de soja submetidas a 8 doses de glifosato e 3 populações, no primeiro dia, após a aplicação do herbicida. Os pontos são médias de quatro repetições, e as linhas representam a regressão significativa ajustada entre as doses na mesma população (A ●, B ○ e C ▼) e as letras minúsculas comparam a mesma dose, entre as diferentes populações pelo teste de Tukey. O código de cores falsas, representado na parte inferior das imagens, varia de 0,0 (preto) a 1,0 (rosa).

Não foi observada interação entre as populações e as doses crescentes no terceiro dia após a aplicação, para o Y_{II} , Y_{NPQ} e Y_{NO} (Figura 12). Decréscimo acentuado dos valores de Y_{II} foi observado de acordo com aumento da dosagem (Figura 12A). Para a dissipação da extinção de energia não fotoquímica (Y_{NPQ} e Y_{NO}), a partir da primeira dose aumentos foram evidenciados.

Além disso, para o Y_{NPQ} diferença entre as populações também foi observada: a população B diferiu da população C (Figura 12B e C).

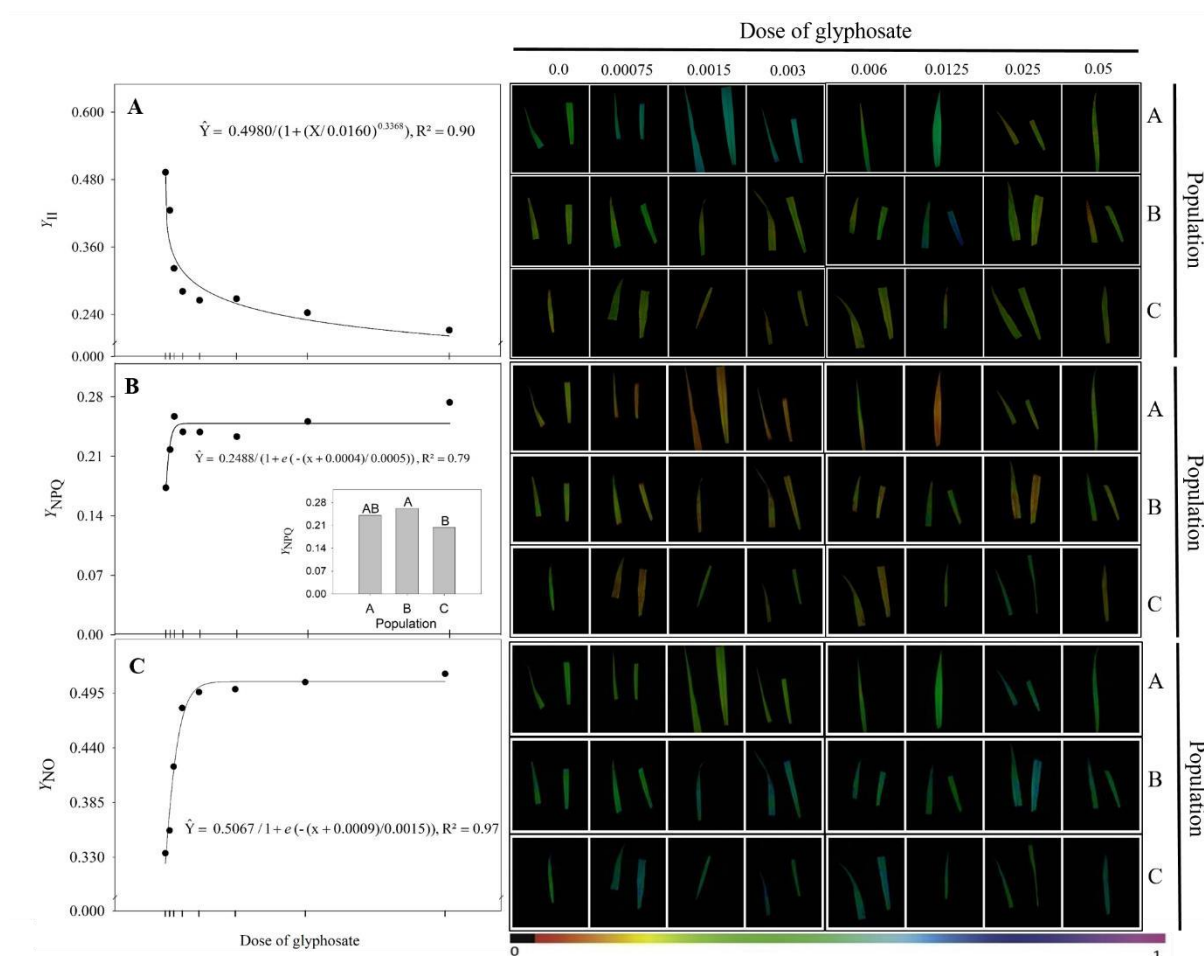


Figura 12. Rendimento quântico efetivo do fotossistema II (Y_{II} - A), dissipação da extinção de energia não fotoquímica regulada (Y_{NPQ} - B) e não regulada (Y_{NO} - C) medido nas folhas de soja submetidas a 8 doses de glifosato e 3 populações, no terceiro dia, após a aplicação do herbicida. Os pontos são médias de quatro repetições, e as linhas representam a regressão significativa ajustada entre as doses nadentro da mesma população (A ●, B ○ e C ▼) e as letras minúsculas comparam a mesma dose, entre as diferentes populações pelo teste de Tukey. O código de cores falsas, representado na parte inferior das imagens, varia de 0,0 (preto) a 1,0 (rosa).

5.5. Alterações anatômicas

Não foram observadas alterações anatômicas nas três populações de *D. insularis*, inclusive na população de área sem histórico de aplicação, submetidas a diferentes doses de glifosato. Isto sugere que estas doses de glifosato não são suficientes para o controle de plantas daninhas quando se trata de populações resistentes. Resultados observados de Zobiole *et*

al.(2016) demonstraram que a utilização de glifosato com o capim-amargoso já perenizado em diferentes doses não garante o controle dessa planta daninha. Muitos agricultores aplicam doses maiores do que a recomendada a campo, fato que causa maior pressão de seleção no capim-amargoso, favorecendo o surgimento de populações resistentes desta e de outras espécies de plantas daninhas. Gemelli *et al.*(2013) destacam que o glifosato é o único herbicida que não apresenta restrição de uso relacionado ao estágio da planta daninha. Contudo, sua eficácia no controle de biótipos resistente é limitada. Sendo assim, é necessário ampliar o conhecimento da ação dos herbicidas para utilização com eficiência no manejo de *D. insularis*, principalmente devido à evidência de áreas agrícolas com elevada densidade de plantas perenizadas.

A ausência de danos aparentes nas folhas avaliadas indica que o capim-amargoso pode recuperar-se de danos causados pelo glifosato. Além das adaptações morfológicas e anatômicas em observadas em biótipos de *D. insularis* resistentes, adaptações bioquímicas e fisiológicas como alterações na fotorrespiração e fotossíntese, governadas também por alterações gênicas, possuem papel importante na resistência dessas plantas ao glifosato e a outros herbicidas.

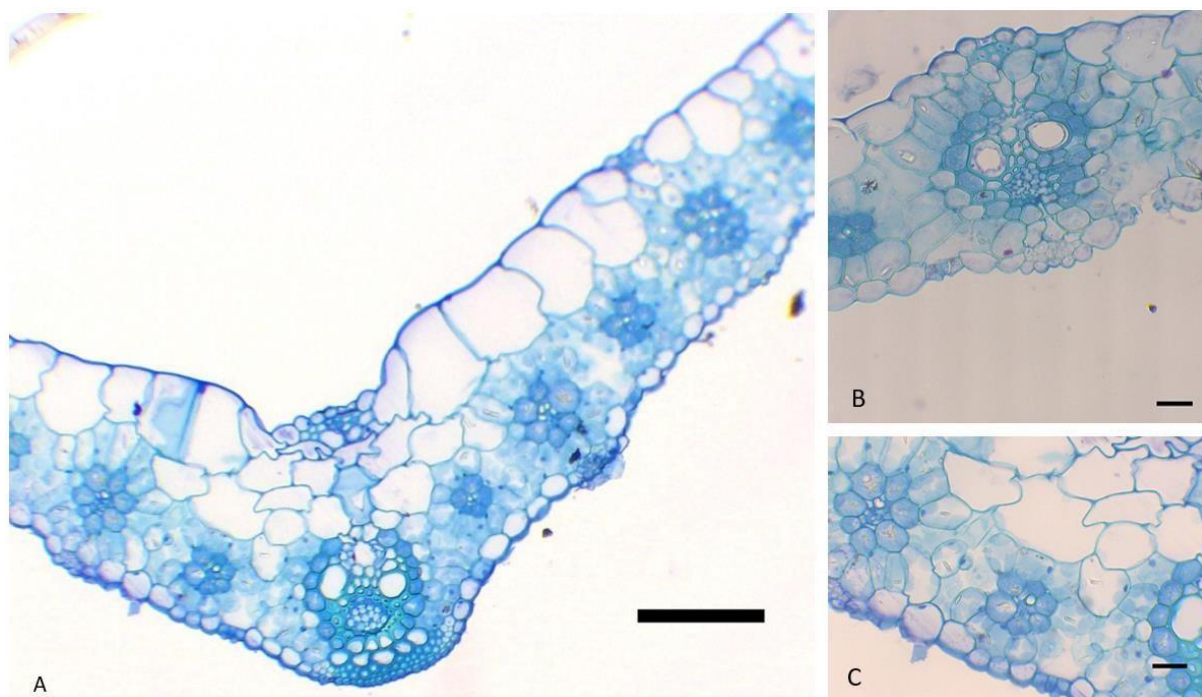


Figura 13. Secções transversais do limbo foliar da população A de *D. insularis*. Barras: A e B - 20 μm ; C - 100 μm .

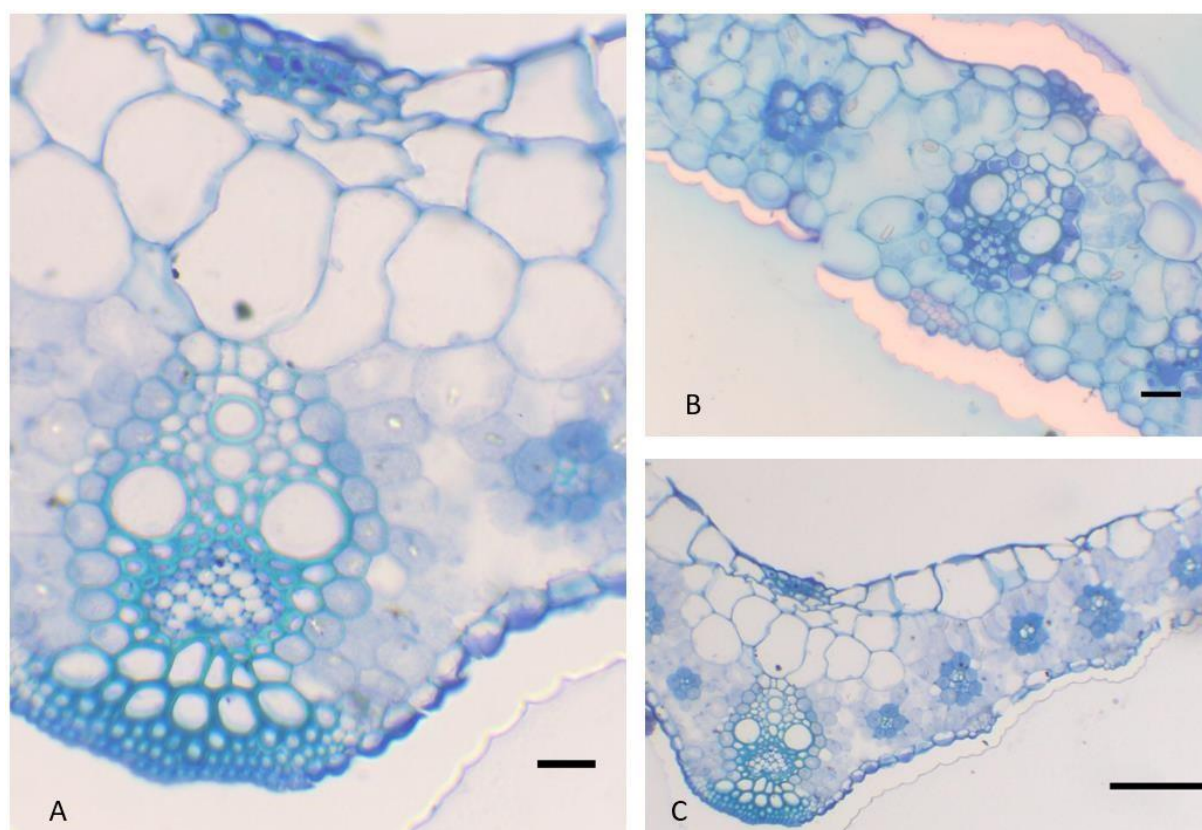


Figura 14. Secções transversais do limbo foliar da população B de *D. insularis*. Barras: A e B - 20 μm ; C - 100 μm .

6. CONCLUSÃO

O capim-amargoso apresentou susceptibilidade a *P. brachyurus*, porém não se mostrou uma boa hospedeira para *H. glycines* para *M. javanica*. A PAL desempenha papel significativo nas respostas de defesa dessa planta contra *P. brachyurus*, assim como o GLU. As populações de *D. insularis* analisadas mostraram-se resistentes ao glifosato, incluindo a população urbana.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, H.O., Barbosa, M;O., Marques, A.E., Pereira, T.H.A., Júnior, M.J.M., Tessarollo, N.G., Jogos, P.D., Barros, E. G, Stolf-Moreira, R., Guimarães, F.C.M., Abdelnoor, R.V., Pereira, P.R.G. & Pereira, M.C.B. 2012.** Enzimas marcadores de indução de resistência diferencialmente reguladas em soja resistente e suscetível à ferrugem-asiática-da-soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 2: 163-172.
- Andrade, D.N. de et al. 2020.** Agropecuária Técnica Artigo Científico. *Agropecuária Técnica*, Areia-PB, 41: 8-15.
- Barbosa, K.B.F., Costa, N.M.B., Alfenas, R.C.G., Paula, S.O., Mínimo, V.P.R. & Bressan, J. 2010.** Estresse oxidativo: conceito, implicações e fatores modulatórios. *Revista de Nutrição*, Campinas, 7: 629-643.
- Bellé, C., Kaspary, TE, Kuhn, PR, Schmitt, J. & Lima-Medina, I. (2017).** Reprodução de *Pratylenchus zeae* em plantas daninhas. *Planta Daninha*, 35
- Biffe, D.F.; Constantin, J. & Oliveira Junior, R.S. 2018.** Interferência das plantas daninhas nas plantas cultivadas. In Brandão Filho, J.U.T.; Freitas, P.S.L.; Berian, L.O.S.; Goto, R. (ed.). *Hortaliças-fruto* [online]. Maringá, EDUEM.
- Braz, G.B.P., Oliveira Jr., R.S., Constantino, J., Raimondi, R.T., Ribeiro, LM., Gemelli, A. & Takano, H.K. 2016.** Plantas extraordinárias como hospedeiras alternativas para *Pratylenchus brachyurus*. *Summa Phytopathologica*, 42: 233-238.
- Blanco, F.M.G. 2014.** Classificação e mecanismos de sobrevivência das plantas daninhas. In: MONQUERO, P.A. (Ed.). *Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas*. São Carlos: Editora Rima - SBPCPD.
- Brighenti, A.M. & Oliveira, M.F. 2011.** Biologia de plantas daninhas. In: R. S. de Oliveira Jr., J. Constantin, & M. H. Inoue (Orgs.). *Biologia e manejo de plantas daninhas*; Curitiba, PR: Omnipax;
- Carvalho, L.B. 2011.** Interferência de *Digitaria insularis* em *Coffea arabica* e Respostas destas Espécies ao Glifosato. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.
- CABI: centre for agriculture and bioscience international. 2019.** Invasive Species Compendium. Disponível em: <<https://www.cabi.org/ISC/datasheet/109596#56BD82BBA99F-4273-8EF1-DC6E5AFB60BE>>. Acesso em: 1 jul. 2024.
- Canto-Dorow, T.S. & Longhi-Wagner, H.M. 2001.** Novidades taxonômicas em *Digitaria* Haller (Poaceae) e novas citações para o gênero no Brasil. *Insula*, 30: 21-34.
- Carvalho, L.B. et al. 2011.** Detection of sourgrass (*Digitaria insularis*) biotypes resistant to glifosato in Brazil. *WeedScience*, 59: 171-176.

- Cury, J.P. et al. 2011.** Dry matter production and distribution of bean cultivars underweed competition. *Planta Daninha*, 29: 149-158.
- Ferraz, L.C.C.B & Monteiro, A.R. 2011.** Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos São Paulo: Editora agronômica Ceres Ltda, 1,
- Ferraz, L.C.C.B., Pitelli, R.A., Soubhia, F. 1982.** Nematoides associados às plantas na região de Jaboticabal, SP. *Planta Daninha*, 1: 1-5.
- Folli-Pereira, M. da S., Meira-Haddad, L.S., Bazzolli, D.M.S. & Kasuya, M.C.M. 2012.** “Micorriza Arbuscular e a Tolerância das Plantas ao Estresse.” *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36 (6): 1663-79.
- Freitas, L.G., Oliveira & R.D.L. & Ferraz, S. 2009.** Introdução à Nematologia. Editora UFV, Viçosa.
- Gaspar, S.L de L., Ecco, M., Martini, E., Hennig, M.É., Perondi, F.C. & Schneider, L. 2019.** Controle do capim amargoso em diferentes manejos e associações de agroquímicos. *Cultivando o Saber, Toledo*, 3: 280-291.
- Gazola, T., Belapart, D., Castro, E.B., Cipola Filho, M.L. & Dias, M.F. 2016.** Características biológicas de *Digitaria insularis* que conferem sua resistência à herbicidas e opções de manejo. *Científica*, 44 (4): 557-567.
- Gemelli, A. et al. 2018.** Estratégias para o controle de capim-amargoso (*Digitaria insularis*) resistente ao glifosato na cultura milho safrinha. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 12 (2): 162-170.
- Lambert, J.C., Moulin, M.M. & Souza, A.F. 2023.** Método de detecção de nematoides das galhas em tomateiro. Vitória, ES.
- Lordello, R.R.A., Lodello, A.I L. & Paulom O, E.M. 1988.** Multiplicação de *Meloidogyne javanica* em plantas daninhas. *Nematologia Brasileira*, 12: 84-92.
- Machado, A. F. L., Meira, R. M. S., Ferreira, L. R.; Ferreira, F. A., Tuffi Santos, L. J., Fialho, C. M. T. & Machado, M. S. 2008.** Caracterização anatômica de folha, colmo e rizoma de *Digitaria insularis*. *Planta Daninha*, 26(1): 1-8.
- Macagnan, N, D., Romeiro, R.S., Baracat-Pereira, M.C., Lanna Filho, R., Batista, G.S. & Pomella, A.W.V. 2008.** Atividade de enzimas associadas ao estado de indução em mudas de cacauzeiro expostas a dois actinomicetos residentes do filoplano. *Suma Fitopatológica, Botucatu*, 1: 34-37.
- Marini, P.M. 2018.** Estudo da interação entre aveia branca e *Meloidogyne incógnita*: patogenicidade e expressão gênica diferencial.
- Matias, J.P., Silva, A.A.P., Heelvig, E.O., Maciel, C.D.G., Dias-Areira, C.R. & Karam, D. 2018.** Suscetibilidade do milho, soja e capim amargoso ao nematoide das lesões radiculares. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 2: 353-358.

- Melo, M.S.C. de et al. 2017.** Alternativas de controle químico do capim-amargoso resistente ao glifosato, com herbicidas registrados para as culturas de milho e algodão. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 16: 206-215.
- Melo, M.S.C. 2015.** Levantamento de ocorrência, alternativas de manejo, mecanismos de resistência e herança genética do capim-amargoso (*Digitaria insularis*) resistente ao herbicida glifosato. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Moraes, Í.L.de. 2015.** Respostas fisiológicas do arroz irRespostas fisiológicas do arroz irrigado submetidas à aplicação de herbicidas em condições de salinidade na água de segurança . Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- Mônaco A.P.A., Carneiro, R.G., Kranz, W.M., Gomes, J.C., Scherer, A. & Santiago, D.C. 2009.** Reação de espécies de plantas especificamente a *Meloidogyne incognita* raças 1 e 3, a *M. javanica* e a *M. paranaensis* . *Nematologia Brasileira*, 33(3): 235-242.
- Mota, É.A., Souza Júnior, F.J.C. & Santos, C.D.G. 2023.** “Reação de ervas daninhas ao parasitismo pelo nematóide das galhas da goiabeira, *Meloidogyne enterolobii*”. *Revista Diversitas* , Santana do Ipanema/AL, 1: 33-41
- Nascimento, J.B & Barrigossi, J.A.F. 2014.** O papel das enzimas antioxidantes na defesa das plantas contra insetos herbívoros e fitopatógenos. *Academia Agrária* , 1 (1), 234–250.
- Oliveira, J.N. de. 2023.** Comportamento de Plantas Daninhas a *Rotylenchulus reniformis* em solos diferentes. Dissertação de Mestrado, Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, Urutaí, 25 p.
- Oliveira, C.M.G., Rosa, J.M.O., Gioria, R. & Braga, K.R.B. 2018.** Nematoides. In: Brandão Filho, J.U.T.; Freitas, P.S.L.; Berian, L.O.S.; Goto, R. (Orgs.); Hortaliças-fruto.. EDUEM.
- Piazzentina, A.E. 2021.** Períodos de interferência do capim-amargoso na cultura da soja e do milho. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.
- Ramos, R.F., Kaspary, T.E., Balardin, R.R., Dalla Nora, D., Antonioli, Z.I. & Bellé, C. 2019.** Plantas daninhas hospedeiras de nematoides de galhas (Plantas aparentes como hospedeiras dos nematoides-das-galhas). *Revista Agronomia Brasileira*, 3: 1-10.
- Santos, T. de F.S. dos. 2012.** Metodologia de avaliação de *Pratylenchus brachyurus* e ocorrência de genótipos de soja aos nematoides das galhas e das lesões. 2012.
- Silva, A.F.M., Giraldele, A.L., Silva, G.S., Araújo, L.S., Albrecht, J.P.A., Albrecht, L.P. & Filho, R.V. 2021.** Introdução à ciência das plantas daninhas. In: Matologia: Estudo sobre plantas daninhas.
- Silva, W.T. da et al. 2017.** Alternativas de controle químico para capim-amargoso (*Digitaria insularis*) na cultura do milho. .
- Silvestrini, M. et al. 2005.** Expressão de genes de resistência em resposta à infecção por nematoides.

Ulguim, A. R., Dornelles, S. H., Pilecco, I. B., Winck, J. E., Neto, R. A. & Zanon, A. J. 2022. Potencial de produtividade de culturas agrícolas e a interferência das plantas daninhas. In: Almeida, E. I. B. & Ferrão, G. (Org.). Fundamentos em Biologia e Manejo de Plantas Daninhas. São Luís: EDUFMA.