



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM AGRONOMIA**

EDUARDO VERDI SCABENI

**EFEITO DO NÍQUEL NA MITIGAÇÃO DA FITOTOXIDEX DE GLUFOSINATO
APLICADO EM PÓS-EMERGÊNCIA DA SOJA IPRO RR2**

Presidente Prudente
2025



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM AGRONOMIA**

EDUARDO VERDI SCABENI

**EFEITO DO NÍQUEL NA MITIGAÇÃO DA FITOTOXIDEZ DE GLUFOSINATO
APLICADO EM PÓS-EMERGÊNCIA DA SOJA IPRO RR2**

Dissertação apresentada Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre – Área de concentração: Produção Vegetal.

Orientador:
Prof. Dr. Marcelo Raphael Volf

Presidente Prudente
2025

630
S277e

Scabeni, Eduardo Verdi.
Efeito do níquel na mitigação da fitotoxidez de glufosinato
aplicado em pós-emergência da soja IPRO RR2 /
Eduardo Verdi Scabeni. – Presidente Prudente, 2025.
57 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) -
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente
Prudente, SP, 2025.

Bibliografia.

Orientador: Marcelo Raphael Volf.

1. *Glycine max*. 2. Glufosinato de Amônio. 3.
Produtividade. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: “EFEITO NÍQUEL NA MITIGAÇÃO DA FITOTOXIDEZ DE GLUFOSINATO
APLICADO EM PÓS-EMERGÊNCIA DA SOJA IPRO RR2”**

AUTOR(A): EDUARDO VERDI SCABENI

ORIENTADOR(A): Prof. Dr. MARCELO RAPHAEL VOLF

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE em
AGRONOMIA

Área de Concentração PRODUÇÃO VEGETAL, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MARCELO RAPHAEL VOLF (orientador)

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

Profa. Dra. RITA DE CÁSSIA LIMA MAZZUCHELLI

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

Prof. Dr. FELLIPE GOULART MACHADO

Centro AGRO Pesquisa no Cerrado / Rio Verde (GO)

Data da realização: Presidente Prudente, 25 de abril de 2025.

Central de Assinaturas Eletrônicas

Sobre o documento

Assunto: Documento eletrônico
Status do documento: Concluído
Data de criação do documento: 05/05/2025 15:58
Fuso horário: (UTC-03:00) Brasília
Número de assinaturas: 3
Solicitante: KEID RIBEIRO KRUGER (#6116497)

Signatários do documento

MARCELO RAPHAEL VOLF (FUNCIONÁRIO)

marcelovolf@unoeste.br
Recebido em 05/05/2025 15:58
Assinado em 06/05/2025 09:22
Assinatura Interna UNOESTE
Usando endereço IP: 177.131.30.1
ID da assinatura: 4780425

FELIPE GOULART MACHADO (SIGNATÁRIO EXTERNO)

fellipemachado@centroagropesquisa.com
Recebido em 05/05/2025 15:58
Assinado em 14/05/2025 09:09
Assinatura Interna UNOESTE
Usando endereço IP: 45.234.253.107
ID da assinatura: 4780420

RITA DE CÁSSIA LIMA MAZZUCHELLI (PROFESSOR)

rita@unoeste.br
Recebido em 05/05/2025 15:58
Assinado em 06/05/2025 10:44
Assinatura Interna UNOESTE
Usando endereço IP: 177.131.30.1
ID da assinatura: 4780427

URL do documento: <https://www.unoeste.br/oa/ofeafe88>

Assinatura digital do documento: 5fd344d80fe36b2886a89658106b2d08f26088397aa284dbe20b2324e14a03aa

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista

Mantida pela Associação Prudentina de Educação e Cultura - APEC

Utilize o QRCode abaixo para conferir a autenticidade deste documento:



Foi pensando nas pessoas que executei este projeto, por isso dedico este trabalho a todos aqueles a quem esta pesquisa possa ajudar de alguma forma. Dedico também a todos que me ajudaram durante esta caminhada, sobretudo minha família.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão a todos que contribuíram de alguma forma para a conclusão desta Dissertação de Mestrado em Agronomia na Área de concentração: Produção Vegetal, conduzida como um Programa de Pós-Graduação na Universidade do Oeste Paulista.

Estendo minha profunda gratidão ao meu orientador, Profº. Dr. Marcelo Raphael Volf, por todo seu apoio e ensinamentos que me ajudaram a conduzir o trabalho da melhor maneira.

Agradeço a minha família, em especial meus pais, minha esposa e minha filha, que desde o princípio, me apoiaram de forma incessante. Este trabalho é reflexo do apoio que recebi durante toda esta trajetória acadêmica.

Agradeço também meus colegas e amigos de profissão que de alguma maneira contribuíram na condução prática do trabalho.

*“A maior recompensa pelo trabalho não é o que a
pessoa ganha, é o que ela se torna através dele”
(John Ruskin)*

RESUMO

Efeito do níquel na mitigação da fitotoxidez de glufosinato aplicado em pós-emergência da soja IPRO RR2

Novas cultivares de soja tolerantes ao glufosinato de amônio permitem um manejo mais eficiente de plantas invasoras. No entanto, a deriva desse herbicida pode comprometer lavouras suscetíveis. A nutrição com níquel (Ni) tem sido estudada como uma estratégia para mitigar a fitotoxicidade causada por herbicida, uma vez que diversos estudos indicam seu papel na tolerância a adversidades, incluindo a toxidez em culturas anuais. Este estudo avaliou o efeito da aplicação foliar de Ni na mitigação da fitotoxicidade induzida pelo glufosinato de amônio na cultivar de soja suscetível Intacta RR2 PRO® (IPRO). O experimento foi conduzido em duas áreas: a área 1 (LRV), localizada no município de Lucas do Rio Verde, e a área 2 (NMT), localizada no município de Nova Mutum. As doses do herbicida foram aplicadas no estágio fenológico V6 (sexto trifólio do caule principal com folhas completamente desenvolvidas), e a aplicação do Ni ocorreu 120 horas depois. Foram testadas cinco doses do glufosinato de amônio. O delineamento seguiu um esquema fatorial 5x2, combinando cinco doses de herbicida (0,0 L ha⁻¹; 0,375 L ha⁻¹; 0,625 L ha⁻¹; 1,5 L ha⁻¹; 2,5 L ha⁻¹;) e duas doses de Ni (0% e 100%, equivalente a 60,0 g ha⁻¹). Os sintomas de fitotoxicidade foram avaliados por observação visual aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação, utilizando uma escala de sintomas de fitotoxicidade. No estágio R8, avaliou-se a altura das plantas e os componentes de produção: produtividade, peso de mil grãos (PMG) e número total de vagens (NVT). Os resultados indicam que a aplicação foliar de Ni reduziu, ao menos parcialmente, a fitotoxicidade causada pelo glufosinato de amônio. Esse efeito mitigador foi demonstrado pela influência nas variáveis altura de plantas, no número de vagens e na produtividade, além da redução dos sintomas visuais de fitotoxicidade. Assim, a suplementação com Ni pode ser uma estratégia promissora para reduzir os impactos da fitotoxicidade do glufosinato de amônio na cultura da soja.

Palavras-chave: *Glycine max*; Glufosinato de Amônio; Produtividade.

ABSTRACT

Effect of nickel on mitigating the glufosinate phytotoxicity applied post-emergence to IPRO RR2 soybeans

New soybean cultivars tolerant to glufosinate ammonium enable more efficient weed management. However, herbicide drift can adversely affect susceptible crops. Nickel (Ni) nutrition has been studied as a potential strategy to mitigate herbicide-induced phytotoxicity, as several studies highlight its role in enhancing tolerance to environmental stresses, including toxicity in annual crops. This study evaluated the effect of foliar Ni application in mitigating phytotoxicity induced by glufosinate ammonium in the susceptible soybean cultivar Intacta RR2 PRO® (IPRO). The experiment was conducted in two locations: Area 1 (LRV) in the municipality of Lucas do Rio Verde and Area 2 (NMT) in the municipality of Nova Mutum. Herbicide applications were performed at the V6 phenological stage (sixth node of the main stem with fully developed leaves), followed by Ni application 120 hours later. Five doses of glufosinate ammonium (0%, 15%, 25%, 50%, and 100% of the maximum recommended dose) and two Ni doses (0% and 100%, equivalent to 60.0 g ha⁻¹) were tested. Phytotoxicity symptoms were assessed through visual observation at 7, 14, and 21 days after application using a standardized phytotoxicity rating scale. At the R8 stage, plant height and yield components were evaluated, including grain yield, thousand-grain weight (TGW), and total pod number (TPN). The results suggest that foliar Ni application partially mitigated the phytotoxic effects of glufosinate ammonium. This mitigating effect was evidenced by its influence on plant height, pod number, and grain yield, as well as by a reduction in visual phytotoxicity symptoms. Therefore, Ni supplementation may represent a promising strategy for alleviating glufosinate ammonium-induced phytotoxicity in soybean cultivation.

Keywords: Glycine max; Glufosinate Ammonium; Productivity.

LISTA DE SIGLAS

ANOVA	– Análise de variância
Ca	– Cálcio
CE	– Conkesta Enlist®
CONAB	– Companhia Nacional de Abastecimento
CO ₂	– Dióxido de carbono
Cu	– Cobre
DAA	– Dias após a aplicação
DMS	– Diferença Mínima Significativa
FBN	– Fixação biológica de nitrogênio
Fe	– Ferro
g	– Grama
ha	– Hectare
HRAC	– Comitê de Ação contra Resistência a Herbicidas
LRV	– Lucas do Rio Verde – área 1
L	– Litros
i.a.	– Ingrediente Ativo
m	– Metro
m ²	– Metro quadrado
Mg	– Manganês
Mn	– Magnésio
N	– Nitrogênio
Ni	– Níquel
NGV	– Número de grãos por vagem
NMT	– Nova Mutum – área 2
NVT	– Número de vagens total
P	– Fósforo
PDT	– Produtividade
PMG	– Peso de mil grãos
RR	– Tolerantes ao glifosato
Zn	– Zinco

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Temperatura média, máxima e mínima no período de setembro de 2023 a março de 2024 no município de Lucas do Rio Verde.....	25
Figura 2. Precipitação média no período de setembro de 2023 a março de 2024 nas áreas experimentais.....	26
Figura 3. Croqui experimental dos experimentos.	27
Figura 4. Altura média das plantas de soja, cultivadas sob diferentes doses de herbicidas, e o efeito da aplicação do níquel (Ni) nos Locais 1 (A) e 2 (B).	31
Figura 5. Número médio de vagens por planta de soja em função das doses de herbicidas e a interação com o níquel (Ni) nos Locais 1 (A) e 2 (B).	31
Figura 6. Peso de mil grãos (PMG) em plantas de soja, tratadas com diferentes doses de herbicidas, nos locais 1 (A) e 2 (B).....	32
Figura 7. Produtividade média da cultura da soja, em função das doses de herbicidas e do uso, ou não, do níquel (Ni), nos locais 1 (A) e 2 (B).	33
Figura 8. Fitotoxicidade da soja aos 7 dias após a aplicação (DAA), em função das doses de herbicidas, nos locais 1 (A) e 2 (B).	34
Figura 9. Fitotoxicidade da soja aos 14 dias após a aplicação (DAA), em função das doses de herbicidas e do uso, ou não, do níquel (Ni), nos Locais 1 (A) e 2 (B).	35
Figura 10. Fitotoxicidade da soja aos 21 dias após a aplicação (DAA), em função das doses de herbicidas e do uso, ou não, do níquel (Ni), nos Locais 1 (A) e 2 (B).	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados da análise química do solo da área experimental de Lucas do Rio Verde.	26
Tabela 2. Resultados da análise química do solo da área experimental de Nova Mutum.....	26
Tabela 3. Classificação da escala EWRC para fitotixidade ocasionado por herbicidas em plantas de soja [Glycine max (L.) Merr.].....	29
Tabela 4. Tabela de análise de variância para altura, número de vagem, produtividade, peso de mil grãos e fitotoxicidade da soja, em função das doses de herbicida e do uso de níquel (Ni).....	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	HIPÓTESE	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	Cultivo da soja em condições tropicais	16
3.2	Manejo de plantas daninhas na soja	18
3.3	Adubação foliar na cultura da soja.....	20
3.3.1	Adubação foliar de níquel.....	22
4	OBJETIVOS	23
4.1	Objetivo geral	23
4.2	Objetivos específicos	24
5	MATERIAL E MÉTODOS.....	25
5.1	Características da área	25
5.2	Delineamento experimental e descrição dos tratamentos	26
5.3	Instalação e condução do experimento	27
5.4	Variáveis analisadas	28
5.5	Análises estatísticas	29
6	RESULTADOS	30
7	DISCUSSÃO	38
8	CONCLUSÕES	42
	REFERÊNCIAS.....	43
	ANEXO	52

1 INTRODUÇÃO

Nas diversas regiões agricultáveis do Brasil, podemos encontrar uma diversidade grande de fertilidade e textura de solo, temperatura, pluviosidade, infestação de pragas e doenças. Entretanto, sabemos que o propósito habitual entre os produtores rurais é viabilizar financeiramente sua atividade. Visto que estamos vivendo em uma fase na agricultura onde as margens são mais baixas, o incremento de produtividade de maneira sustentável impacta de forma positiva no lucro líquido da propriedade.

Pensando em aumento da produtividade por hectare, a tecnologia e a pesquisa estão cada vez mais interferindo de forma positiva no cotidiano do produtor rural. Avanços como moléculas novas de defensivos agrícolas, lançamento de novas cultivares, com diferentes tolerâncias e adaptabilidades, sem contar na inovação de maquinários que visam facilitar e acelerar o processo agrícola.

Sabe-se que a agricultura se define por ser uma empresa a céu aberto. Essa frase nos faz pensar e entender que as culturas estão expostas e sem algum tipo de proteção, o que nos leva a lidar com eventuais problemas corriqueiros do cerrado brasileiro, como a sobra ou a falta de água, temperaturas elevadas, condições essas que contribuem para a aparição de doenças, pragas e plantas daninhas.

Visando o controle de plantas daninhas já resistentes à molécula glifosato, dois grandes avanços em tecnologia na cultura da soja foram lançados, a tecnologia Intacta2 Xtend®, que confere tolerância ao herbicida glifosato e ao dicamba, e a tecnologia Conkesta Enlist® (CE), a qual confere tolerância ao herbicida glifosato, 2,4-D e ao glufosinato de amônio.

O glufosinato de amônio trata-se de um princípio ativo de herbicida com aproximadamente quarenta anos de mercado, herbicida não sistêmico, o qual é chamado de herbicida de contato, que até pouco tempo atrás tinha sua utilização na cultura da soja quase que única e exclusivamente na dessecação pré colheita. Com o passar do tempo, a necessidade de realizar uma aplicação de produtos pré emergentes no sistema se tornou fundamental. O glufosinato de amônio, atrelado a algum herbicida pré emergente, se mostrou eficiente nesta aplicação, devido ao seu amplo espectro de controle de plantas daninhas.

É importante frisar que os herbicidas anteriormente citados, até pouco tempo atrás não eram recomendados para pós emergência da soja, fator esse que ainda restringe sua utilização por parte dos produtores rurais. Estas moléculas possuem diferentes mecanismos de ação, e em condições adversas de aplicação, podem se apresentar extremamente voláteis. Essa volatilidade é capaz de causar injúrias não somente na própria lavoura, mas também em áreas próximas.

Pensando em reduzir, e ou até mesmo anular esta injúria, sugere-se a aplicação de alguns micronutrientes capazes de contribuir para o sistema. Entre eles, destaca-se o níquel (Ni), micronutriente constituinte de algumas enzimas, entre elas a urease, e presente na fixação biológica de nitrogênio (FBN). Até pouco tempo atrás o níquel era classificado como não essencial para as plantas, porém, estudos recentes mostram que esse nutriente cumpre com alguns parâmetros de essencialidade. Além de sua relação com a FBN, também apresenta algum tipo de proteção contra doenças fúngicas e responsável também por vários estudos sobre sua eficiência na tolerância de adversidades, como toxidez em culturas anuais.

2 HIPÓTESE

Neste estudo foi considerada a hipótese de que o níquel atuaria como um agente mitigador na fitotoxidade em plantas de soja causada pelo efeito da aplicação foliar do herbicida Finale®. Estimou-se ainda, que poderia haver aumento de produtividade na cultura, pela ação positiva do níquel na fixação biológica de nitrogênio e assimilação do N atmosférico.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Cultivo da soja em condições tropicais

A soja [*Glycine max* (L.) Merr.], representa uma das principais leguminosas destinadas ao consumo alimentar pertencentes à família Fabaceae (Van Ittersum *et al.*, 2013). Nativa da China (Guo *et al.*, 2010), é uma cultura com altos índices de proteína e óleo vegetal, responsável pela sustentação de milhões de pessoas globalmente (Capriotti *et al.*, 2014). Devido ao seu notável teor de vitaminas do complexo B, minerais como fósforo (P), zinco (Zn), ferro (Fe), cobre (Cu), cálcio (Ca), manganês (Mn) e magnésio (Mg), outros elementos essenciais, proteínas e gorduras, a cultura emergiu como uma fonte alimentar singular tanto para seres humanos quanto para animais (Svubová *et al.*, 2021; Van Ittersum *et al.*, 2013; Xu *et al.*, 2020; Kwon *et al.*, 2022). Além disso, a cultura também contém diversos agentes bioativos, como saponinas, fitoesteróis, isoflavonas (Thummajitsakul *et al.*, 2023) e isofenóis (Kanimozhi; Sukumar, 2023), que estão associados à redução do risco de várias doenças, incluindo condições como doenças cardiovasculares, diabetes, câncer e osteoporose (Thummajitsakul *et al.*, 2023; Kwon, *et al.*, 2022).

A produção mundial dessa leguminosa para a safra 2022/23, de acordo com o relatório da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), foi projetada para 369,72 milhões de toneladas. Já para a próxima safra 2023/24, a estimativa é de 405,31 milhões de toneladas (PASQUA, 2023).

No Brasil, de acordo com o 10º Levantamento de Grãos da CONAB, o volume da produção brasileira de soja na safra 2022/23 deverá se aproximar de 147,33 milhões de toneladas de grãos, um aumento de 24,93 milhões de toneladas, quando comparado com a safra 2021/2022, sintetizando as projeções antecedentes como as mais abrangentes já geradas no território nacional (CONAB, 2023). No que tange à extensão territorial brasileira, esse levantamento também apresenta uma projeção de 78,2 milhões de hectares produzidos no país, refletindo um acréscimo de 4,9% ou 3,7 milhões de hectares em relação ao plantio realizado em 2021/22. Os aumentos mais significativos estão concentrados justamente na cultura da soja, com um incremento de 2,6 milhões de hectares (6,2%) (CONAB, 2023).

No Brasil, a primeira tentativa de cultivo de soja foi realizada por Gustavo D'Utra em 1882, porém o material genético criado para ambientes frios ou temperados

não conseguiu se adaptar às condições do Estado da Bahia. Nove anos depois, em 1891 novas cultivares de soja foram testadas no Instituto Agrônomo de Campinas-SP (Gazzoni, 2018). Este autor destaca ainda que no ano de 1950, teve início o primeiro plantio de soja no Estado do Rio Grande do Sul. Durante a década de 1970, surgiu a Revolução Verde na Agricultura, e a soja desempenhou um papel fundamental nesse contexto, gerando impactos consideráveis que impulsionaram a expansão das áreas de cultivo. Ainda em meados da década de 70, pesquisas no desenvolvimento da cultura da soja no país, ganharam importância e destaque em instituições públicas e privadas brasileiras como a Embrapa. O primeiro obstáculo residia na produção de variedades de soja adaptadas às condições subtropicais e tropicais do Brasil com o intuito de substituir as cultivares importadas dos Estados Unidos, as quais tinham sido desenvolvidas para uma faixa geográfica distinta, e quando semeadas em latitudes mais baixas, não se desenvolviam de forma adequada, tornando inviável a exploração comercial (Gazzoni, 2018).

Neste cenário, em climas temperados ou frios, embora a soja seja suscetível a várias pragas, ela não enfrenta tantos estresses que restrinjam sua produtividade como acontece em climas tropicais (Seixas *et al.*, 2020). No entanto, a variabilidade das pragas e a gravidade de suas infestações e danos demandavam abordagens tecnológicas inovadoras para mitigar as ameaças fitossanitárias. Foram concebidos sistemas de controle de plantas invasoras, resultando na incorporação de resistência genética da soja a herbicidas de amplo espectro, através da técnica de transgenia (Dall'agnol, 2019).

Aliado a essas tecnologias, o manejo adequado do solo, incluindo a correção de seu perfil, a promoção da porosidade e microestrutura do solo, o aumento do teor de matéria orgânica e a eliminação de camadas compactadas, demandou a criação de tecnologias que viabilizassem um ambiente ótimo para o crescimento das raízes da soja e para a rizosfera, ao mesmo tempo proporcionando condições propícias para o desenvolvimento de microrganismos benéficos (Gazzoni, 2018). Logo, em solos pobres e novos, é requisito uma adubação que eleve sua disponibilidade, já em solos férteis e de vários anos de agricultura, entende-se necessário somente adubação de correção (Sfredo, 2008).

Dessa forma, durante o processo de cultivo da soja, faz-se necessário adotar estratégias de tratamento visando o aprimoramento da produtividade, que demonstram maior eficácia quando os estádios de desenvolvimento da planta são

claramente discernidos das sementes e a maturação geral da planta (Virág *et al.*, 2022). Nesse contexto, tecnologias de manejo integradas, por exemplo, como controle de plantas daninhas e adubação, podem promover a produtividade e a sustentabilidade dos sistemas de cultivo com soja.

3.2 Manejo de plantas daninhas na soja

Plantas daninhas são consideradas espécies de plantas exóticas que invadem os ecossistemas naturais, colocando em risco os princípios de conservação (Farmilo; Moxham, 2023). Elas têm a capacidade de competir de forma agressiva e, assim, podem suprimir as espécies nativas por meio da concorrência (Wilcove *et al.*, 1998). São organismos prejudiciais que provocam uma notável diminuição na produtividade das culturas (Oerke, 2006), por essa razão, os herbicidas frequentemente desempenham um papel importante na preservação da produção agrícola em sistemas de cultivo convencionais (Moreau *et al.*, 2021).

Tento como objetivo determinar o nível de interferência das plantas invasoras, Pitelli e Durigan (1984) indicaram as denominações: Período Anterior à Interferência (PAI), Período Total de Prevenção à Interferência (PTPI) e Período Crítico de Prevenção à Interferência (PCPI).

O PAI é determinado pelo período, a partir da emergência, em que a cultura convive com as daninhas, anteriormente à intervenção negativa em seus componentes de rendimento e demais características. Já o PTPI é o período, a partir da emergência, em que a cultura deve ser mantida livre da presença das plantas daninhas para que sua produtividade não seja afetada negativamente. Enquanto o PCPI, define-se pelo período durante o qual a convivência da cultura com as plantas daninhas resulta em prejuízo na produtividade da espécie de interesse econômico (Pitelli; Durigan, 1984). Usualmente é entendido como o período que corresponde pelo final do PAI até o início do PTPI (Nepomuceno *et al.*, 2007).

Dessa forma, manter áreas livres de plantas invasoras ao redor das culturas é de suma importância para otimizar a produtividade agrícola. Isso garante que as plantas cultivadas não enfrentem competição por recursos essenciais, como nutrientes, luz solar e água, que as plantas daninhas podem disputar (Raja *et al.*, 2020).

Nesse contexto, as estratégias de controle de plantas daninhas atualmente utilizadas na cultura da soja se baseiam na aplicação homogênea de herbicidas adequados em toda a extensão do campo, em vez de direcioná-los para as áreas específicas com a presença das plantas daninhas (Ashmed *et al.*, 2021). Isso muitas vezes resulta em prejuízos econômicos e impactos ambientais indesejáveis (Kunz *et al.*, 2018). Soltani *et al.* (2016) destacam que as perdas econômicas anuais ocasionadas por plantas daninhas, chegaram a mais de 25 bilhões de dólares para as culturas de milho e soja exclusivamente na região da América do Norte.

Assim, as plantas daninhas que invadem as plantações de soja representam um dos principais fatores bióticos que restringem a produtividade da cultura. Essas plantas competem com a cultura de soja por recursos vitais, como água, nutrientes, espaço e luz. Essa competição ganha relevância especialmente durante os estágios iniciais de desenvolvimento da planta, o que tem um impacto direto nos níveis de perda da colheita (Vargas; Roman, 2006).

Buscando formas de minimização dessas perdas, as formas mais eficazes de controle dessas plantas, são divididas em controles químico, físico, mecânico, biológico e cultural. Sendo que, a decisão de qual utilizar depende de fatores como custo, eficácia e as condições da área desejada (Farmilo; Moxham, 2023).

O controle químico com a utilização de herbicidas tem sido a técnica mais eficaz no controle de plantas daninhas em campo, pois permitem um alto rendimento e eficiência no trabalho (Bastiaans *et al.*, 2000). O controle físico engloba a aplicação de técnicas como cobertura morta, solarização, uso de fogo, inundação, drenagem e aplicação de eletricidade para erradicar as plantas daninhas (Oliveira *et al.*, 2018).

Entre os métodos de controle mecânicos, a capina manual e a capina mecânica têm sido os métodos tradicionais mais utilizados para o controle de plantas daninhas, visando diminuir a presença excessiva dessas plantas (Abbas *et al.*, 2021). Nesse contexto, em grandes áreas, a gradagem, é uma prática eficaz para assegurar a sustentabilidade do sistema de produção agrícola em algumas culturas (Su, 2020).

O controle biológico envolve a utilização de parasitas, predadores ou patógenos que têm a capacidade de diminuir a população de plantas daninhas, reduzindo assim sua habilidade de competir (Silva *et al.*, 2007). Por fim, o controle cultural, compreende práticas agronômicas como a rotação de culturas, o preparo do solo (Baghel *et al.*, 2020), a manutenção de resíduos vegetais (Price *et al.*, 2018) e o

cultivo consorciado têm se mostrado eficazes para controlar a diversidade de plantas daninhas (Kumar *et al.*, 2023).

Dando ênfase ao controle químico, os herbicidas constituem mais de 50% de todos os produtos agroquímicos utilizados globalmente, frequentemente envolvendo múltiplas aplicações durante uma única temporada de cultivo (KAPSI *et al.*, 2019). Suas aplicações com outros agentes químicos são realizadas durante o plantio e logo após o plantio (pré-emergência) ou após a emergência da cultura (pós-emergência) (Chahal *et al.*, 2012).

Entre os herbicidas utilizados para a cultura da soja, podemos citar o glufosinato de amônio, princípio ativo que é destaque desta pesquisa.

O herbicida glufosinato de amônio, segundo Takano e Dayan (2020) é um herbicida de ação não sistêmica, do grupo químico homoalanina substituída, tendo como mecanismo de ação os inibidores da glutamina sintetase, os quais inibem a atividade desta glutamina. Essa enzima inicial na rota converte o N inorgânico em compostos orgânicos, levando ao acúmulo rápido de altos níveis de amônio, levando a destruição das células. É amplamente utilizado em culturas de soja tolerantes a herbicidas. Este herbicida têm um amplo espectro de ação e alta eficácia no controle de uma variedade de plantas daninhas anuais e perenes (Dayan *et al.*, 2019). Após a aplicação de glufosinato de amônio, as plantas geralmente exibem sintomas característicos, incluindo uma clorose rápida do tecido tratado, seguida de necrose e morte das plantas em questão de poucos dias (Brunharo; Christofolletti; Nicolai, 2014). Porém, os resíduos de glufosinato de amônio e seus metabólitos podem permanecer na cultura alvo devido ao uso contínuo desse produto químico (Wang *et al.*, 2023).

A interação entre herbicidas e fertilizantes foliares pode levar a efeitos antagônicos, sinérgicos ou aditivos, variando de acordo com as espécies de plantas daninhas visadas e as características químicas do herbicida e do fertilizante foliar em questão (Daramola *et al.*, 2023).

3.3 Adubação foliar na cultura da soja

Os fertilizantes utilizados no solo desempenham um papel crucial na agricultura, contudo, estádios subsequentes de crescimento frequentemente requerem uma aplicação adicional via pulverização foliar para suprir as necessidades de crescimento devido à capacidade limitada de absorção pelo solo (Tariq *et al.*, 2018). Sua utilização por meio da aplicação foliar traz vantagens significativas para a produção agrícola. Isso ocorre ao suprir os nutrientes quando as condições do solo dificultam sua absorção pelas raízes, e ao proporcionar uma eficiência de aplicação mais elevada (Nicoulaud; Bloom, 1996).

Neste sentido, a adubação foliar é um método de adubação agronômica altamente eficaz, uma vez que facilita a absorção dos nutrientes pelas plantas, o que, por sua vez, melhora a utilização dos nutrientes presentes nos fertilizantes aplicados, resultando assim, em um aumento na produtividade e na qualidade das culturas (Osman *et al.*, 2013). É uma técnica altamente eficiente, uma vez que é aplicada diretamente ao metabolismo da planta, evitando as limitações do solo e os riscos de lixiviação associados aos fertilizantes aplicados no solo (Burkhardt, 2010).

A aplicação foliar de elementos minerais suplementares, como o níquel, ferro, manganês, cobre, zinco, boro e molibdênio, tem a capacidade de atenuar as limitações nutricionais do solo ao influenciar processos fisiológicos, como pigmentos fotossintéticos, assimilação de nutrientes e resposta estomática (Ruiz-Navarro *et al.*, 2019). Cada vez mais, a adubação foliar vem ganhando destaque como um método para aplicação de macronutrientes, micronutrientes e substâncias húmicas. Essa abordagem tem proporcionado uma série de benefícios positivos para as plantas, especialmente em termos fisiológicos, morfológicos e na produtividade de várias culturas (Tejada *et al.*, 2016).

No Brasil, para atingir altos patamares de produtividade a soja necessita do fornecimento de quantidades adequadas de nutrientes, sendo que a baixa disponibilidade de macro e micronutrientes e, conseqüentemente a baixa fertilidade do solo, pode se tornar um problema para a cultura (Campo; Araújo; Hungria, 2009). Porém, cabe destacar que uma análise mais precisa do estado nutricional da cultura é crucial para a formulação de recomendações de fertilização mais sólidas (Tilman *et al.*, 2011).

Dentro desse contexto, a presença de micronutrientes no solo exerce um impacto substancial no rendimento e na qualidade das culturas. Um dos principais fatores por trás dessa preocupação está ligado ao aumento da produção agrícola, o

qual está intimamente conectado ao crescimento populacional. Esse aumento na produção diminui os recursos de nutrientes que ficam à disposição das plantas no solo (Alloway, 2008). Assim, uma alternativa é a administração direta de micronutrientes nas folhas, conhecida como adubação foliar. Nos últimos anos, essa abordagem tem ganhado popularidade devido à sua prontidão, custo mais acessível e orientação específica para objetivos, em comparação com a fertilização do solo. No entanto, avaliar a eficácia em corrigir deficiências por meio da adubação foliar pode ser incerto, uma vez que a penetração e a mobilidade de cada nutriente precisam ser determinadas (Fernández; Sotiropoulos; Brown, 2013).

3.3.1 Adubação foliar de níquel

Dentre os micronutrientes importantes no desenvolvimento da cultura, podemos citar o Ni, que dentre sua relevância, apresenta participação na metaloenzima urease, que desempenha um papel na decomposição da ureia em amônia e dióxido de carbono (CO_2), desempenhando também um papel crucial nas plantas que são adubadas com uréia ou seus derivados. Isso é essencial para o metabolismo do nitrogênio (N), já que a deficiência de Ni pode prejudicar a atividade da urease, levando ao acúmulo de ureia e resultando em manchas necróticas nas folhas (Dechen; Nachtigal, 2007).

O Ni também está relacionado com a fixação simbiótica do N_2 , uma vez que o hidrogênio gerado no processo de fixação de nitrogênio é reciclado por uma hidrogenase. A hidrogenase por sua vez é um processo complexo que envolve pelo menos 15 proteínas, algumas das quais participam da inserção de um átomo de níquel essencial no sítio ativo da enzima (Ureta *et al.*, 2005). Isso destaca a importância do Ni não apenas no metabolismo da ureia, mas também na interação simbiótica entre as plantas que realizam o processo de FBN. Evans *et al.* (1987) destacam que o Ni auxilia também na nitrificação e mineralização dos compostos que contêm N orgânico.

Outro ponto importante que vem sendo destaque, é a utilização do Ni na redução de fitotoxicidade em plantas expostas ao glifosato. Dessa forma, devido ao aumento de plantas que apresentam resistência a este herbicida, tem sido observado um aumento significativo na utilização do mesmo, principalmente em aplicações pós-emergência, sendo aplicado três a quatro vezes ao longo do ciclo da cultura (Serra *et al.*, 2011).

No entanto, essas repetidas aplicações de um único herbicida têm tido impactos negativos na nutrição das plantas. Estudos realizados por Cakmak *et al.*

(2009) em plantas de soja convencional, demonstrou que o glifosato interfere na absorção e na movimentação de Ca, Mg, Fe e Mn. Santos *et al.* (2007) observou que a constante utilização de glifosato gera uma diminuição nos teores de N, Ca, Fe e Cu em plantas de soja RR (tolerantes ao glifosato) quando tratadas com glifosato, especialmente durante o período de florescimento.

Outro ponto importante, é que o glifosato pode ter um impacto sobre o processo de FBN, uma vez que pode resultar na diminuição dos níveis de Ni, um micronutriente crucial para os microrganismos envolvidos na simbiose nitrogenada (Zobiole *et al.*, 2010). Por outro lado, o aumento da vulnerabilidade de certas culturas a doenças causadas pelo glifosato é justificado pela sua interação com cátions divalentes, resultando na formação de compostos pouco solúveis (Einhardt *et al.*, 2022). Além disso, o glifosato inibe as vias do chiquimato e dos fenilpropanoides, o que pode ocasionar desequilíbrios hormonais nas plantas, como os ácidos salicílico e jasmônico. Isso leva à diminuição na produção de compostos fenólicos e altera a síntese de alguns aminoácidos (Duke, 2018). Segundo Duke (2018) e Einhardt *et al.* (2022), destacam que a hipótese de que o glifosato, por si só ou em sinergia com o Ni, possa reforçar a resistência das plantas de uma cultivar de soja já resistente ao glifosato, por meio do fortalecimento do metabolismo antioxidante, deverá ser investigada em termos bioquímicos.

Levando em consideração a capacidade do Ni em reduzir os sintomas de algumas patologias em plantas, a possibilidade de utilizar o próprio glifosato ou uma combinação dele com o Ni como uma nova abordagem para controlar fitopatologias tem sido explorada (Einhardt *et al.*, 2022).

Nesse cenário, a emergente fertilização com o micronutriente Ni na soja, além de melhorar o metabolismo de N das plantas, pode ser o aliado ideal para aliviar a fitotoxidez dos herbicidas, garantido produtividade e sustentabilidade. Contudo, segundo nosso melhor conhecimento, até o presente momento, não existem estudos investigando a integração do manejo deste micronutriente com o controle de plantas daninhas empregando métodos de controle químico.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo geral

Investigar o efeito da aplicação foliar do micronutriente Ni na mitigação da fitotoxidez causada pela aplicação do glufosinato de amônio manejado nos sistemas de cultivo de soja, com ênfase na produção e quantificação de fitotoxidez.

4.2 Objetivos específicos

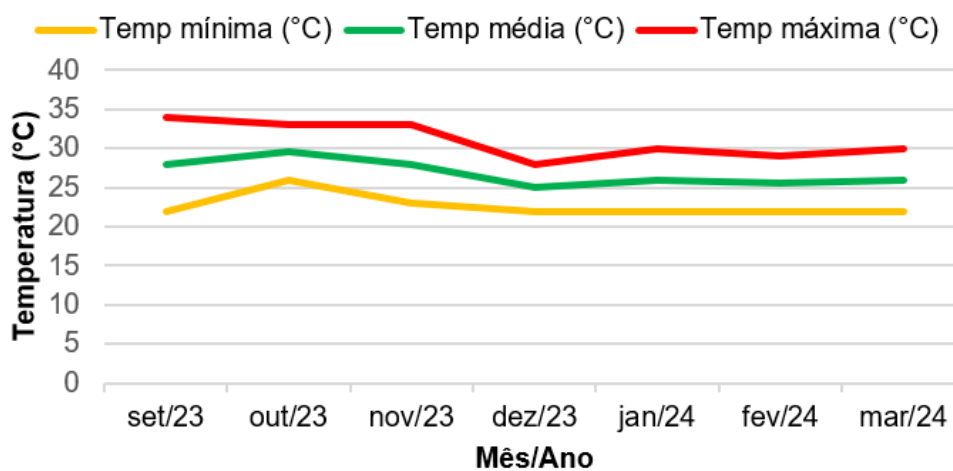
- i) Avaliar os efeitos das doses do herbicida glufosinato de amônio recomendado para cultivares de soja tolerantes, em uma cultivar com tecnologia Intacta RR2 PRO® (IPRO) suscetível aos herbicidas a base de glufosinato de amônio;
- ii) Avaliar o efeito da aplicação do micronutriente Ni em fitotoxidez causada por glufosinato de amônio;
- iii) Avaliar quais os benefícios da aplicação do micronutriente Ni nos componentes de rendimento da cultura da soja.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Características da área

Foram conduzidos dois experimentos simultâneos, um no município de Lucas do Rio Verde – MT (LRV) e o outro em Nova Mutum – MT (NMT). A área 1 LRV, faz parte da fazenda da Universidade UniLasalle, situada na latitude 12°46'36" e longitude de 56°04'05", altitude de 402 m. A área 2 NMT, na latitude 13° 56' 90" e longitude de 55° 71' 81", altitude de 443 m. O clima é classificado por Köppen como Aw (ALVARES *et al.*, 2013), sendo clima tropical, com inverno seco. Em ambas as áreas experimentais, o solo é classificado como Latossolo Vermelho (Santos, 2018). Estas áreas utilizadas para o experimento, se trata de áreas comerciais de lavoura. Região onde a agricultura se instalou há aproximadamente quarenta anos atrás, e na última década, o milho segunda safra se intensificou. Portando, o trabalho foi instalado na cobertura de uma palhada de milho referente a segunda safra do ano em questão.

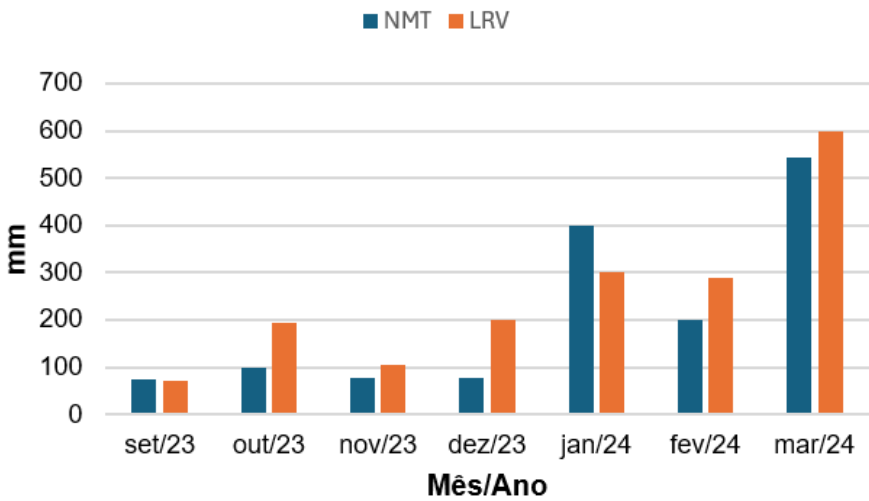
Figura 1. Temperatura média, máxima e mínima no período de setembro de 2023 a março de 2024 no município de Lucas do Rio Verde



Fonte: INMET.

Nota: Gráfico elaborado pelo autor.

Figura 2. Precipitação média no período de setembro de 2023 a março de 2024 nas áreas experimentais



Fonte: Gráfico elaborado pelo autor.
Nota: Coleta manual (pluviômetro)

Tabela 1. Resultados da análise química do solo da área experimental de Lucas

Análise química do solo															
Amostra	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	V	M.O	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	H ₂ O	mg/dm ³			cmol/dm ³				%	dag/kg	mg/dm ³				
0 a 20 cm	5,9	5,3	77	2,4	0,6	0	3,4	3,2	48	2,3	0,3	0,7	25	5,6	4,4
Análise física do solo															
Amostra	Argila		Silte		Areia Total										
					g/kg										
0 a 20 cm	482		88		430										

do Rio Verde

Fonte: Laboratório credenciado “Solo Certo”, Lucas do Rio Verde – MT, 2024.
Legenda: P: Fósforo; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Al: Alumínio; H: Hidrogênio; SB: Soma de bases; CTC: Capacidade de Troca Catiônica; M.O: Matéria Orgânica; B: Boro; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Mn: Manganês; Zn: Zinco; cm: centímetros.

Tabela 2. Resultados da análise química do solo da área experimental de Nova

Análise química do solo															
Amostra	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	V	M.O	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	H ₂ O	mg/dm ³			cmol/dm ³				%	dag/kg	mg/dm ³				
0 a 20 cm	5,7	6,5	33	3,9	0,8	0	2,8	4,78	63	2,8	0,26	1,1	46	11,2	3,9
Análise física do solo															
Amostra	Argila		Silte		Areia Total										
					g/kg										
0 a 20 cm	554		75		371										

Mutum

Fonte: Laboratório credenciado “Solo Certo”, Nova Mutum – MT, 2024.
Legenda: P: Fósforo; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Al: Alumínio; H: Hidrogênio; SB: Soma de bases; CTC: Capacidade de Troca Catiônica; M.O: Matéria Orgânica; B: Boro; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Mn: Manganês; Zn: Zinco; cm: centímetros.

5.2 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos

Em condições de cultivo a campo foram testadas em plantas de soja, utilizando a cultivar Brasmax Olimpo IPRO (80I82RSF IPRO), onde foram aplicadas as cinco doses do herbicida Finale® (glufosinato de amônio 200 g L) e duas doses do micronutriente Ni nas duas áreas experimentais acima citadas, totalizando dez tratamentos. Portanto, foram realizados dois experimentos, concomitantemente, em duas áreas distintas.

Os experimentos foram conduzidos em parcelas de 6 linhas de 4 m de comprimento espaçadas em 0,5 m, totalizando 12 m². As parcelas experimentais foram implantadas em delineamentos em blocos casualizados em esquema fatorial 5x2.

A Figura 1 apresenta o esquema experimental das áreas LRV e NMT, cada uma composta por 40 parcelas, totalizando 80 unidades experimentais nas duas áreas. O delineamento seguiu um esquema fatorial 5x2, combinando cinco doses de herbicida (H1: 0,0 L ha⁻¹; H2: 0,375 L ha⁻¹; H3: 0,625 L ha⁻¹; H4: 1,5 L ha⁻¹; H5: 2,5 L ha⁻¹;) e duas doses de níquel (N1: 0,0 g ha⁻¹; N2: 60,0 g ha⁻¹). As parcelas foram organizadas em quatro blocos, garantindo a distribuição aleatória dos tratamentos dentro de cada área experimental.

Figura 3. Croqui experimental dos experimentos

H1/N1	H2/N1	H3/N1	H4/N1	H5/N1	H1/N2	H2/N2	H3/N2	H4/N2	H5/N2	BLOCO 1
H1/N2	H5/N2	H2/N1	H2/N2	H5/N1	H4/N1	H3/N2	H3/N1	H4/N2	H1/N1	BLOCO 2
H5/N1	H4/N2	H3/N1	H3/N2	H4/N1	H1/N1	H2/N1	H1/N2	H5/N2	H2/N2	BLOCO 3
H4/N1	H5/N2	H2/N1	H2/N2	H3/N2	H1/N2	H4/N2	H5/N1	H3/N1	H1/N1	BLOCO 4

Figura 3: Esboço do croqui do experimento, onde H representa as cinco doses de herbicida, como: H1 – controle; H2 - 0,375 L ha⁻¹; H3 - 0,625 L ha⁻¹; H4 - 1,5 L ha⁻¹ e H5 - 2,5 L ha⁻¹, e N representa as duas doses de níquel, sendo: N1 – 0,0 g ha⁻¹ e N2 – 60,0 g ha⁻¹.

5.3 Instalação e condução do experimento

O experimento instalado LRV foi conduzido no período de 13 de outubro de 2023 a 07 de fevereiro de 2024. Já o experimento instalado NMT foi conduzido no período de 22 de dezembro de 2023 a 10 de abril de 2024.

A semeadura em LRV foi no dia 13/10/2023, e NMT foi no dia 22/12/2023, sendo a densidade de semeadura foi feita com a finalidade de obter 240.000 plantas finais por ha⁻¹, da cultivar Olimpo.

A adubação foi realizada na modalidade a lanço, utilizando como fonte de P o super fosfato simples 23%, com dose de 391 kg ha⁻¹. Já a adubação potássica, teve como fonte o cloreto de potássio, com taxa de aplicação de 150 kg ha⁻¹.

Para simular a deriva do herbicida glufosinato de amônio utilizada na cultura da soja, foram aplicadas, no estágio fenológico V6 (quando o sexto trifólio do caule principal está visível e as folhas totalmente desenvolvidas, conforme Fehr e Caviness, 1977), cinco doses distintas do herbicida. As doses do herbicida Finale® aplicadas foram: controle (ausência do herbicida), 0,375 L ha⁻¹ (75 g de i.a. ha⁻¹), 0,625 L ha⁻¹ (125 g de i.a. ha⁻¹), 1,5 L ha⁻¹ (300 g de i.a. ha⁻¹), e 2,5 L ha⁻¹ (500 g de i.a. ha⁻¹), com o intuito de reproduzir os efeitos da fitotoxidez provocada pela deriva da substância. A variação nas doses permitirá avaliar de forma mais precisa a intensidade do efeito fitotóxico em diferentes níveis de exposição.

Os tratamentos com o micronutriente Ni, foram aplicados após 120 horas, via pulverização foliar utilizando como fonte o sulfato de níquel (NiSO₄.6H₂O) nas doses de 0,0 (ausência de Ni aplicado) e 60,0 g de Ni ha⁻¹, nomeadamente 0% e 100%. A dose agrônômica de Ni usada nesse estudo está baseada no estudo de Einhardt *et al.* (2021).

Os tratamentos foram aplicados com o auxílio de um pulverizador costal pressurizado a CO₂ com vazão de 200 L ha⁻¹ utilizando ponta de pulverização formato leque modelo 11002.

O manejo de fungicidas e de inseticidas foi realizado conforme necessidade de aplicação, para tal, foi realizado monitoramento constante dos experimentos durante todo o ciclo da cultura.

5.4 Variáveis analisadas

Os parâmetros avaliados e a coleta das amostras foram realizadas na área útil de cada parcela, para tal, foi descartado a parte inicial da parcela (um metro linear) e a área final da parcela (um metro linear), bem como uma linha de soja de cada lado, totalizando uma área útil de 4 m².

As avaliações se iniciaram no estágio reprodutivo R2, representado por uma flor aberta em um dos dois nós superiores da haste principal com uma folha totalmente desenvolvida, onde foi avaliado o dano dos herbicidas. Para tal, seguiu-se o padrão

de avaliação visual da parcela, com ajuda de uma escala de sintomas de fitotoxidez, como demonstrado na Tabela 1.

Tabela 3. Classificação da escala EWRC para fitotixidade ocasionado por herbicidas em plantas de soja [*Glycine max* (L.) Merr.]

Descrição da fitointoxicação	Porcentagem de fitointoxicação
Sem dano	0%
Pequenas alterações visíveis em muitas plantas (clorose e encarquilhamento)	20% de intoxicação nas plantas
Forte descoloração ou razoável deformação, sem ocorrer necrose	40% de intoxicação nas plantas
Redução no porte das plantas, encarquilhamento e necrose das folhas	60% de intoxicação nas plantas
Danos extremamente graves, sobrando pequenas áreas verdes nas plantas	80% de intoxicação nas plantas
Todas as plantas mortas	100% das plantas mortas

Fonte: Escala EWRC (1964) modificada.

No estágio R8, quando as plantas atingiram 95% das vagens maturadas, foi feito a avaliação de componentes de produção, como a produtividade (PDT), peso de mil grãos (PMG em g), número de vagens total (NVT), além de altura de planta. Para as avaliações de PMG e NVT, cinco plantas de cada parcela foram avaliadas, as quais foram identificadas e coletadas visando abranger a média uniforme da parcela. Já para a avaliação de PDT, foi utilizada toda a área útil da parcela. Para determinação da produtividade a umidade dos grãos foi corrigida para 14%, utilizando um medidor de umidade Motomco 999 ESI®.

5.5 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos a testes de normalidade, seguida da análise de variância (ANOVA) e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Cada experimento foi analisado de maneira independente. Para ajuste da resposta a dose foi aplicado o teste de regressão e utilizado o modelo que mais se ajustou aos resultados.

6 RESULTADOS

Diferenças significativas ($p < 0,05$) foram encontradas para o fator doses de herbicida para todas as variáveis analisadas. O fator aplicação de Ni apresentou significância para Fito 21 DAA. A interação entre aplicação de Ni e as doses de herbicidas foi significativa para Fito 14 DAA e Fito 21 DAA (Tabela 2).

Tabela 4. Tabela de análise de variância para altura, número de vagem, produtividade, peso de mil grãos e fitotoxicidade da soja, em função das doses de herbicida e do uso de níquel (Ni)

Fontes de Variação	Altura	Nº Vagem	Produt	PMG	Fito 07 DAA	Fito 14 DAA	Fito 21 DAA
Doses	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Repetições	0,9945	0,8824	0,2906	0,0282	0,3341	0,7046	0,0703
Níquel	0,0518	0,0865	0,2170	0,5371	0,8464	0,3250	0,0001
Doses X Níquel	0,5005	0,4460	0,1849	0,8523	0,9776	0,0060	0,0001
CV (%)	8,98	17,31	21,26	8,06	9,24	4,85	4,08

DAA = dias após a aplicação.

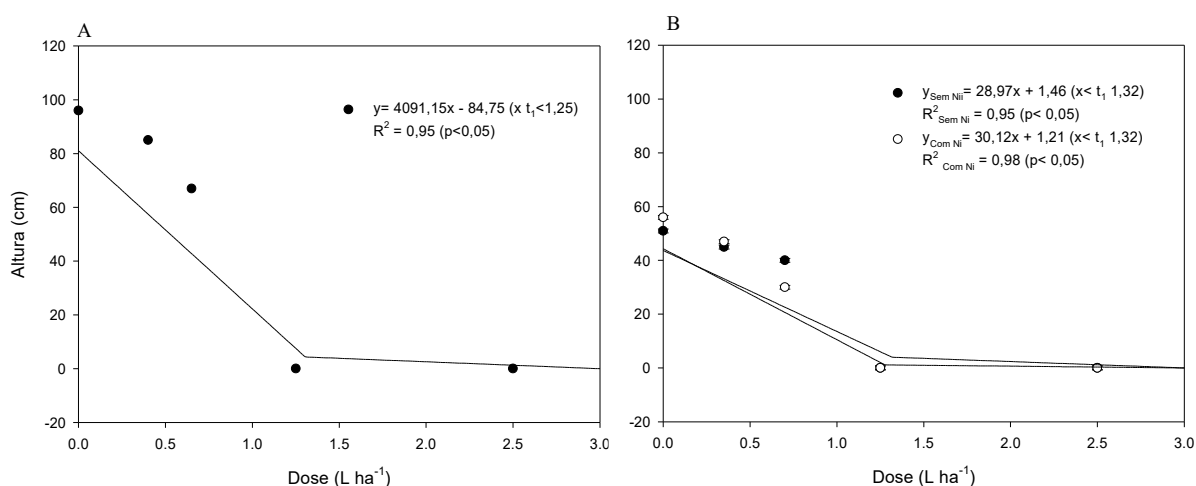
As doses crescentes de herbicida afetaram significativamente a altura das plantas de soja nos dois locais avaliados, com padrões distintos entre as condições com e sem aplicação de níquel (Ni) (Figura 2A e 2B). No local 1 (Figura 2A), o ponto de flexão foi identificado em $1,3 \text{ L ha}^{-1}$, representando a dose em que a altura mínima foi alcançada, enquanto no local 2 (Figura 2B), os pontos de flexão foram sem Ni $1,32 \text{ L ha}^{-1}$ e com Ni $1,28 \text{ L ha}^{-1}$. Observou-se que, em ambos os locais, a altura das plantas foi maior nas parcelas que receberam aplicação de Ni em comparação às parcelas sem o micronutriente, especialmente em doses intermediárias de herbicidas.

No local 1, as parcelas sem aplicação de Ni apresentaram uma redução mais acentuada na altura das plantas após o ponto de flexão comparado ao local 2. A aplicação de Ni mitigou significativamente os efeitos negativos dos herbicidas no local 2, até a segunda dose utilizada ou seja $0,375 \text{ L ha}^{-1}$, resultando em plantas com altura superior em relação àquelas sem Ni. Essa resposta à aplicação de Ni sugere um papel atenuante do micronutriente na fitotoxidez causada pelos herbicidas.

Em ambos os locais, os dados ajustados indicam que doses acima do ponto de flexão reduziram drasticamente a altura das plantas, independentemente da

presença ou ausência de Ni. Portanto reforçando a relevância da aplicação de Ni como estratégia para reduzir os efeitos negativos dos herbicidas.

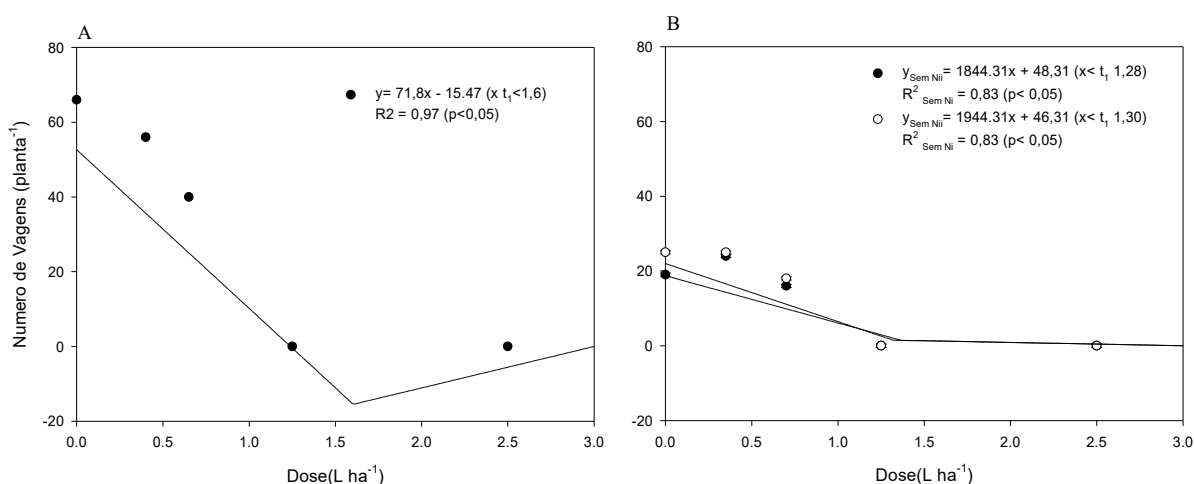
Figura 4. Altura média das plantas de soja, cultivadas sob diferentes doses de herbicidas, e o efeito da aplicação do níquel (Ni) nos Locais 1 (A) e 2 (B)



A linha segmentada representa o ajuste sem aplicação de Ni, e a linha contínua representa o ajuste com aplicação de Ni. As barras de erro indicam o DMS (Diferença Mínima Significativa).

As doses crescentes de herbicidas impactaram significativamente o número médio de vagens por planta nos dois locais avaliados, a interação entre Ni e dose somente ocorreu no local 2 (Figura 3A e 3B). No local 1 (Figura 3A), o ponto de transição foi a dose de 1,6 L ha⁻¹, enquanto no local 2 tanto sem Ni como com Ni o ponto de transição foi 1,32 L ha⁻¹. O ajuste segmentado mostrou que as parcelas tratadas com Ni apresentaram maior número de vagens em doses intermediárias (0 e 25% da dose) de herbicidas, sugerindo que o micronutriente atenuou os efeitos negativos, quando a dose do herbicida era baixa, sobre o desenvolvimento da cultura. Embora as parcelas tratadas com Ni tenham apresentado ligeiro aumento no número de vagens em relação às parcelas sem Ni, a redução foi evidente em ambas as condições para doses acima de 1,5 L ha⁻¹. Esses resultados reforçam que a aplicação de Ni pode mitigar parcialmente os efeitos negativos dos herbicidas, especialmente em doses que se aproximam do ponto de transição identificado.

Figura 5. Número médio de vagens por planta de soja em função das doses de herbicidas e a interação com o níquel (Ni) nos Locais 1 (A) e 2 (B)



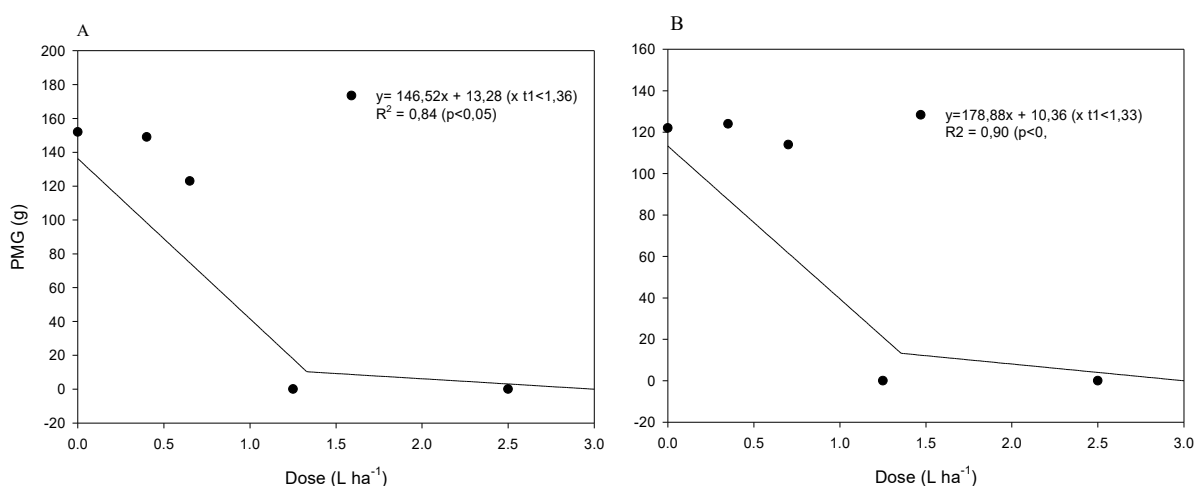
O ajuste linear segmentado foi realizado para as condições com e sem Ni, indicando o ponto de transição (T1). As barras de erro representam o DMS calculado para os tratamentos.

A variável peso de mil grãos (PMG) não teve interação entre uso do Ni e as doses de herbicida, tendo ocorrido redução do PMG com o aumento das doses de herbicidas, independente do uso ou não do Ni (Figura 4A e 4B). No local 1 (Figura 4A), o ponto de transição foi identificado em $1,36 \text{ L ha}^{-1}$, enquanto no local 2 (Figura 4B), o ponto de transição foi menor, em $1,33 \text{ L ha}^{-1}$. As doses superiores a esses valores apresentaram uma redução acentuada no PMG.

No local 1, as plantas apresentaram um declínio mais gradual do PMG em doses inferiores ao ponto de transição, enquanto no local 2, a redução foi mais acentuada. As equações de regressão segmentada indicam que, após os pontos de transição, o PMG manteve-se estável, demonstrando que doses excessivas dos herbicidas não comprometeram ainda mais essa variável.

Os resultados sugerem que o manejo adequado das doses de herbicidas é essencial para minimizar impactos negativos sobre o PMG. As diferenças observadas entre os locais reforçam a influência das condições ambientais no desempenho da cultura.

Figura 6. Peso de mil grãos (PMG) em plantas de soja, tratadas com diferentes doses de herbicidas, nos locais 1 (A) e 2 (B)



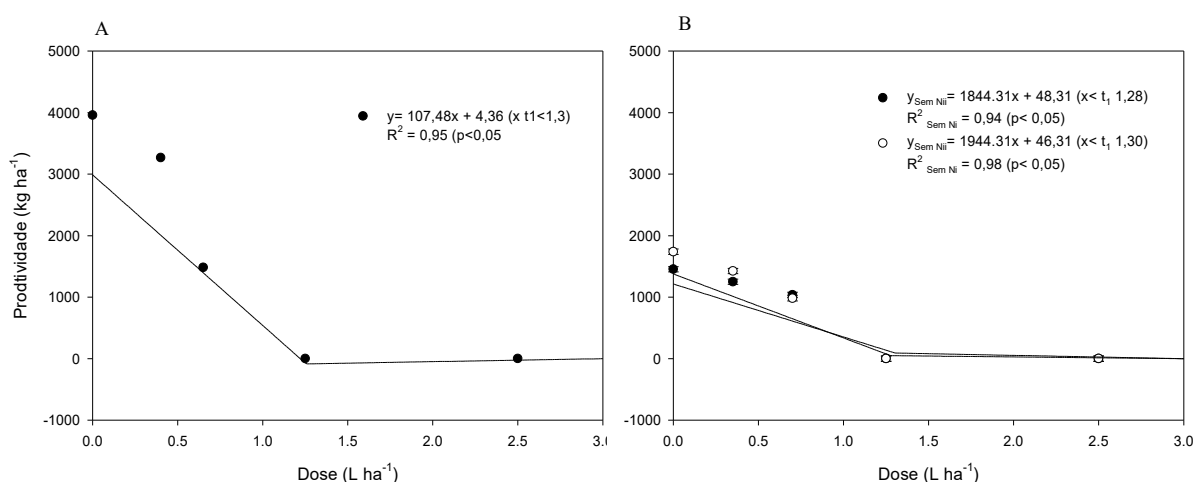
O ajuste linear segmentado evidencia o ponto de transição (T1) das doses aplicadas, com as barras de erro indicando o DMS entre os tratamentos.

A produtividade da soja apresentou um comportamento distinto entre os dois locais avaliados, ocorrendo interação Ni e dose somente no segundo local (Figura 5A e 5B). No local 1 (Figura 5A), o ponto de transição foi identificado em 1,25 L ha⁻¹, onde foi observada uma redução acentuada na produtividade após essa dose. No local 2 (Figura 5B), os pontos de transição foram, 1,30 L ha⁻¹ e 1,28 L ha⁻¹ sem Ni e com Ni, respectivamente.

A aplicação de Ni resultou em menor redução da produtividade no local 2, até 0,625 L/ ha⁻¹, indicando um possível efeito mitigador do micronutriente sobre os danos causados pelos herbicidas. No local 1, a produtividade caiu drasticamente após o ponto de transição, sem efeito significativo da aplicação de Ni.

Os dados ajustados sugerem que a aplicação de Ni pode ser uma estratégia para minimizar os impactos negativos dos herbicidas sobre a produtividade, especialmente em locais onde há maior sensibilidade da cultura às doses aplicadas.

Figura 7. Produtividade média da cultura da soja, em função das doses de herbicidas e do uso, ou não, do níquel (Ni), nos locais 1 (A) e 2 (B)



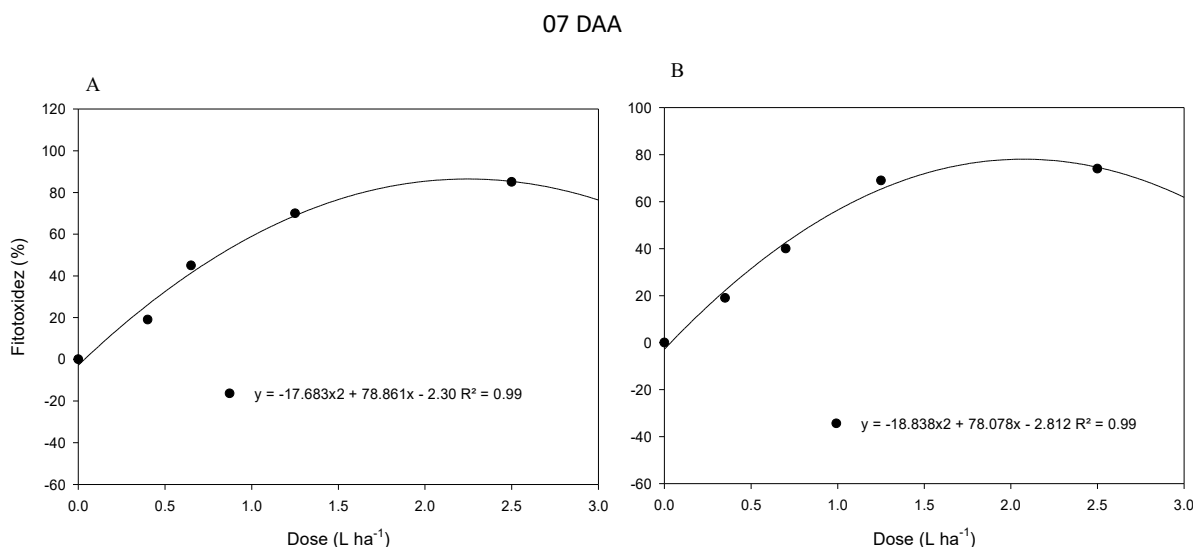
As linhas segmentadas representam os ajustes para as condições com e sem Ni, com destaque para o ponto de transição (T1). As barras de erro correspondem ao DMS dos tratamentos.

A fitotoxicidade da soja variou de forma significativa em função das doses de herbicidas aplicadas nos dois locais experimentais, conforme ajustado por uma equação quadrática (Figura 6 A e B) não havendo interação em ambos os locais, ou seja, a resposta foi a dose do herbicida independente do uso ou não do Ni. No local 1 (Figura 6 A), a equação ajustada, mostrou o pico de máxima resposta em 2,23 L ha⁻¹, seguido por uma leve redução.

No local 2 (Figura 6 B), o comportamento foi semelhante, com um ajuste quadrático indicando o pico de fitotoxicidade próximo a 2,07 L ha⁻¹. Esses resultados evidenciam que o efeito fitotóxico dos herbicidas aumenta até determinada dose, após a qual se observa uma estabilização ou ligeira redução.

As altas correlações obtidas em ambos os locais demonstram que o modelo quadrático é eficiente para descrever a relação entre a dose de herbicida e a fitotoxicidade na cultura da soja.

Figura 8. Fitotoxicidade da soja aos 7 dias após a aplicação (DAA), em função das doses de herbicidas, nos locais 1 (A) e 2 (B)

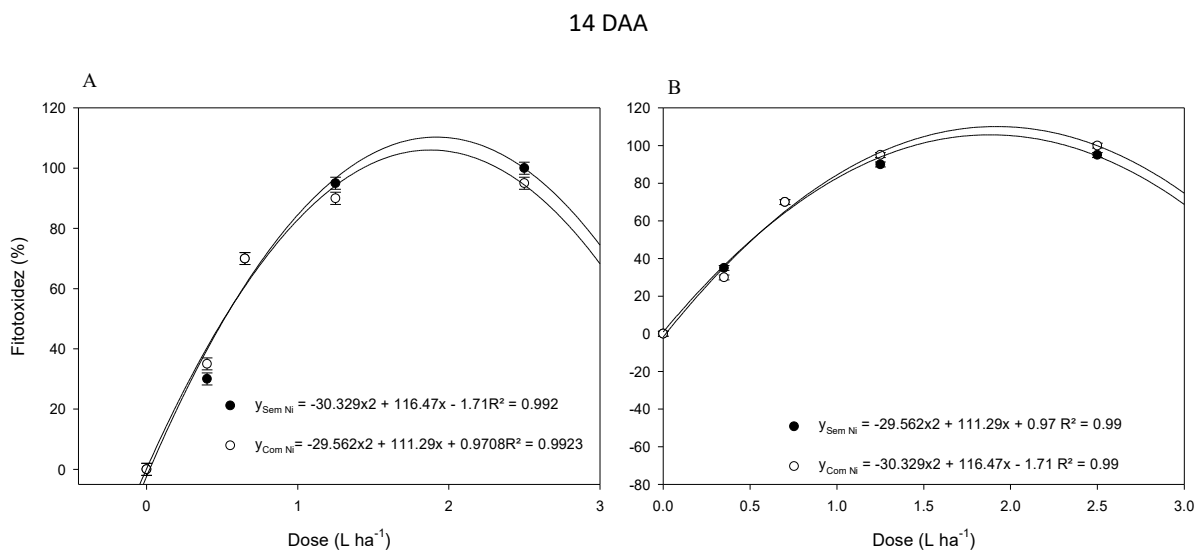


A linha contínua representa o ajuste quadrático dos dados experimentais. O coeficiente de determinação (R^2) indica o ajuste do modelo aos dados observados.

A fitotoxicidade da soja aos 14 DAA variou de forma significativa em função das doses de herbicidas aplicadas nos dois locais experimentais, com interação significativa entre dose e aplicação de níquel (Figura 7A e 7B). No local 1 (Figura 7A), a equação ajustada para a condição sem Ni indicou que a fitotoxicidade atingiu seu valor máximo na dose de 1,92 L ha⁻¹ enquanto para com Ni, o ponto de máxima ocorreu em 1,88 L ha⁻¹. No local 2 (Figura 7B), a equação sem Ni apresentou o pico de fitotoxicidade na dose de 1,9 L ha⁻¹, enquanto a condição com Ni mostrou o máximo em 1,95 L ha⁻¹. Sugerindo um leve efeito atenuante do micronutriente sobre os sintomas fitotóxicos nas maiores doses.

Os resultados indicam que, em ambos os locais, a aplicação de Ni influenciou a resposta da soja à fitotoxicidade dos herbicidas, promovendo uma leve redução dos sintomas fitotóxicos nas doses próximas ao ponto de máxima. As barras de erro evidenciam que as diferenças entre os tratamentos foram estatisticamente significativas, reforçando a importância da interação entre dose de herbicida e aplicação de Ni no manejo da fitotoxicidade da soja.

Figura 9. Fitotoxicidade da soja aos 14 dias após a aplicação (DAA), em função das doses de herbicidas e do uso, ou não, do níquel (Ni), nos Locais 1 (A) e 2 (B)



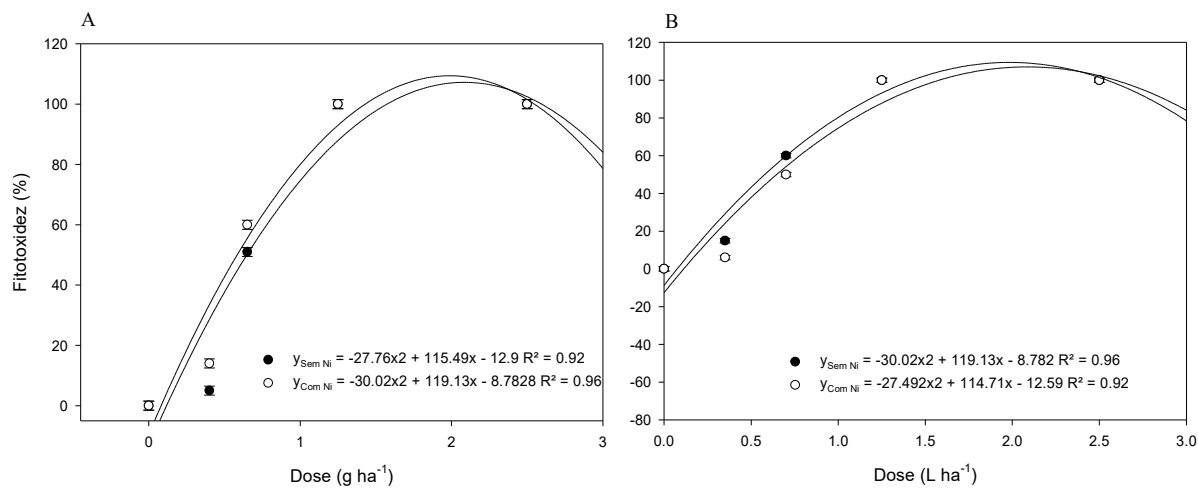
As equações ajustadas demonstram a interação entre as doses de herbicida e a aplicação do Ni. As barras de erro representam o desvio padrão dos tratamentos.

A fitotoxicidade da soja aos 21 DAA variou de forma significativa em função das doses de herbicidas aplicadas nos dois locais experimentais, com interação significativa entre dose e aplicação de níquel (Figura 8A e 8B). No local 1 (Figura 8A), a equação ajustada para a condição sem Ni indicou que a fitotoxicidade atingiu seu valor máximo na dose de 2,08 L ha⁻¹. Para a condição com Ni, o ponto de máxima ocorreu em 1,98 L ha⁻¹, sugerindo um leve efeito atenuante do micronutriente sobre os sintomas fitotóxicos. No local 2 (Figura 8B), a equação sem Ni apresentou o pico de fitotoxicidade na dose de 2,0 L ha⁻¹, enquanto a condição com Ni mostrou o máximo em 2,12 L ha⁻¹.

Os resultados indicam que, em ambos os locais, a aplicação de Ni influenciou a resposta da soja à fitotoxicidade dos herbicidas, promovendo uma leve redução dos sintomas fitotóxicos nas doses próximas ao ponto de máxima. As barras de erro evidenciam que as diferenças entre os tratamentos foram estatisticamente significativas, reforçando a importância da interação entre dose de herbicida e aplicação de Ni no manejo da fitotoxicidade da soja.

Figura 10. Fitotoxicidade da soja aos 21 dias após a aplicação (DAA), em função das doses de herbicidas e do uso, ou não, do níquel (Ni), nos Locais 1 (A) e 2 (B)

21 DAA



As curvas de ajuste quadrático destacam o ponto de máxima fitotoxidade calculado para cada condição. As barras de erro indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos.

7 DISCUSSÃO

A aplicação foliar de Ni reduz os efeitos da fitotoxicidade induzida por glufosinato de amônio em plantas de soja. Os resultados obtidos corroboram essa hipótese, pois o Ni neutralizou, pelo menos até certo ponto, os efeitos negativos causados pela fitotoxicidade do herbicida, especialmente quando aplicado as menores doses do herbicida. Essa atenuação foi evidenciada pelo efeito do Ni na altura das plantas, número de vagens, produtividade e fitotoxicidade, sugerindo um possível efeito mitigador do micronutriente sobre os danos causados pelo herbicida.

O efeito de herbicidas promovido pela deriva pós aplicação pode causar efeitos negativos em cultura sensíveis a este herbicida. Na cultura do trigo, a deriva causada por glifosato resultou em menor biomassa em comparação com plantas controle (Kutman; Kutman; Cakmak, 2013). Isso ocorre porque a fitotoxicidade reduz o crescimento do meristema apical, dos pecíolos e das folhas, afetando negativamente a área foliar disponível para fotossíntese e, conseqüentemente, a altura das plantas (Marques; Cunha; Lemes, 2021). Outro efeito causado por fitotoxicidade de herbicidas pode ser a menor eficiência da fixação de nitrogênio (Burul *et al.*, 2022). A redução na altura das plantas de soja devido ao aumento das doses de herbicida é conhecida (Fraga *et al.*, 2019; Marques; Cunha; Lemes, 2021).

A aplicação de Ni promoveu o aumento da altura das plantas, especialmente nas doses intermediárias de herbicidas, quando comparado às parcelas sem o micronutriente. Isso sugere que o Ni pode ajudar na tolerância a estresses oxidativos causados pelo herbicida. Um dos possíveis mecanismos para isso é o papel do Ni na promoção da fixação biológica de nitrogênio (FBN), uma vez que o Ni compõe a enzima hidrogenase, responsável por reciclar o H_2 gerado no processo do complexo nitrogenase, permitindo a conversão do N_2 atmosférico em NH_3 nos nódulos radiculares (Bagyinka, 2014; Brazzolotto *et al.*, 2016; Shafaat *et al.*, 2013). O NH_3 gerado é convertido em ureídeos (alantoína e ácido alantóico), que são as principais formas de nitrogênio exportadas para a parte aérea da planta (Collier; Tegeder, 2012). Esse processo pode ter contribuído para o crescimento das plantas de soja, reduzindo os impactos negativos do herbicida na altura das plantas. Essa hipótese é reforçada pelo estudo de Bosse *et al.* (2024), que demonstrou que a aplicação de Ni aumentou

a nodulação em plantas de soja, favorecendo a fixação biológica de nitrogênio e resultando em maior crescimento.

Ocorreu diminuição significativa no número de vagens com o aumento das doses de glufosinato de amônio, o que pode ocorrer em virtude da aplicação de herbicidas na cultura da soja já foi relatada na literatura (Solomon; Bradley, 2014). A fitotoxicidade causada pelo herbicida aumenta o aborto de flores, comprometendo o estabelecimento das vagens, além de interferir na diferenciação e fixação das estruturas reprodutivas. Por outro lado, a presença de Ni favoreceu o aumento do número de vagens em condições de baixas doses do herbicida, sugerindo que o micronutriente pode atuar na mitigação do estresse causado pelo glufosinato de amônio. Esse efeito pode estar relacionado ao papel do Ni na ativação da urease e na regulação do metabolismo do nitrogênio, promovendo melhores condições para o desenvolvimento reprodutivo da planta (Barcelos *et al.* 2018), que observaram um aumento no número de vagens em resposta à pulverização foliar de Ni, possivelmente devido à translocação do micronutriente das folhas para os grãos.

O peso de mil grãos (PMG), foi observada com o aumento das doses de herbicidas, independentemente da aplicação de Ni, sugere que essa variável foi mais sensível a fitotoxicidade causada pelo glufosinato de amônio do que ao efeito protetor do Ni. A aplicação dos herbicidas de cloransulam e bentazon causou fitotoxicidade na cultura do feijoeiro, na cultivar IPR Uirapuru, após a aplicação (Marchioretto; Dal Magro, 2018). Uma possível explicação para a redução observada no PMG é que a fitotoxicidade causada pela aplicação de herbicidas tenha afetado o teor de clorofila das plantas, consequentemente a redução de produtos fotossintéticos, como carboidratos, lipídios e aminoácidos, que são diretamente responsáveis pelo processo de enchimento dos grãos. Isso pode ter levado à formação de grãos menores e com menor peso.

A produtividade da soja apresentou comportamentos distintos entre os locais, com interação entre Ni e a dose de herbicida observada apenas no local 2. O efeito atenuante do Ni na produtividade, observado no local 2, pode estar relacionado às condições específicas desse ambiente, como disponibilidade de nutrientes e fatores climáticos, que modulam a resposta da cultura à interação entre herbicida e micronutriente. Aumentos de produtividade na soja devido a aplicação com Ni foram relatados em experimentos realizados por Kutman; Kutman; Cakmak, (2012) e Lavres; Franco; Câmara, (2016). Por outro lado, Alovisi *et al.* (2011) em experimentos

realizados em condições de campo, demonstrou que aplicação de Ni foliar não influenciou a produção de grãos de soja, apesar de um aumento significativo no teor de Ni foliar. Isso sugere que a relação entre o teor de Ni e o rendimento de grãos de soja pode não ser sempre direta e pode ser influenciada por outros fatores ou interações dentro dos processos fisiológicos da planta (Moreira *et al.*, 2024).

A fitotoxicidade da soja variou significativamente em função das doses de herbicidas aplicadas, com um padrão de resposta quadrática observado nos dois locais experimentais. Esse comportamento é consistente com estudo que mostrou que, em doses crescentes, os herbicidas podem inicialmente intensificar os sintomas de fitotoxicidade até atingir um ponto máximo, seguido de estabilização ou até mesmo redução nos sintomas (Lemes *et al.*, 2022). Esse fenômeno pode ser relacionado a mecanismos de defesa, como a indução de resposta antioxidante, ativados pela planta em resposta ao estresse induzido pelas doses elevadas de herbicidas (Gomes *et al.*, 2021).

Nos diferentes tempos de avaliação (14 e 21 DAA), observou-se que a aplicação de Ni influenciou a resposta da soja à fitotoxicidade dos herbicidas, promovendo uma leve redução dos sintomas em doses próximas ao ponto máximo. O efeito atenuante do Ni pode ser atribuído ao seu papel na ativação de enzimas antioxidantes, que auxiliam na mitigação do estresse oxidativo causado pelos herbicidas. Essa hipótese é reforçada pelo fato de que o Ni é cofator de diversas metaloenzimas (Drzewiecka *et al.*, 2012). Várias enzimas requerem Ni para sua função catalítica, incluindo (NiFe)-hidrogenases, superóxido dismutase, monóxido de carbono desidrogenase, metil-CoM redutase, glioxilase I, acireductona desidrogenase e ureases (Li e Zamble 2009). O Ni pode ativar uma isoforma da glioxalase I, enzima que desempenha um papel fundamental na degradação do composto citotóxico metilglioxal, produzido naturalmente pelo metabolismo celular (Fabiano *et al.* 2015). Isso sugere que o Ni pode ter uma função relevante no metabolismo de compostos antioxidantes em plantas, especialmente sob condições de estresse (Fabiano *et al.*, 2015). Além disso, sua aplicação tem sido associada ao aumento da atividade da urease foliar (Ojeda-Barrios *et al.*, 2016), prevenindo o acúmulo de ureia tóxica nos tecidos foliares e minimizando os efeitos adversos da deriva do glifosato (Kutman; Kutman; Cakmak, 2013). Esse efeito protetor reforça a importância do Ni no metabolismo vegetal, especialmente sob condições de estresse causadas por herbicidas.

No entanto, a intensidade do efeito atenuante variou entre os locais, o que pode estar associado a diferenças nas condições ambientais, como precipitação, temperatura, fertilidade do solo, que afetam tanto a absorção de Ni quanto a degradação dos herbicidas. Essa variabilidade também pode indicar que o papel do Ni na atenuação da fitotoxicidade é dependente da interação entre fatores ambientais e fisiológicos da cultura. Os efeitos iniciais e persistentes da fitotoxicidade podem ser influenciados pela ocorrência de precipitação ou pela irrigação durante o período de crescimento das plantas, além da eficácia das práticas de manejo integrado, como o controle de pragas e plantas daninhas (Foster; Griffin, 2018). Esses fatores podem explicar as diferenças observadas nos resultados entre os diferentes locais de experimento.

Diante desses resultados, sugere-se que a aplicação de Ni tem potencial para mitigar os impactos negativos da fitotoxicidade induzida por glufosinato de amônio sobre a cultura da soja. No entanto, a intensidade desse efeito pode ser influenciada por fatores ambientais e pelo manejo da cultura. Estudos futuros são necessários para uma melhor compreensão dos mecanismos fisiológicos envolvidos, bem como para avaliar a resposta da cultura a diferentes doses e momentos de aplicação do Ni. Além disso, faz-se necessário estudos para verificar a consistência desses efeitos em diferentes condições edafoclimáticas e sistemas de produção, possibilitando recomendações mais precisas.

8 CONCLUSÕES

Aplicação foliar de Ni na concentração de 60,0 g ha⁻¹ apresentou potencial para reduzir os efeitos da fitotoxicidade induzida por glufosinato de amônio em plantas de soja, minimizando a perda de produtividade, e os efeitos adversos no crescimento das plantas.

Portanto, a suplementação com Ni pode ser considerada uma estratégia promissora para minimizar os danos causados pela fitotoxicidade do herbicida na cultura da soja, especialmente em condições de maior estresse.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, TANVEER. *et al.* Ways to use allelopathic potential for weed management: a review. **International Journal of Food Science and Agriculture**, v. 5, p. 492-498, 2021.
- AGARWAL, DINESH, K. *et al.* Soybean: Introduction, Improvement, and Utilization in India — Problems and Prospects. **Agricultural Research** 2, p. 293–300, 2013.
- AHMAD, AANIS. *et al.* Performance of deep learning models for classifying and detecting common weeds in corn and soybean production systems. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 184, p. 106081, 2021.
- AHMAD, WAQAR. *et al.* Boron Deficiency in soils and crops: a review. **Crop Plant**, v. 2012, p. 65-97, 2012.
- ALLOWAY, BRIAN J. Micronutrients and crop production: an introduction. *In*: **Micronutrient deficiencies in global crop production**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2008. p. 1-39.
- ALOVISI, ALESSANDRA M. TOKURA. *et al.* Adubação foliar com sulfato de níquel na cultura da soja. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 15, n. 2, p. 25-32, 2011.
- AUCH, D. E; ARNOLD, W. E. Dicamba use and injury on soybeans (*Glycine max*) in South Dakota. **Weed Science Society of America**. v. 26, n. 5, p. 471-475, Sep. 1978.
- ALVARES, CLAYTON ALCARDE. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- BAGHEL, J. K. *et al.* Impacts of conservation agriculture and herbicides on weeds, nematodes, herbicide residue and productivity in direct-seeded rice. **Soil and Tillage Research**, v. 201, p. 104634, 2020.
- BAGYINKA, Csaba. How does the ([NiFe]) hydrogenase enzyme work?. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 39, n. 32, p. 18521-18532, 2014.
- BARCELOS, J. P. Q. *et al.* Impact of foliar nickel application on urease activity, antioxidant metabolism and control of powdery mildew (*Microsphaera diffusa*) in soybean plants. **Plant Pathology**, v. 67, n. 7, p. 1502-1513, 2018.
- BASTIAANS, L. *et al.* Design of weed management systems with a reduced reliance on herbicides poses new challenges and prerequisites for modeling crop–weed interactions. **Field Crops Research**, v. 67, n. 2, p. 161-179, 2000.
- BORDIN, Eduarda Roberta *et al.* Current production of bioherbicides: Mechanisms of action and technical and scientific challenges to improve food and environmental security. **Biocatalysis and Biotransformation**, v. 39, n. 5, p. 346-359, 2021.

BOSSE, Marco Antônio. *et al.* Nickel enhances daidzein biosynthesis in roots increasing nodulation, biological nitrogen fixation and seed yield of soybean plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 220, p. 105685, 2024.

BRAZZOLOTTO, Deborah *et al.* Nickel-centred proton reduction catalysis in a model of [NiFe] hydrogenase. **Nature Chemistry**, v. 8, n. 11, p. 1054-1060, 2016.

BRUNHARO, Caio Augusto De Castro Grossi; CHRISTOFFOLETI, Pedro Jacob; NICOLAI, Marcelo. Aspectos do mecanismo de ação do amônio glufosinato: culturas resistentes e resistência de plantas daninhas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 13, n. 2, p. 163-177, 2014.

BURKHARDT, Juergen. Hygroscopic particles on leaves: nutrients or desiccants?. **Ecological Monographs**, v. 80, n. 3, p. 369-399, 2010.

BURUL, Filipa *et al.* Herbicides effects on symbiotic nitrogen-fixing bacteria. **Journal of Central European Agriculture**, v. 23, n. 1, p. 89-102, 2022.

CAKMAK, I. *et al.* Glyphosate reduced seed and leaf concentrations of calcium, manganese, magnesium, and iron in non-glyphosate resistant soybean. **Europe Journal of Agronomy**, v.31, p.114-119, 2009.

CAMPO, Rubens Jose; ARAUJO, Ricardo Silva; HUNGRIA, Mariangela. Molybdenum-enriched soybean seeds enhance N accumulation, seed yield, and seed protein content in Brazil. **Field Crops Research**, v. 110, n. 3, p. 219-224, 2009.

CAPRIOTTI, Anna Laura *et al.* Protein profile of mature soybean seeds and prepared soybean milk. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 62, n. 40, p. 9893-9899, 2014.

CHAHAL, Gurinderbir S. *et al.* Interactions of agrochemicals applied to peanut; part 1: Effects on herbicides. **Crop Protection**, v. 41, p. 134-142, 2012.

CHEN, Haifei. *et al.* H₂O₂ mediates nitrate-induced iron chlorosis by regulating iron homeostasis in rice. **Plant, cell & environment**, v. 41, n. 4, p. 767-781, 2018.

CHEN, Kuan-I. *et al.* Soyfoods and soybean products: from traditional use to modern applications. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 96, p. 9-22, 2012.

COLLIER, Ray; TEGEDER, Mechthild. Soybean ureide transporters play a critical role in nodule development, function and nitrogen export. **The Plant Journal**, v. 72, n. 3, p. 355-367, 2012.

CONAB. **Brasil deve produzir maior safra histórica de grãos no ciclo 2022/2023, com 317,6 milhões de toneladas.** 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5074-brasil-deve-produzir-maior-safra-historica-de-graos-no-ciclo-2022-2023-com-317-6-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 10 ago de 2023.

CONAB. **Safra Brasileira de Grãos.** 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 12 ago de 2023.

CORTEVA. **A escolha mais simples para sua produtividade evoluir**. 2023. Disponível em: <https://www.corteva.com.br/produtos-e-servicos/tecnologias/sistema-enlist.html>. Acesso em: 15 ago de 2023.

DALL'AGNOL, Amélio. **Veja as tecnologias que mais impactaram a produção de soja no Brasil**. 2019. Disponível em: <https://blogs.canalrural.com.br/embrapasoja/2019/09/24/tecnologias-que-mais-impactaram-a-producao-de-soja-no-brasil/>. Acesso em 10 ago 2023.

DARAMOLA, Olumide S. *et al.* Effects of co-applied agrochemicals on herbicide performance: A review. **Crop Protection**, p. 106396, 2023.

DECHEN, Antonio Roque; NACHTIGALL, Gilmar Ribeiro. Elementos requeridos à nutrição de plantas. **Fertilidade do Solo**, p. ca 3-132, 2007.

DEUBER, Robert. **Ciência das plantas daninhas**: fundamentos. Jaboticabal: FUNEP, 1992. v. 1. 431 p.

DIETZ, Juan Ignacio; SCHIERENBECK, Matías; SIMÓN, María Rosa. Impact of foliar diseases and its interaction with nitrogen fertilization and fungicides mixtures on green leaf area dynamics and yield in oat genotypes with different resistance. **Crop Protection**, v. 121, p. 80-88, 2019.

DRZEWIECKA, Kinga. *et al.* Changes in *Salix viminalis* L. cv. 'Cannabina' morphology and physiology in response to nickel ions—Hydroponic investigations. **Journal of Hazardous Materials**, v. 217, p. 429-438, 2012.

DUKE, Stephen O. Glyphosate: The world's most successful herbicide under intense scientific scrutiny. **Pest Management Science**, v. 74, n. 5, p. 1025-1026, 2018.

EINHARDT, Andersom M. *et al.* Biochemical and physiological responses of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) to nickel toxicity. **Bragantia**, 80, e1721, 2021.

EINHARDT, Andersom M. *et al.* Defense responses and oxidative metabolism of glyphosate-resistant soybean plants infected by *Phakopsora pachyrhizi* modulated by glyphosate and nickel. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 118, p. 101817, 2022.

EMBRAPA. **Intacta 2 Xtend**. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/intacta2>. Acesso em 12 ago 2023.

Embrapa Solos. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2000.

EVANS, Harold J. *et al.* Physiology, biochemistry, and genetics of the uptake hydrogenase in rhizobia. **Annual Reviews in Microbiology**, v. 41, n. 1, p. 335-361, 1987.

FABIANO, Caio C. *et al.* Essentiality of nickel in plants: a role in plant stresses. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 754, 2015.

FARMILO, Brad J.; MOXHAM, Claire. The effectiveness of weed control in a threatened plant community: A grassland case study. **Ecological Engineering**, v. 193, p. 107017, 2023.

FEHR, Walter R.; CAVINESS, Charles E Stages of soybean development. **Special Report**, v. 87, 1977.

FERNÁNDEZ, Victoria; SOTIROPOULOS, Thomas; BROWN, Patrick H. Foliar fertilization: scientific principles and field practices. **International Fertilizer Industry Association**, 2013.

FIRMANO, Ruan Francisco *et al.* Potassium rates on the cationic balance of an Oxisol and soybean nutritional status after 8 years of K deprivation. **Experimental Agriculture**, v. 56, n. 2, p. 293-311, 2020.

FOSTER, Matthew R.; GRIFFIN, James L. Injury criteria associated with soybean exposure to dicamba. **Weed Technology**, v. 32, n. 5, p. 608-617, 2018.

FRAGA, Diego Severo. *et al.* Morphological and metabolic changes in soybean plants cultivated in irrigated rice rotation and as affected by imazapyr and imazapic herbicides carryover. **Planta Daninha**, v. 37, p. e019165375, 2019.

GAZZONI, Decio Luiz. A soja no Brasil é movida por inovações tecnológicas. **Ciência e Cultura**, v. 70, n. 3, p. 16-18, 2018.

GLEASON, Cynthia; FOLEY, Rhonda C.; SINGH, Karam B. Mutant analysis in *Arabidopsis* provides insight into the molecular mode of action of the auxinic herbicide dicamba. **PloS One**, v. 6, n. 3, p. e17245, 2011.

GOMES, Diego G. *et al.* Regression models to stratify the copper toxicity responses and tolerance mechanisms of *Glycine max* (L.) Merr. plants. **Planta**, v. 253, p. 1-14, 2021.

GUO, Juan. *et al.* A single origin and moderate bottleneck during domestication of soybean (*Glycine max*): implications from microsatellites and nucleotide sequences. **Annals of Botany**, v. 106, n. 3, p. 505–514, 2010.

HARKER, K. Neil; O'DONOVAN, John T. Recent weed control, weed management, and integrated weed management. **Weed Technology**, v. 27, n. 1, p. 1-11, 2013.

HASANUZZAMAN, Mirza *et al.* Potassium: A vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. **Agronomy**, v. 8, n. 3, p. 31, 2018.

HEMANTARANJAN, A.; GARG, O. K. Introduction of nitrogen-fixing nodules through iron and zinc fertilization in the nonnodule-forming French bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Plant Nutrition**, pp. 281-288. 2015.

HUNGRIA, Mariangela. *et al.* Seed pre-inoculation with *Bradyrhizobium* as time-optimizing option for large-scale soybean cropping systems. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 6, p. 5222-5236, 2020.

KAPSI, Margarita. *et al.* Environmental monitoring and risk assessment of pesticide residues in surface waters of the Louros River (NW Greece). **Science of the total Environment**, v. 650, p. 2188-2198, 2019.

KLUCAS, Robert V. *et al.* Níquel: elemento micronutriente para crescimento dependente de hidrogênio de *Rhizobium japonicum* e para expressão da atividade de urease em folhas de soja. **Anais da Academia Nacional de Ciências**, v. 80, n. 8, pág. 2253-2257, 1983.

KUMAR, Sachin. *et al.* Weed phyto-sociology and diversity in relation to conservation agriculture and weed management strategies under Northwestern Indian Himalayas. **Journal of King Saud University-Science**, p. 102728, 2023.

KUNZ, Christoph. *et al.* Camera steered mechanical weed control in sugar beet, maize and soybean. **Precision Agriculture**, v. 19, p. 708-720, 2018.

KUTMAN, Bahar Yildiz; KUTMAN, Umit Baris; CAKMAK, Ismail. Foliar nickel application alleviates detrimental effects of glyphosate drift on yield and seed quality of wheat. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 35, p. 8364-8372, 2013.

KUTMAN, Bahar Yildiz; KUTMAN, Umit Baris; CAKMAK, Ismail. Nickel-enriched seed and externally supplied nickel improve growth and alleviate foliar urea damage in soybean. **Plant and Soil**, v. 363, p. 61-75, 2012.

KWON, Eun-Bin. *et al.* Antiviral activity of soybean GL 2626/96 (*Glycine max*) ethanolic extract against influenza A virus in vitro and in vivo. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 156, p. 113780, 2022.

LAVRES, José; FRANCO, Guilherme Castro; CÂMARA, Gil M. de Souza. Soybean seed treatment with nickel improves biological nitrogen fixation and urease activity. **Frontiers in Environmental Science**, v. 4, p. 37, 2016.

LEMES, Ernane Miranda *et al.* Triangular greenness index to evaluate the effects of dicamba in soybean. **AgriEngineering**, v. 4, n. 3, p. 758-769, 2022.

LI, Yanjie; ZAMBLE, Deborah B. Nickel homeostasis and nickel regulation: an overview. **Chemical Reviews**, v. 109, n. 10, p. 4617-4643, 2009.

MARCHIORETTO, Lucas De Ross; DAL MAGRO, Taísa. Efeito protetor do bentazon sobre a fitotoxicidade de herbicidas inibidores de ALS em duas cultivares de feijoeiro. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 1, p. 77-82, 2018.

MARTINS, Mônica C. *et al.* Escala diagramática para a quantificação do complexo de doenças foliares de final de ciclo em soja. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, p. 179-184, 2004.

MARQUES, Matheus Gregorio; CUNHA, João Paulo Arantes Rodrigues da; LEMES, Ernane Miranda. Dicamba injury on soybean assessed visually and with spectral vegetation index. **AgriEngineering**, v. 3, n. 2, p. 240-250, 2021.

MEERT, L. *et al.* Different inoculating, forms of inoculation and their effects on the agronomic characteristics of soy culture. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, 2020.

MILOSEVIC, Luka *et al.* Soybean Tolerance to ultra-low doses of dicamba: Hormesis or not. **Crop Protection**, p. 106356, 2023.

MIYAZAWA, Mario *et al.* Análise química de tecido vegetal. In: Silva FC, editor. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**; 2009. p. 193-233

MORAES, Leila Maria de Freitas. **Translocação de Co e Mo aplicados em diferentes épocas na cultura da soja**. 2006. 43 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, MG, 2006.

MOREAU, Delphine *et al.* Integrating plant-plant competition for nitrogen into a 3D individual-based model simulating the effects of cropping systems on weed dynamics. **Field Crops Research**, v. 268, p. 108166, 2021.

MOREIRA, Adônis *et al.* Molybdenum and nickel foliar application on soybean yield and oil and protein contents. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 59, p. e03728, 2024.

NADEEM, Faisal; FAROOQ, Muhammad. Application of micronutrients in rice-wheat cropping system of South Asia. **Rice Science**, v. 26, n. 6, p. 356-371, 2019.

NEPOMUCENO, Mariluce. *et al.* Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da soja nos sistemas de semeadura direta e convencional. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 43-50, 2007.

NICOULAUD, Bernard AL; BLOOM, Arnold J. Absorption and assimilation of foliarly applied urea in tomato. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 121, n. 6, p. 1117-1121, 1996.

OERKE, E.-C. Crop losses to pests. **The Journal of Agricultural Science**, v. 144, n. 1, p. 31-43, 2006.

OJEDA-BARRIOS, D. L. *et al.* The impact of foliar nickel fertilization on urease activity in pecan trees. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 16, n. 1, p. 237-247, 2016.

OKUNLOLA, Gideon Olarewaju *et al.* Foliar application of hydrogen peroxide (H₂O₂) modulates growth, inorganic ion and osmolyte accumulation of soybean (Glycine max) cultivars under drought stress. **South African Journal of Botany**, v. 151, p. 425-432, 2022.

OLIVEIRA JÚNIOR, Adilson de; PROCHNOW, Luís Ignácio; KLEPKER, Dirceu. Produtividade da soja em resposta à aplicação de rocha fosfática associada ao superfosfato triplo. **Scientia Agrícola**, v. 68, p. 376-385, 2011.

OLIVEIRA, M. F. *et al.* **Controle de plantas daninhas: métodos físico, mecânico, cultural, biológico e alelopatia**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

OSIPITAN, O. Adewale; SCOTT, Jon E.; KNEZEVIC, Stevan Z. Glyphosate-resistant soybean response to micro-rates of three dicamba-based herbicides. **Agrosystems, Geosciences & Environment**, v. 2, n. 1, p. 1-8, 2019.

PANDEY, Girdhar K.; MAHIWAL, Swati. **Role of potassium in plants**. Cham: Springer, 2020.

PASQUA, Dylan Della. **USDA estima safra e estoques de soja 2023/24 dos EUA acima do esperado**. 2023. Disponível em: <https://safras.com.br/usda-estima-safra-e-estoques-de-soja-2023-24-dos-eua-acima-do-esperado/> . Acesso em: 10 ago de 2023.

PRICE, Andrew J. *et al.* Influence of a cereal rye cover crop and conservation tillage on the critical period for weed control in cotton. **Weed Technology**, v. 32, n. 6, p. 683-690, 2018.

PITELLI, Robinson Antonio; DURIGAN, Julio Cezar. Terminologia para períodos de controle e de convivência das plantas daninhas em culturas anuais e bianuais. *In*: Congresso Brasileiro de Herbicidas e Plantas Daninhas, 15. **Anais [...]**. Belo Horizonte, 1984.

RAJA, Rekha. *et al.* Real-time robotic weed knife control system for tomato and lettuce based on geometric appearance of plant labels. **Biosystems Engineering**, v. 194, p. 152-164, 2020.

RUIZ-NAVARRO, Antonio *et al.* Foliar fertilization of two dominant species in a semiarid ecosystem improves their ecophysiological status and the use efficiency of a water pulse. **Environmental and Experimental Botany**, v. 167, p. 103854, 2019.

SADAK, Mervat Sh *et al.* Physiological and biochemical responses of soybean (*Glycine max* L.) to cysteine application under sea salt stress. **Bulletin of the National Research Centre**, v. 44, p. 1-10, 2020.

SANTOS, Hurberto. G. *et al.* Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. **Embrapa Solos**. Brasília – DF, v. 5, p. 356, 2018.

SANTOS, J.B. *et al.* Avaliação de formulações de glifosato sobre soja Roundup Ready. **Planta Daninha**, v.25, n.1, p.165-171, 2007.

SATTARI, Sheida Z. *et al.* Crop yield response to soil fertility and N, P, K inputs in different environments: testing and improving the QUEFTS model. **Field Crops Research**, v. 157, p. 35-46, 2014.

SEIXAS, Claudine Dinali Santos *et al.* **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 347 p. 2020.

SERRA, Ademar Pereira. *et al.* Influência do glifosato na eficiência nutricional do nitrogênio, manganês, ferro, cobre e zinco em soja resistente ao glifosato. **Ciência Rural**, v. 41, p. 77-84, 2011.

SFREDO, Gedi Jorge. **Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral**. Londrina: Embrapa Soja. n. 305, 2008, 148 p.

SHAFAT, Hannah S. *et al.* [NiFe] hydrogenases: a common active site for hydrogen metabolism under diverse conditions. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics**, v. 1827, n. 8-9, p. 986-1002, 2013.

SIEBEN, Airton; MACHADO, Carlos Augusto. Histórico e contextualização sócio-econômica e ambiental da soja (*Glycine max*) no Brasil. **Geoambiente On-line**, n. 7, p. 01-18 pág., 2006.

SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R.; SANTOS, J. B. Métodos de controle de plantas daninhas. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Universidade Federal de Viçosa, 2007. 367 p.

SINGH, Ajay. *et al.* Zinc oxide nanoparticles: a review of their biological synthesis, antimicrobial activity, uptake, translocation and biotransformation in plants. **Journal of Materials Science**, v. 53, n. 1, p. 185-201, 2018.

SOLOMON, Craig B.; BRADLEY, Kevin W. Influence of application timings and sublethal rates of synthetic auxin herbicides on soybean. **Weed Technology**, v. 28, n. 3, p. 454-464, 2014.

SOLTANI, Nader. *et al.* Potential corn yield losses from weeds in North America. **Weed Technology**, v. 30, n. 4, p. 979-984, 2016.

SU, Wen-Hao. Crop plant signaling for real-time plant identification in smart farm: A systematic review and new concept in artificial intelligence for automated weed control. **Artificial Intelligence in Agriculture**, v. 4, p. 262-271, 2020.

ŠVUBOVÁ, Renáta. *et al.* Evaluation of the impact of cold atmospheric pressure plasma on soybean seed germination. **Plants**, v. 10, n. 1, p. 177, 2021.

TAKANO, Hudson, K., DAYAN, Franck, E. Glufosinate-ammonium: a review of the current state of knowledge. **Pest Management Science**, v. 76, n. 12, p. 3911-3925, 2020.

TANTASAWAT, P. *et al.* SSR Analysis of Soybean (*'Glycine max'* (L.) Merr.) Genetic Relationship and Variety Identification in Thailand. **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, n. 3, p. 283-290, 2011.

TARIQ, Muhammad. *et al.* Relationship of tissue potassium content with yield and fiber quality components of Bt cotton as influenced by potassium application methods. **Field Crops Research**, v. 229, p. 37-43, 2018.

TEJADA, Manuel. *et al.* Use of biofertilizers obtained from sewage sludges on maize yield. **European journal of agronomy**, v. 78, p. 13-19, 2016.

THUMMAJITSAKUL, Sirikul. *et al.* FTIR and multivariate analysis of total phenolic content, antioxidant and anti-amylase activities of extracts and milk of *Glycine max* L. and *Phaseolus vulgaris* L. **Electronic Journal of Biotechnology**, v. 64, p. 69-75, 2023.

TSAL, Huei-Hsuan; SCHMIDT, Wolfgang. One way. Or another? Iron uptake in plants. **New Phytologist**, v. 214, n. 2, p. 500-505, 2017.

URETA, Ana C. *et al.* *Rhizobium leguminosarum* biovar viciae symbiotic hydrogenase activity and processing are limited by the level of nickel in agricultural soils. **Applied and Environmental Microbiology**, v.71, p.7603-7606, 2005.

VAN ITTERSUM, Martin K. *et al.* Yield gap analysis with local to global relevance—a review. **Field Crops Research**, v. 143, p. 4-17, 2013.

VARGAS, Leandro; ROMAN, Erivelton Scherer. **Manejo e controle de plantas daninhas na cultura de soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 23 p.

VIRÁG, Eszter *et al.* Transcriptome profiling dataset of different developmental stage flowers of soybean (*Glycine max*). **Data in Brief**, v. 43, p. 108426, 2022.

WAKEEL, Abdul *et al.* Potash Research in Pakistan. **Potash Use and Dynamics in Agriculture**, p. 67-86, 2022.

WANG, Kuan. *et al.* Residue and dietary risk assessment of glyphosate, glufosinate-ammonium, and their metabolites in maize and soybean. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 120, p. 105298, 2023.

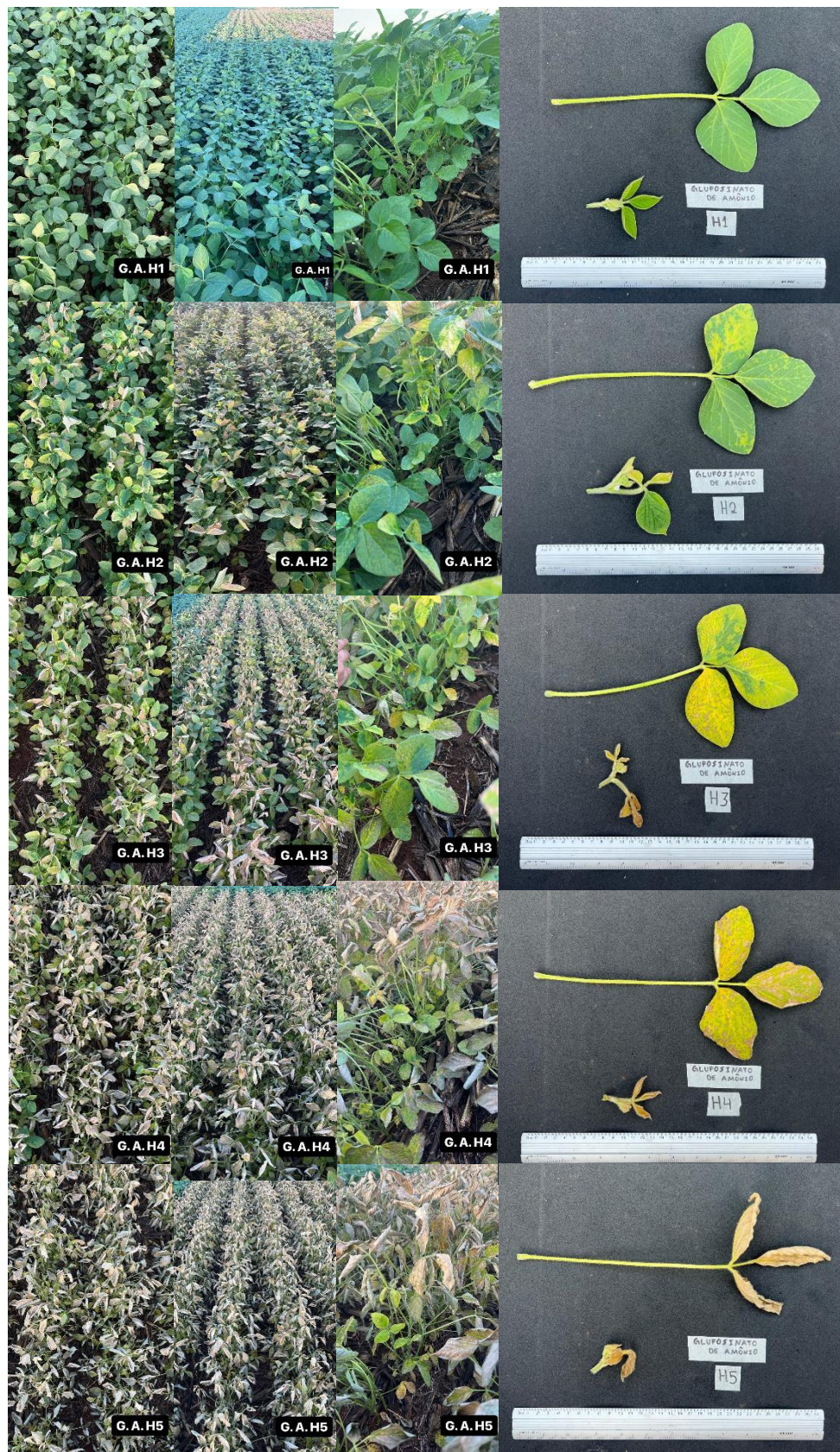
WILCOVE, David S. *et al.* Quantifying threats to imperiled species in the United States. **BioScience**, v. 48, n. 8, p. 607-615, 1998.

XU, Ruixin. *et al.* Use of near-infrared spectroscopy for the rapid evaluation of soybean [*Glycine max* (L.) Merri.] water soluble protein content. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 224, p. 117400, 2020.

ZOBIOLE, Luiz. *et al.* Effect of glyphosate on symbiotic N₂ fixation and nickel concentration in glyphosate-resistant soybeans. **Applied Soil Ecology**, v. 44, n. 2, p. 176-180, 2010.

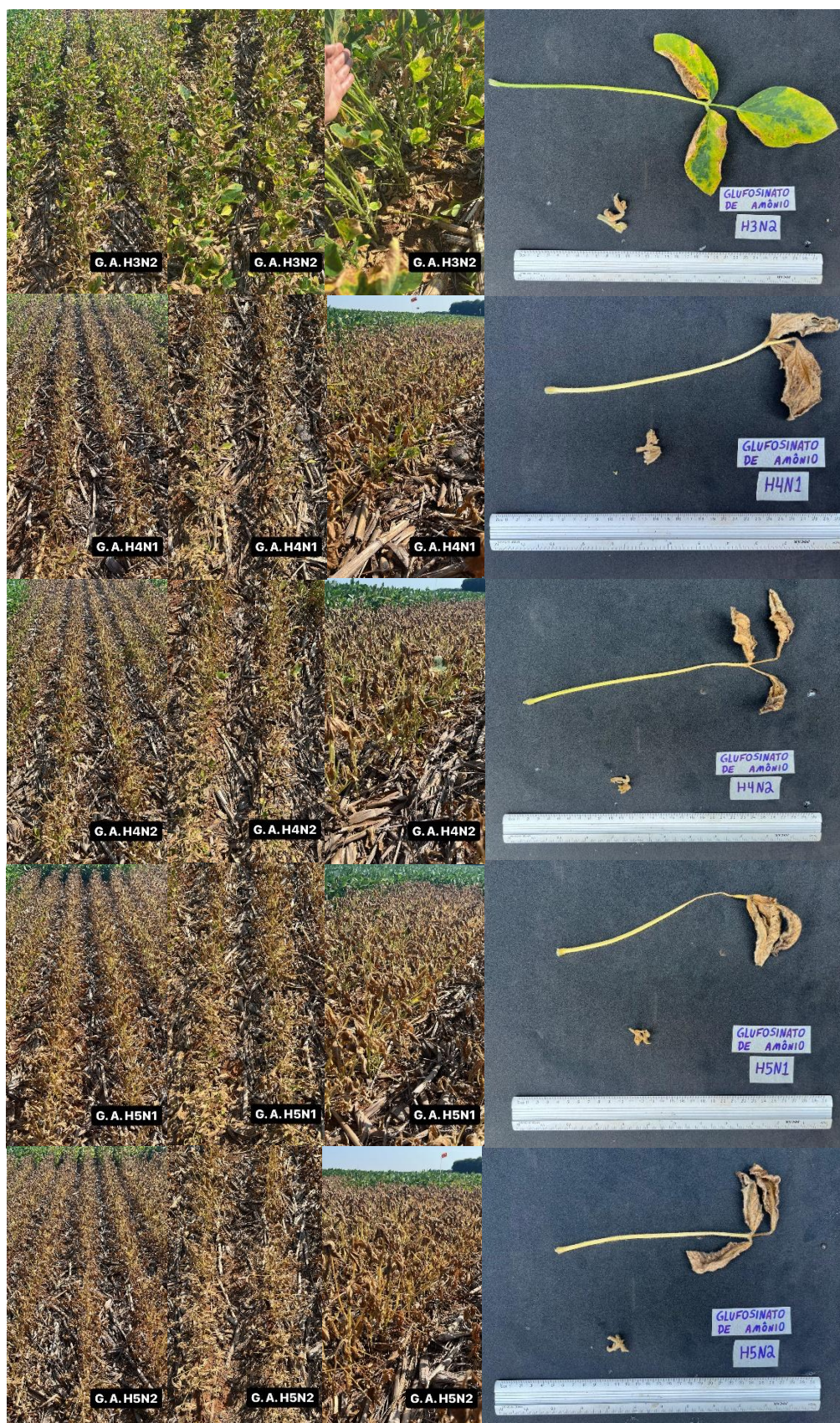
ANEXO

AVALIAÇÃO 05/11/2023 (7 DAA)



Avaliação 02/12/2023 (14 DAA)





Avaliação 09/12/2023 (21 DAA)

