

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS  
CAMPUS DE DRACENA**

**Ana Carolina da Costa Pereira**  
Engenharia Agrônoma

**DESENVOLVIMENTO DE LEGUMINOSAS EM SOLO COM O  
HERBICIDA INDAZIFLAM**

Dracena  
2026

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS**  
**CAMPUS DE DRACENA**

**Ana Carolina da Costa Pereira**

Engenharia Agrônômica

**DESENVOLVIMENTO DE LEGUMINOSAS EM SOLO COM O**  
**HERBICIDA INDAZIFLAM**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade de Ciências  
Agrárias e Tecnológicas – Unesp, Câmpus de  
Dracena como parte das exigências para  
conclusão de curso em Engenharia  
Agrônômica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Renato Matos Lopes  
Co-orientador: Me. Paulo Henrique Frata Ferreira

Dracena  
2026



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Câmpus de Dracena



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JULIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS  
UNESP – CÂMPUS DE DRACENA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: Desenvolvimento de leguminosas em solo com o herbicida indaziflam

Modalidade: Trabalho de **Atividades de pesquisa**

Autor: Ana Carolina da Costa Pereira

Orientador: Paulo Renato Matos Lopes

Co-orientador: Paulo Henrique Frata Ferreira

Número de Créditos: 12

Data da aprovação e correção de acordo com as sugestões da Banca: 11/06/2026

Paulo Renato Matos  
Lopes

Evandro Pereira Prado

Thalia Silva Valério

## **DADOS CURRICULARES DA AUTORA**

Ana Carolina da Costa Pereira nascida em 16 de junho de 2003 na cidade de Campinas/SP. Ingressou em 2022 na Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FCAT/Unesp) – Câmpus de Dracena, no curso de graduação em Engenharia Agrônômica. Iniciou a participação no Grupo de Ação em Impactos Ambientais (GAIA) em 2023. Realizou ICSB (Iniciação Científica Sem Bolsa) de 2023-2024 com trabalho intitulado “Desenvolvimento de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) em solo com pesticidas associados a vinhaça ou biofertilizante”. Posteriormente, em 2024, foi bolsista PIBIC CNPq avaliando a capacidade fitorremediadora de diferentes variedades de sorgo em solo com tebuthiuron; e, em 2025, teve outra bolsa aprovada (PIBIC CNPq) a partir do projeto de pesquisa “Desempenho agrônômico de leguminosas em solo com o herbicida indaziflam”. Realizou um estágio não obrigatório no Instituto Biológico de Campinas, onde auxiliou e participou de diversas atividades laboratoriais. Além disso, durante o período de graduação participou do GERUD (Grupo de Extensão Rural da Unesp de Dracena).

## DEDICATÓRIA

Dedico ao meu pai José Antônio Pereira e à minha mãe Meiry Soares da Costa Pereira, por serem a minha base e sempre apoiarem meus sonhos, sendo minha inspiração de força, coragem e resiliência, e à minha irmã, Maria Luísa da Costa Pereira, por sempre estar ao meu lado em cada passo, me apoiando, me fortalecendo e me ajudando a levantar sempre que preciso.

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e suporte financeiro do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC).

Agradeço a Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT/Unesp-Brasil) pelo suporte e apoio institucional, pelo conhecimento profissional altamente qualificado que me proporcionou ao longo desses cinco anos, contribuindo para o meu crescimento pessoal e profissional. Também agradeço os técnicos de laboratório e de campo pela ajuda durante a execução do experimento, tornando possível o seu desenvolvimento.

Sou imensamente grata ao Prof. Dr. Paulo Renato Matos Lopes pela paciência e compreensão ao me ensinar, mostrando os caminhos e desmistificando as dificuldades que enfrentei ao longo desta trajetória, me sinto privilegiada por ter sido sua orientanda.

Sou grata ao Paulo Henrique Frata Ferreira pelo apoio fundamental na compreensão dos elementos deste trabalho, contribuindo de forma significativa nas análises e revisões realizadas. Seu comprometimento, dedicação e disponibilidade foram indispensáveis para a concretização deste trabalho.

Agradeço ao Grupo de Ação em Impactos Ambientais (GAIA) por todo o apoio e auxílio que fizeram com que esse trabalho fosse possível.

Agradeço ao Grupo Núcleo de Estudo Tecnologia de Aplicação (NETA) da Unesp – Dracena, coordenado pelo Prof. Evandro Pereira Prado, por permitir que usássemos seu laboratório para o preparo e aplicação do herbicida em nosso projeto e ao Grupo de Estudo de Irrigação e Agrometeorologia (GEIA), coordenado pelo Prof. Ronaldo Cintra Lima, por fornecer os dados da Estação Climatológica de Dracena.

Sou profundamente grata aos meus pais, José Antônio Pereira e Meiry Soares da Costa Pereira, por todo o investimento na minha educação e pelo apoio incondicional em todos os momentos, sempre presentes de todas as formas possíveis. Vocês são pais extraordinários, que contribuíram de maneira essencial para a formação de quem sou hoje. São a minha base, meu exemplo e minha maior fonte de força.

Estendo também meu carinho e agradecimento à minha irmã, Maria Luísa da Costa Pereira, que, como sempre digo, nasceu para ser minha melhor amiga.

Sempre estive ao meu lado em todos os momentos, oferecendo apoio, torcendo por mim e me ajudando a me reerguer diante das dificuldades.

Sou grata a todos os meus amigos, que estiveram ao meu lado ao longo dessa trajetória, oferecendo apoio, compartilhando momentos e tornando a caminhada acadêmica mais leve. Em especial, agradeço aos meus amigos Gabriel Lunardelli, Amanda dos Santos e Vitória Gobbi, por estarem presentes tanto nos momentos felizes quanto nos desafiadores, sempre me incentivando a seguir em frente e me ajudando a me reerguer quando necessário.

Por fim, agradeço as meninas da República Pé Preto, por sempre me acolherem e estarem presentes ao longo da minha trajetória.

“Tudo tem seu tempo determinado, e há tempo para todo  
o propósito debaixo do céu”  
(Eclesiastes 3:1)



## RESUMO

O estudo visou avaliar o desenvolvimento e a tolerância do amendoim, feijão-de-porco, crotalária, e mucuna-cinza na presença do herbicida indaziflam, a escolha destas quatro espécies foi devido à sua utilização na rotação da cultura canavieira, valor econômico e potencial fitorremediador. O experimento foi conduzido em uma estufa agrícola na Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Universidade Estadual Paulista – FCAT/UNESP, utilizando um Latossolo vermelho-amarelo distrófico. O indaziflam foi aplicado em ambiente controlado a partir do produto comercial Alion® (500 g i.a. L<sup>-1</sup>, Bayer S.A), conforme a sua bula. O desenvolvimento vegetal foi avaliado aos 21, 28, 35, 42 E 49 DAS, mensurando: o diâmetro do coleto, o comprimento da raiz e da parte aérea, e as biomassas fresca e seca das partes aéreas e radicular, e nodulação radicular, sendo realizadas análises de variância considerando a presença ou não de indaziflam. Observou-se que o residual de indaziflam afetou de forma distinta as espécies avaliadas. A crotalária apresentou elevada sensibilidade ao herbicida, na presença do indaziflam (IDZ+) reduziu drasticamente o desenvolvimento da cultura em todos os períodos avaliados, 21 a 49 DAS. Amendoim o apresentou altura média de 13,62 cm e biomassa seca radicular de 0,60 g aos 49 DAS, enquanto as plantas do solo controle alcançaram 20,79 cm e biomassa seca radicular de 1,62 g no mesmo período, enquanto a mucuna-cinza apresentou na presença do herbicida altura de 15,83 cm e biomassa seca da parte aérea de 1,02 g e na ausência do herbicida apresentou um altura de 73,25 cm e biomassa seca da parte aérea de 3,08 g, apresentando tolerância limitada, com redução no crescimento e ausência de nodulação em ambas as culturas aos 49 DAS. Em contrapartida, o feijão-de-porco destacou-se pela maior tolerância, apresentando melhor desenvolvimento vegetativo, com altura de 36,33 cm, comprimento radicular de 40,67 cm, aproximando-se estatisticamente dos 41,25 cm observado no solo controle e manutenção da atividade simbiótica aos 49 DAS. Portanto, a presença deste herbicida no solo é um fator fundamental para a escolha da espécie vegetal a ser utilizada na reforma de canaviais pela rotação da cultura, vislumbrando um manejo agrícola eficiente e mais sustentável.

**Palavras-chave:** Contaminantes terrestres. Fitotoxicidade. Pesticidas persistentes. Sustentabilidade agrícola.

## ABSTRACT

This study aimed to evaluate the development and tolerance of peanut, jack bean, sunn hemp, and velvet bean in the presence of the herbicide indaziflam. These four species were selected due to their use in sugarcane crop rotation, economic value, and phytoremediation potential. The experiment was conducted in a greenhouse at the School of Agricultural and Technological Sciences, São Paulo State University – FCAT/UNESP, utilizing a dystrophic Red-Yellow Latosol (Oxisol). Indaziflam was applied under controlled environment conditions using the commercial product Alion® (500 g a.i. L<sup>-1</sup>, Bayer S.A.), according to the manufacturer's label. Plant development was evaluated at 21, 28, 35, 42, and 49 days after sowing (DAS), measuring stem diameter, root length, shoot and root fresh and dry biomass, and root nodulation. Analysis of variance was performed considering the presence or absence of indaziflam. It was observed that the indaziflam residual affected the evaluated species differently. Sunn hemp showed high sensitivity to the herbicide; the presence of indaziflam (IDZ+) drastically reduced crop development across all evaluated periods, from 21 to 49 DAS. At 49 DAS, peanut in treated soil showed an average height of 13.62 cm and a root dry biomass of 0.60 g, whereas plants in the control soil reached 20.79 cm and a root dry biomass of 1.62 g. In the same period, velvet bean in the presence of the herbicide presented a height of 15.83 cm and a shoot dry biomass of 1.02 g, contrasting with a height of 73.25 cm and a shoot dry biomass of 3.08 g in the absence of the herbicide, indicating limited tolerance, growth reduction, and absence of nodulation for both crops at 49 DAS. In contrast, jack bean stood out for its higher tolerance, displaying better vegetative development, with a height of 36.33 cm and a root length of 40.67 cm, which statistically approximated the 41.25 cm observed in the control soil, while maintaining symbiotic activity at 49 DAS. Therefore, the presence of this herbicide in the soil is a fundamental factor in selecting the plant species to be used in sugarcane field renovation through crop rotation, aiming for efficient and more sustainable agricultural management.

**Keywords:** agricultural sustainability, persistent pesticides, phytotoxicity, terrestrial contaminants.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1:</b> Esquema representativo do delineamento experimental.....                                                                                                             | 22 |
| <b>Figura 2:</b> Unidade experimental em DIC na estufa agrícola.....                                                                                                                  | 23 |
| <b>Figura 3:</b> Pulverização do herbicida indaziflam por meio de aplicação laboratorial automatizada.....                                                                            | 24 |
| <b>Figura 4:</b> Disposição das sementes de amendoim, feijão-de-porco, mucuna-cinza e crotalária nos vasos .....                                                                      | 24 |
| <b>Figura 5:</b> Germinação das sementes de feijão-de-porco aos 14 DAS.....                                                                                                           | 25 |
| <b>Figura 6:</b> Parâmetros biométricos (A) e pesagem da biomassa (B) das plantas de feijão-de-porco aos 21 DAS .....                                                                 | 26 |
| <b>Figura 7:</b> Material vegetal embalado em sacos de papel para serem colocados na estufa de circulação forçada de ar .....                                                         | 26 |
| <b>Figura 8:</b> Esquema representativo da avaliação periódica do desenvolvimento vegetal realizada no experimento.....                                                               | 28 |
| <b>Figura 9:</b> Desenvolvimento da crotalária aos 35 DAS em solo ausente de indaziflam.....                                                                                          | 29 |
| <b>Figura 10:</b> Comparação do desenvolvimento da mucuna-cinza no desbaste aos 21 DAS em solo na ausência do indaziflam (à esquerda) e na presença do herbicida (à direita) .....    | 31 |
| <b>Figura 11:</b> Sintomas de necrose no sistema radicular da mucuna-cinza exposta ao indaziflam no solo aos 35 DAS.....                                                              | 33 |
| <b>Figura 12:</b> Comparação do desenvolvimento do amendoim no desbaste aos 21 DAS em solo na ausência do indaziflam (à esquerda) e na presença do herbicida (à direita) .....        | 34 |
| <b>Figura 13:</b> Comparação do desenvolvimento do feijão-de-porco no desbaste aos 21 DAS em solo na ausência do indaziflam (à esquerda) e na presença do herbicida (à direita) ..... | 38 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1:</b> Composição química do solo.....                                                                                              | 20 |
| <b>Tabela 2:</b> Desenvolvimento da crotalaria em função da ausência ou presença de indaziflam nos diferentes períodos de avaliação.....      | 30 |
| <b>Tabela 3:</b> Desenvolvimento da mucuna-cinza em função da ausência ou presença de indaziflam nos diferentes períodos de avaliação.....    | 32 |
| <b>Tabela 4:</b> Desenvolvimento do amendoim em função da ausência ou presença de indaziflam nos diferentes períodos de avaliação.....        | 35 |
| <b>Tabela 5:</b> Desenvolvimento do feijão-de-porco em função da ausência ou presença de indaziflam nos diferentes períodos de avaliação..... | 37 |
| <b>Tabela 6:</b> Desenvolvimento das leguminosas avaliadas aos 35 DAS na presença de indaziflam no solo.....                                  | 39 |

## SUMÁRIO

|          |                                                |           |
|----------|------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                        | <b>13</b> |
| <b>2</b> | <b>OBJETIVOS.....</b>                          | <b>15</b> |
| 2.1      | Objetivo geral .....                           | 15        |
| 2.2      | Objetivos específicos .....                    | 15        |
| <b>3</b> | <b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>              | <b>16</b> |
| 3.1      | Controle químico de plantas daninhas .....     | 16        |
| 3.2      | Impacto do indaziflam no solo .....            | 17        |
| 3.3      | Plantas leguminosas na fitorremediação.....    | 18        |
| <b>4</b> | <b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                | <b>20</b> |
| 4.1      | Solo.....                                      | 20        |
| 4.2      | Herbicida indaziflam e espécies vegetais ..... | 21        |
| 4.3      | Delineamento experimental.....                 | 21        |
| 4.4      | Preparo das unidades experimentais .....       | 23        |
| 4.5      | Nodulação radicular .....                      | 26        |
| 4.6      | Análise de dados.....                          | 27        |
| <b>5</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>            | <b>29</b> |
| 5.1      | Crotalária .....                               | 29        |
| 5.2      | Mucuna-cinza .....                             | 31        |
| 5.3      | Amendoim.....                                  | 34        |
| 5.4      | Feijão-de-porco.....                           | 36        |
| 5.5      | Comparação entre as espécies vegetais.....     | 38        |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSÃO .....</b>                         | <b>41</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                        | <b>42</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

A cultura de cana-de-açúcar desempenha um papel altamente estratégico para o agronegócio brasileiro, com estimativas da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2025) apontando para uma produção de 663,4 milhões de toneladas na safra 2025/26. No entanto, para que esse potencial produtivo seja alcançado o manejo fitossanitário se torna indispensável, uma vez que a presença de plantas daninhas pode ocasionar perdas significativas quando não controladas adequadamente. Embora a cultura utilize de maneira eficiente os recursos disponíveis para o seu desenvolvimento, por apresentar fisiologia C4, ela sofre interferência nas fases iniciais de crescimento devido a competição com outros vegetais nas lavouras. Além disso, algumas plantas daninhas também apresentam fisiologia C4 e gerar uma competição ainda maior com a cultura de interesse (Vasconcelo *et al.*, 2012). Nesse contexto, uma das estratégias amplamente utilizadas para o manejo de plantas daninhas é o controle químico.

Assim, tem-se o indaziflam, (*N*-[*(1R,2S)*-2,3-dihidro-2,6-dimetil-1*H*-inden-1-yl]-6-[(*1R*)-1-fluoroetil]-1,3,5-triazina-2,4-diamine) um herbicida registrado no Brasil em 2016 e utilizado em pré-emergência inicial com ação inibidora da biossíntese de celulose (Brabham *et al.*, 2014; Brosnan *et al.*, 2011).

Devido apresentar um longo período residual, ele favorece o controle de plantas daninhas em culturas que apresentam uma taxa de desenvolvimento inicial lenta, como a cana-de-açúcar, reduzindo o número de aplicações ao longo do ciclo produtivo. No entanto, sua baixa solubilidade e elevada persistência pode ocasionar impactos negativos a organismos não-alvos nos agroecossistemas (Kaapro *et al.*, 2012; Alonso *et al.*, 2015; Guerra *et al.*, 2016), além de elevar o risco de lixiviação e de contaminação do solo e de corpos hídricos superficiais e subterrâneos (Paiva *et al.*, 2025). Desse modo, torna-se necessária a adoção de estratégias que possibilitem a redução de seus impactos no meio ambiente.

A fitorremediação surge neste cenário como uma alternativa promissora para a recuperação de solos agrícolas contaminados. Essa técnica utiliza plantas com capacidade de degradar, remover e/ou estabilizar compostos tóxicos, reduzindo seus prejuízos a partir de baixo custo e podendo ser aplicada em áreas extensas, além de não provocar contaminação secundária (Pandey *et al.*, 2015; May *et al.*, 2020; Conciani *et al.*, 2022; Barroso *et al.*, 2023; Da Costa *et al.*, 2025).

Logo, a utilização de espécies vegetais de interesse econômico para a remediação de solos agrícolas torna-se uma alternativa relevante para aplicação da fitorremediação (Ferreira *et al.*, 2021). Dentre estas plantas, destacam-se as leguminosas que vem demonstrando potencial na fitorremediação e recuperação de solos agrícolas. Além disso, essas espécies também são empregadas como adubo verde devido sua capacidade de fixar nitrogênio.

Entre elas, a mucuna-preta e feijão-de-porco apresentam capacidade de atuar na fitorremediação de áreas contaminadas com arsênio, principalmente para fitoestabilização. Já crotalária que pode ser utilizada como bioindicadora de arsênio no ambiente (Melo *et al.*, 2015). Outra importante espécie com potencial fitorremediador é o amendoim, podendo contribuir para o processo de recuperação de áreas contaminadas por compostos orgânicos e inorgânicos (Embrapa, 2010). Logo, a utilização de espécies vegetais que apresentam interesse econômico com potencial para fitorremediação, como as leguminosas, contribuem para sistemas agrícolas mais sustentáveis e equilibrados.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Avaliar o desenvolvimento e tolerância de diferentes leguminosas de interesse econômico e agrícola em solo com o herbicida indaziflam.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Comparar o desenvolvimento da crotalária, mucuna-cinza, amendoim e feijão-de-porco em solo com e sem a presença do indaziflam, visando determinar a sensibilidade dessas espécies ao herbicida;
- Analisar as alterações morfológicas e a produção de biomassa das culturas em resposta à aplicação do herbicida indaziflam; e
- Avaliar o potencial fitorremediador da crotalária, mucuna-cinza, amendoim e feijão-de-porco em solos com o herbicida indaziflam.



### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Controle químico de plantas daninhas

As plantas daninhas são espécies vegetais que causam prejuízos diretos ou indiretos às culturas agrícolas, sendo consideradas plantas que, em determinado momento ou ambiente, interferem negativamente nos interesses humanos, seja competindo por recursos ou prejudicando o desenvolvimento das culturas (Vasconcelo *et al.*, 2012). Dessa forma, torna-se necessário realizar o controle destas espécies afim de se evitar perdas na produção agrícola.

O manejo de plantas daninhas pode ser realizado por diferentes métodos, incluindo o manejo preventivo e os controles cultural, mecânico, físico, biológico e químico. A escolha da estratégia mais adequada depende do sistema de cultivo, das espécies presentes na área, das condições do terreno e da disponibilidade de mão-de-obra e equipamentos (Oliveira *et al.*, 2018).

Entre essas estratégias, destaca-se o uso de herbicidas, amplamente empregados no controle de plantas daninhas. Quando aplicados na concentração adequada são eficientes na inibição do crescimento ou na eliminação dessas espécies. No entanto, se não forem respeitados os limites de dosagem ou o período correto de aplicação recomendado, estas substâncias podem causar danos irreversíveis à cultura e ao ambiente (Correia *et al.*, 2021).

Nesse contexto, o indaziflam é um herbicida pré-emergente, comercializado como Alion® (Bayer CropScience) e Esplanade® (Envu), aprovado em 2010 nos Estados Unidos, para uso no controle de gramíneas anuais invasoras em pastagens e áreas abertas (Bradbury *et al.*, 2024). Podendo ser utilizado posteriormente para diversas culturas, como café, cana-de-açúcar, citros, palma, goiaba, maçã, manga e uva, além de áreas comerciais, como gramados e plantas ornamentais (Brabham *et al.*, 2014). Esse herbicida permanece na solução do solo por longos períodos mesmo com baixas taxas de aplicação, característica associada à sua baixa solubilidade (Alonso *et al.*, 2015; Guerra *et al.*, 2016).

A sua eficácia em aplicações pós-emergentes é limitada, sendo observada apenas até o estágio de duas folhas. Isso ocorre devido ao herbicida inibir a deposição de cristais na parede celular, o que afeta severamente sua formação, divisão e alongação, e indica que folhas já desenvolvidas são minimamente afetadas (Ribeiro *et al.*, 2025).

Dessa forma, espécies de plantas daninhas com ciclos de vida anuais e bancos de sementes de curta duração serão mais impactadas pelo indaziflam do que espécies perenes que não dependem da germinação anual ou espécies com bancos de sementes de longo prazo (Bradbury *et al.*, 2024; Sebastian *et al.*, 2017; Courkamp *et al.*, 2022).

Entretanto, sua elevada persistência no solo pode gerar impactos negativos, ocasionando efeitos residuais para culturas subsequentes e possivelmente causar alterações na dinâmica biológica do solo, sendo necessário ter estratégias de manejo para reduzir seu impacto.

### **3.2. Impacto do indaziflam no solo**

O indaziflam é um herbicida pré-emergente de amplo espectro de várias gramíneas anuais e plantas daninhas de folhas largas. Suas características físico-químicas, como lipofílica ( $\log K_{ow} = 2,8$ ) e baixa solubilidade em água ( $2,8 \text{ mg L}^{-1}$ ), contribuem para uma maior atividade residual no solo em comparação com outros herbicidas recomendados. Por esse motivo, é aplicado em baixas taxas de uso e recomendado em 73 e 102 g i.a.  $\text{ha}^{-1}$  para o controle residual de gramíneas anuais de inverno em espaços abertos e áreas naturais (Sebastian *et al.*, 2017).

Para o controle de gramíneas anuais suscetíveis, a dose pode chegar a 150 g  $\text{ha}^{-1}$  para espécies mais tolerantes. Na cultura cana-de-açúcar, a aplicação varia entre 110 a 220 g  $\text{ha}^{-1}$ , dependendo das características do solo, e uma única aplicação geralmente é suficiente para manter a cultura livre de plantas daninhas por 12 meses (Ribeiro *et al.*, 2025).

Entretanto, sua alta persistência no solo pode ocasionar efeitos negativos sobre organismos não-alvo, estando associado ao aumento da concentração de nitrato no solo, à redução da matéria orgânica e a alterações significativas na composição do microbioma do solo (Bradbury *et al.*, 2024). Além disso, há maior risco de lixiviação, uma vez que fatores como o teor de matéria orgânica e a textura do solo influenciam diretamente o transporte de herbicidas para o lençol freático (Jhala *et al.*, 2012), podendo resultar na contaminação do solo e de corpos hídricos superficiais e subterrâneos (Paiva *et al.*, 2025).

Diante desse cenário, torna-se crucial explorar alternativas sustentáveis para a recuperação de áreas contaminadas. Entre as alternativas sustentáveis,

destaca-se a fitorremediação, que utiliza plantas para retirar compostos tóxicos do solo de forma eficiente e ambientalmente segura.

### 3.3. Plantas leguminosas na fitorremediação

A contaminação do solo por compostos orgânicos e inorgânicos, decorrente de atividades humanas como agricultura, mineração e atividades industriais, tem se intensificado causando um sério problema ambiental (Comeselle *et al.* 2013; Paiva; 2025; Pires *et al.* 2003). Diante desse cenário, a busca por alternativas de descontaminação destas áreas tem se concentrado em soluções que sejam eficientes, de fácil aplicação e com baixo custo (Pires *et al.*, 2003; Comeselle *et al.*, 2013).

Nesse contexto, uma alternativa sustentável para reduzir os impactos em solos agrícolas sem modificações significativas é a fitorremediação (Comeselle *et al.*, 2013; Cruz *et al.*, 2024; Frias *et al.*, 2023). Essa técnica baseia-se no uso de plantas na remoção e/ou degradação de compostos tóxicos presentes no solo (Pandey *et al.*, 2015; May *et al.*, 2020; Conciani *et al.*, 2022; Barroso *et al.*, 2023; Da Costa *et al.*, 2025; Comeselle *et al.*, 2013).

Entre as espécies com maior potencial para esse fim, destacam-se as leguminosas que apresentam um grande potencial de uso na fitorremediação por serem espécies rústicas, com alta produção de biomassa, que ajudam a proteger o solo contra a erosão. Além disso, contribuem para a melhoria dos atributos físicos e para o aumento dos teores de matéria orgânica e nutrientes (Rugana *et al.*, 2021). Quando utilizadas como adubo verde elevam os níveis de carbono (C) e nitrogênio (N), por terem a capacidade de se associar a bactérias fixadoras de nitrogênio, convertendo  $N_2$  em formas disponíveis para planta. Esse processo reduz a necessidade de fertilizantes nitrogenados, contribuindo para a fertilidade do solo e a produção agrícola sustentável, especialmente em condições que favorecem a perda de nutrientes (Rugana *et al.*, 2021; Nogueira *et al.*, 2012; Souza *et al.*, 2010).

Dessa forma, adubação verde com leguminosas na reforma do canavial, é uma alternativa sustentável e de baixo custo, que não interfere na brotação e nem compromete o ano agrícola. Além de contribuir para o aumento da produtividade por pelo menos dois cortes, essa prática auxilia na proteção do solo, controle de plantas daninhas e recuperação de áreas contaminadas, melhorando a fertilidade e a qualidade do solo (Ambrosano *et al.*, 2011; Sakai *et al.*, 2007).

Portanto, apesar da natureza potencialmente perigosa do indaziflam há poucos relatos na literatura científica avaliando o potencial impacto desta molécula, uma vez que é um herbicida relativamente novo. Nesse contexto, são limitadas as pesquisas voltadas para desenvolvimento de alternativas sustentáveis para mitigar seu efeito no solo. Assim, destaca-se o uso de leguminosas com potencial fitorremediador e valor econômico como uma alternativa promissora para a recuperação de áreas contaminadas por indaziflam.

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma estufa agrícola na Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Universidade Estadual Paulista – FCAT/UNESP, campus de Dracena (coordenadas 21°28'57" latitude sul e 51°31'58" longitude oeste, com altitude média de 400 m), com sistema de irrigação automatizado.

O período de realização foi entre setembro e dezembro 2025 com médias de temperatura e umidade relativa do ar de 26,0 °C e 67,9%, respectivamente (EMA/FCAT -Estação Meteorológica de Dracena).

##### 4.1. Solo

O solo utilizado foi do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura franco-arenoso e coletado em área experimental da FCAT/Unesp sem histórico de aplicação de agrotóxicos, em até 20 cm de profundidade. As amostras de solo foram peneiradas e enviadas para análise físico-química. Subsequentemente, a análise física descreveu o solo como contendo 77,0% de areia, 17,6% de argila e 5,3% de silte caracterizando a textura arenosa. Sua composição química do solo pode ser observada na Tabela 1.

**Tabela 1.** Composição química do solo.

| Parâmetros            | Valor | Unidade                |
|-----------------------|-------|------------------------|
| pH                    | 4,9   |                        |
| Matéria Orgânica      | 7,0   | g.dm <sup>-3</sup>     |
| Potássio              | 1,3   |                        |
| Cálcio                | 8,0   |                        |
| Magnésio              | 8,0   | mmolc.dm <sup>-3</sup> |
| Hidrogênio + Alumínio | 10,0  |                        |
| Alumínio              | 9,0   |                        |
| Fósforo               | 2,0   |                        |
| Soma de bases         | 17,3  | mg.dm <sup>-3</sup>    |
| CTC                   | 27,3  |                        |
| Saturação de Bases    | 63    | %                      |
| Saturação de Alumínio | 34    |                        |

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Dessa forma, constatou-se que não houve necessidade de realizar a calagem, uma vez que a saturação por bases (V%) já se encontrava em 63%. O

manejo da fertilidade do solo foi realizado com base nos resultados da análise, sendo aplicados 0,5 kg de superfosfato simples (18% de  $P_2O_5$ ) e 0,5 kg de cloreto de potássio (60% de  $K_2O$ ) em 1400 Kg de solo, para preparar o solo para semeadura.

#### **4.2. Herbicida indaziflam e espécies vegetais**

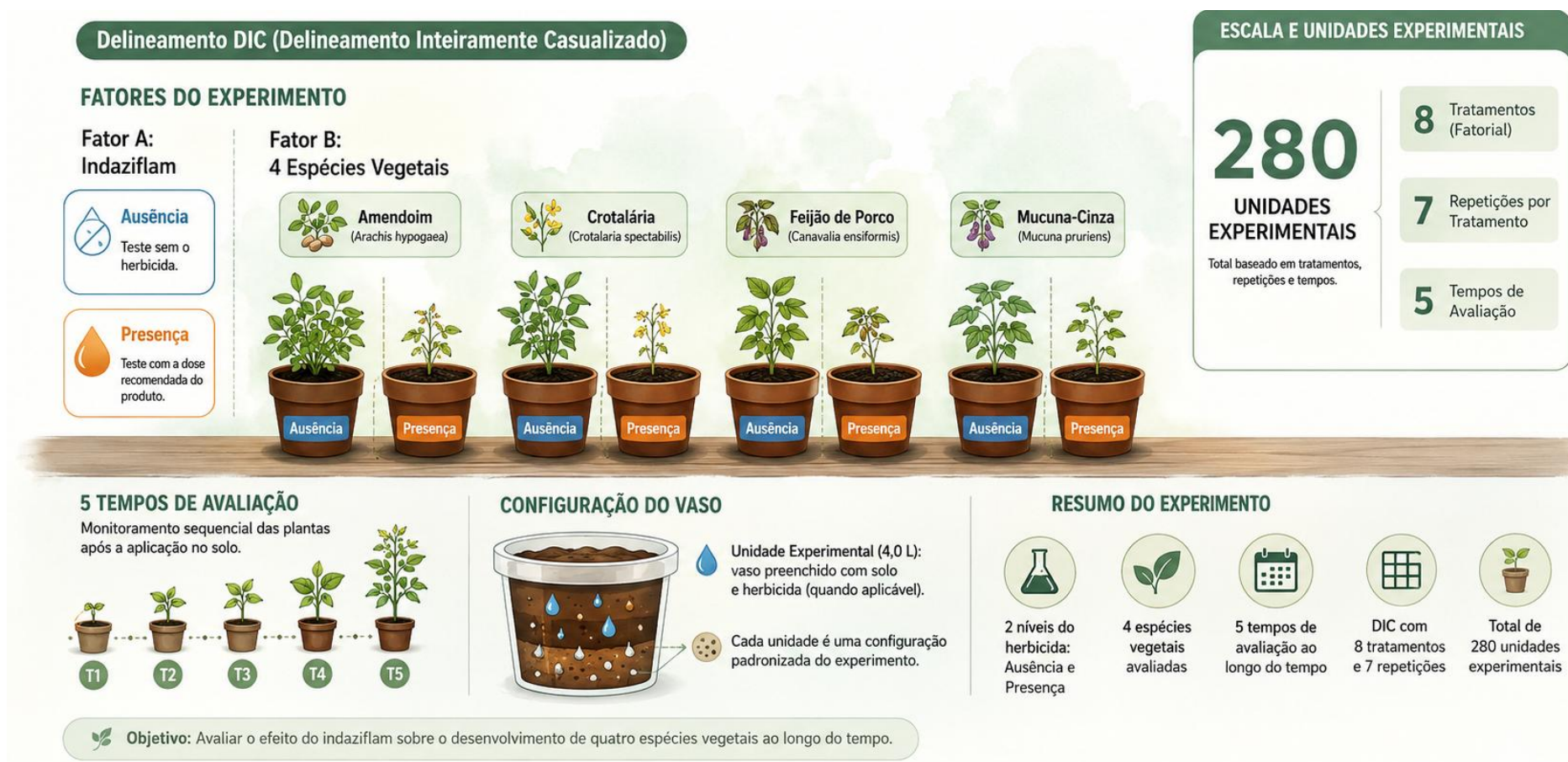
O herbicida indaziflam foi utilizado a partir do produto comercial Alion<sup>®</sup> (500 g i.a. L<sup>-1</sup>, Bayer S.A), conforme a sua bula.

As espécies vegetais foram escolhidas devido seu potencial para fitorremediação e recuperação de solos contaminados, valor econômico e sua utilização na rotação da cultura de cana-de-açúcar (Conciani *et al.* 2023). Assim, utilizou-se sementes de amendoim (*Arachis hypogaea* L.), obtidas com grupo de estudo Gepesas (FCAT/UNESP), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), crotalária (*Crotalaria juncea* L.), e mucuna-cinza (*Mucuna pruriens* L. DC.), que foram disponibilizadas pela empresa BRseeds<sup>®</sup>.

#### **4.3. Delineamento experimental**

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 2x4, de acordo com: (A) a presença ou ausência da dose recomendada de indaziflam, e (B) das 4 espécies vegetais. Assim, foram realizados 8 tratamentos com sete repetições, em cinco tempos de avaliação, totalizando 280 unidades experimentais (Figura 1). Cada unidade experimental foi constituída por um vaso com capacidade para 4,0 L, preenchido com solo e posterior aplicação do herbicida (Figura 2).

**Figura 1.** Esquema representativo do delineamento experimental.



Fonte: Imagem elaborada pela autora com auxílio da ferramenta de inteligência artificial generativa NotebookLM (Google), a partir de prompt descritivo baseado na metodologia experimental do estudo. Acesso em: 17 junho 2026.

**Figura 2.** Unidades experimentais em DIC na estufa agrícola.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

#### **4.4. Preparo das unidades experimentais**

O herbicida indaziflam foi pulverizado em local fechado por meio de um pulverizador automático em ambiente controlado pressurizado por ar comprimido e equipado com duas pontas de jato plano Magno ADGA-03 na pressão de 2 bar (vazão de  $0,879 \text{ L min}^{-1}$ ), espaçadas em 0,5 m, na velocidade de  $5 \text{ km h}^{-1}$ , a uma altura de 0,90 m em relação ao topo dos vasos, proporcionando volume de aplicação de  $211 \text{ L ha}^{-1}$  (Figura 3).

Após 10 dias da aplicação do herbicida, foi feito o plantio de oito sementes de cada espécie por vaso, que foi irrigado, 4 vezes ao dia por 20 minutos, diariamente com uma lâmina de água suficiente para a manutenção das condições adequadas para o desenvolvimento vegetal (Figura 4).



**Figura 3.** Pulverização do herbicida indaziflam por meio de aplicação laboratorial automatizada.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

**Figura 4.** Disposição das sementes de amendoim, feijão-de-porco, mucuna-cinza e crotalária nos vasos.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Após esta etapa, foi conduzida apenas uma planta por vaso para o monitoramento do desenvolvimento vegetal em cinco momentos: 21, 28, 35,42 e 49 DAS (Figura 5). Assim, foram realizadas as seguintes avaliações para cada um desses cinco momentos: diâmetro do coleto com um paquímetro, comprimento da raiz e da parte aérea com uma régua (Figura 6A), biomassa fresca e seca das partes áreas e radicular (Figura 6B), e nodulação radicular.

A separação de parte aérea e radicular foi realizada pelo corte do caule rente ao solo. As raízes foram lavadas para que todo o solo fosse removido. Após a separação, cada fração foi pesada separadamente, embaladas em saco de papel e colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por cinco dias, sendo novamente pesadas (Figura 7).

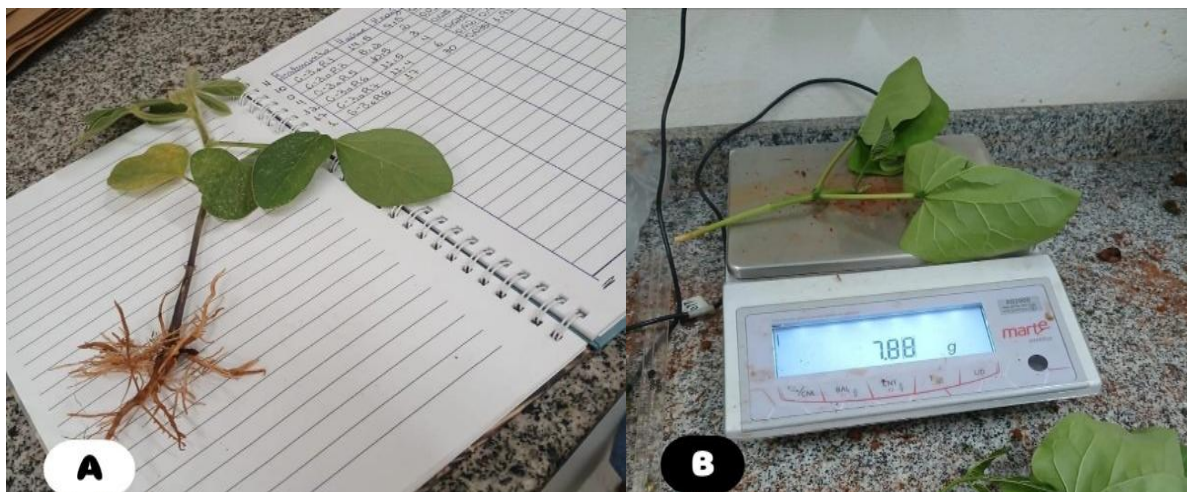
Logo, para cada conjunto de resultados, foram realizadas análises de variância considerando a presença ou não de indaziflam e as espécies vegetais, permitindo avaliar as interações entre esses fatores e orientar a escolha da melhor estratégia para o desenvolvimento vegetal.

**Figura 5.** Germinação das sementes de feijão-de-porco aos 14 DAS.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

**Figura 6.** Parâmetros biométricos (A) e passagem da biomassa (B) das plantas de feijão-de-porco aos 21 DAS.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

**Figura 7.** Material vegetal embalado em sacos de papel para serem colocados na estufa de circulação forçada de ar.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

#### 4.5. Nodulação radicular

A análise da nodulação foi realizada com o objetivo de verificar a presença e quantificar o número de nódulos nas raízes das plantas em cada tempo experimental. Para isso, as plantas foram cuidadosamente retiradas do solo para

preservação do sistema radicular. Em seguida, as raízes foram lavadas em água corrente para remoção do solo aderido, evitando-se a perda de nódulos.

Após a lavagem, procedeu-se à avaliação visual do sistema radicular, sendo registrados a presença de nódulos e número total por planta.

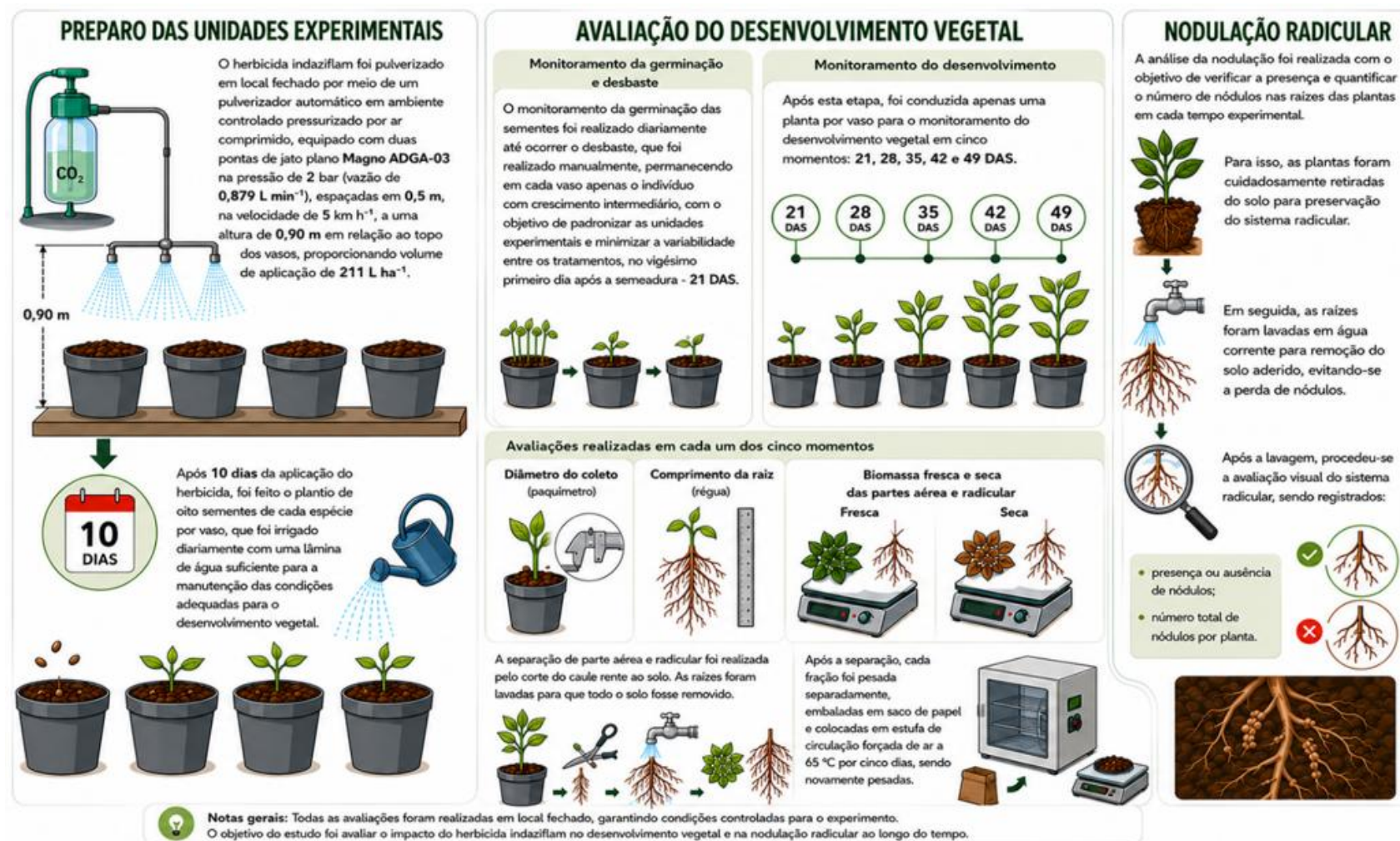
#### **4.6. Análise de dados**

Todos os dados foram obtidos pelas análises realizadas (Figura 8) foram submetidos análise de variância (Tukey  $p < 0,05$ ) para comparação das médias, quando o teste F foi significativo. Os cálculos foram realizados com auxílio dos pacotes `scipy` e `statsmodels` (Python 3.12), a partir da ferramenta de inteligência artificial generativa Claude (Anthropic). A plataforma também foi utilizada como suporte auxiliar na estruturação e revisão dos códigos estatísticos empregados nas análises, sem interferência na interpretação dos resultados.

Assim, foram realizadas duas análises independentes: (1) comparando todos os tratamentos (IDZ- e IDZ+ de todas as culturas) e (2) comparando apenas os tratamentos com herbicida (IDZ+). Alguns resultados foram indicados por NI e NIM em função do número insuficiente de repetições e do número insuficiente por morte, respectivamente.



**Figura 8.** Esquema representativo da avaliação periódica do desenvolvimento vegetal realizada no experimento.



Fonte: Imagem elaborada pela autora com auxílio da ferramenta de inteligência artificial generativa NotebookLM (Google), a partir de prompt descritivo baseado na metodologia experimental do estudo. Acesso em: 28 maio 2026.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Crotalária

A crotalária exibiu elevada sensibilidade ao indaziflam no solo. Enquanto as plantas cultivadas na ausência do herbicida (IDZ-) apresentaram crescimento progressivo ao longo do tempo, atingindo médias de altura de 18,75 cm e de comprimento radicular de 14,67 cm aos 49 DAS (Figura 9); a presença do indaziflam (IDZ+) promoveu uma drástica redução no desenvolvimento da cultura em todos os períodos avaliados (21 a 49 DAS), o que inviabilizou a coleta de qualquer medida biométrica nas parcelas, conforme detalhado na Tabela 2.

**Figura 9.** Desenvolvimento da crotalária aos 35 DAS em solo ausente de indaziflam.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A alta sensibilidade da crotalária também foi observada por Melo *et al.* (2015), ao analisarem a resposta em relação ao arsênio no solo. Seus resultados sugeriram que a sensibilidade da cultura permite utilizá-la como uma planta bioindicadora desse contaminante. Assim, o comportamento observado da crotalária diante do indaziflam reforça esse perfil sensível da espécie, evidenciando também seu potencial para sinalizar a presença do herbicida em agroecossistemas.

**Tabela 2.** Desenvolvimento da crotalária em função da ausência ou presença de indaziflam nos diferentes períodos de avaliação.

| CROTALÁRIA     | 21 DAS           | 28 DAS           | 35 DAS           | 42 DAS           | 49 DAS            |
|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| <b>h / cm</b>  |                  |                  |                  |                  |                   |
| IDZ -          | 6,00 ± 0,82      | 8,66 ± 2,49      | 11,98 ± 1,74     | 16,00 ± 5,20     | 18,75 ± 10,78     |
| IDZ +          | NI               | NIM              | NIM              | NI               | NIM               |
| <b>RL / cm</b> |                  |                  |                  |                  |                   |
| IDZ -          | 3,25 ± 1,26<br>b | 3,60 ± 1,16<br>b | 3,75 ± 1,71<br>b | 6,50 ± 2,17<br>b | 14,67 ± 7,23<br>a |
| IDZ +          | NI               | NIM              | NIM              | NI               | NIM               |
| <b>d / mm</b>  |                  |                  |                  |                  |                   |
| IDZ -          | 0,10 ± 0,00<br>a | 0,11 ± 0,04<br>a | 0,02 ± 0,00<br>b | 0,11 ± 0,04<br>a | 0,10 ± 0,00<br>a  |
| IDZ +          | NI               | NIM              | NIM              | NI               | NIM               |
| <b>nNOD</b>    |                  |                  |                  |                  |                   |
| IDZ -          | AN               | AN               | 13,00 ± 3,61     | 13,29 ± 8,36     | 14,83 ± 12,5      |
| IDZ +          | NI               | AN               | AN               | NI               | AN                |
| <b>SDB / g</b> |                  |                  |                  |                  |                   |
| IDZ -          | 0,01 ± 0,00<br>b | 0,01 ± 0,00<br>b | 0,01 ± 0,00<br>b | 0,09 ± 0,04<br>a | 0,01 ± 0,00<br>b  |
| IDZ +          | NI               | *NIM             | *NIM             | NIM              | *NIM              |
| <b>RDB / g</b> |                  |                  |                  |                  |                   |
| IDZ -          | 0,01 ± 0,00      | 0,01 ± 0,00      | 0,01 ± 0,00      | 0,16 ± 0,23      | 0,01 ± 0,00       |
| IDZ +          | NI               | NIM              | NIM              | NI               | NIM               |

Legenda: IDZ-/IDZ+ = ausência/presença de indaziflam; h = altura das plantas;  
 RL = comprimento da raiz; d = diâmetro do coleto; nNOD = número de nódulos;  
 SDS = biomassa seca da parte aérea; RDB = biomassa seca da raiz; \*NI = número  
 insuficiente ( $0 < n < 3$ ); NIM = número insuficiente por morte das plantas ( $n=0$ ); AN = ausência  
 de nódulos. Letras minúsculas representam diferenças estatísticas dentro da mesma  
 condição de tratamento pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Em contrapartida, Madalão *et al.* (2012) relataram que a crotalária apresentou boa tolerância e capacidade de fitorremediar solos com o herbicida sulfentrazone (até 400 g i.a. ha<sup>-1</sup>). Portanto, embora a espécie possua capacidade limitada de tolerar os efeitos tóxicos e perfil fitorremediador para certos herbicidas, seu uso na rotação de solos agrícolas com resíduos de indaziflam ainda se mostra limitado. Além disso, vale ressaltar que crotalária revelou elevada fitotoxicidade frente ao indaziflam, mesmo não sendo espécie-alvo da molécula.

## 5.2. Mucuna-cinza

A mucuna-cinza na ausência do herbicida (IDZ-) demonstrou crescimento satisfatório da parte aérea, com aumento maior do que três vezes na sua altura entre 21 e 49 DAS (de 20,50 para 73,25 cm). Sob o efeito do indaziflam (IDZ+), as plantas conseguiram se desenvolver a partir dos 35 DAS (Figura 10 e Tabela 3), porém com crescimento afetado e atingindo apenas 15,83 cm de altura aos 49 DAS, ou seja, redução de 78% em relação ao solo controle.

**Figura 10.** Comparação do desenvolvimento da mucuna-cinza no desbaste aos 21 DAS em solo na ausência do indaziflam (à esquerda) e na presença do herbicida (à direita).



Fonte: Elaborado pela autora (2025).



**Tabela 3.** Desenvolvimento da mucuna-cinza em função da ausência ou presença de indaziflam nos diferentes períodos de avaliação.

| MUCUNA-CINZA   | 7 DAS             | 14 DAS            | 28 DAS             | 35 DAS              | 49 DAS              |
|----------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| <b>h / cm</b>  |                   |                   |                    |                     |                     |
| IDZ -          | 20,50 ± 2,81<br>b | 19,83 ± 2,77<br>b | 27,75 ± 3,86<br>Ab | 72,75 ± 26,22<br>Aa | 73,25 ± 11,76<br>Aa |
| IDZ +          | NI                | NI                | 11,75 ± 4,99<br>B  | 6,40 ± 1,82<br>B    | 15,83 ± 7,42<br>B   |
| <b>RL / cm</b> |                   |                   |                    |                     |                     |
| IDZ -          | 14,83 ± 4,07      | 18,80 ± 7,55      | 32,33 ± 8,74<br>A  | 47,50 ± 7,00<br>A   | 42,67 ± 9,31        |
| IDZ +          | NI                | NI                | 16,67 ± 1,53<br>Ba | 2,67 ± 0,58<br>Bb   | NI                  |
| <b>d / mm</b>  |                   |                   |                    |                     |                     |
| IDZ -          | 0,33 ± 0,08<br>a  | 0,43 ± 0,05<br>a  | 0,04 ± 0,00<br>b   | 0,34 ± 0,05<br>Aa   | 0,47 ± 0,12<br>Aa   |
| IDZ +          | 0,43 ± 0,12       | 0,37 ± 0,06       | 0,04 ± 0,01        | 0,18 ± 0,05<br>B    | 0,30 ± 0,08<br>B    |
| <b>nNOD</b>    |                   |                   |                    |                     |                     |
| IDZ -          | *AN               | *AN               | 2,00 ± 1,00<br>b   | 20,00 ± 8,03<br>a   | 27,40 ± 10,71<br>a  |
| IDZ +          | *AN               | *AN               | NI                 | *AN                 | NI                  |
| <b>SDB / g</b> |                   |                   |                    |                     |                     |
| IDZ -          | 0,96 ± 0,26       | 1,23 ± 0,16       | 2,06 ± 0,53<br>A   | 3,38 ± 1,30<br>A    | 3,08 ± 0,74<br>A    |
| IDZ +          | NI                | *NI               | 0,69 ± 0,73<br>B   | 0,48 ± 0,14<br>B    | 1,02 ± 0,83<br>B    |
| <b>RDB / g</b> |                   |                   |                    |                     |                     |
| IDZ -          | 0,75 ± 0,38       | 0,33 ± 0,12       | 1,56 ± 1,18        | 4,90 ± 2,75<br>A    | 3,55 ± 1,11         |
| IDZ +          | NI                | 0,34 ± 0,31       | 0,68 ± 0,26        | 0,65 ± 0,44<br>B    | NI                  |

Legenda: IDZ-/IDZ+ = ausência/presença de indaziflam; h = altura das plantas; RL = comprimento da raiz; d = diâmetro do coleto; nNOD = número de nódulos; SDS = biomassa seca da parte aérea; RDB = biomassa seca da raiz; \*NI = número insuficiente ( $0 < n < 3$ ); NIM = número insuficiente por morte das plantas ( $n=0$ ); AN = ausência de nódulos. Letras minúsculas e maiúsculas representam, respectivamente, diferenças estatísticas dentro da mesma condição de tratamento e em relação à presença de indaziflam pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

O sistema radicular, por sua vez, exibiu variações de desenvolvimento na presença do herbicida. Aos 42 DAS, o comprimento de raiz reduziu drasticamente para 2,67 cm, comparado aos 47,50 cm da parcela testemunha (-94%). Além disso, a nodulação, presente no solo controle (média de 27,40 nódulos por planta aos 49 DAS), foi praticamente nula ou inexistente na presença do herbicida em quase todos os períodos amostrados.

Essa tendência de redução no crescimento e no acúmulo de biomassa sob estresse químico assemelha-se ao observado por Frias *et al.* (2023) com a mesma espécie exposta ao tebuthiuron. Apesar do menor desenvolvimento da mucuna-cinza na presença do herbicida, os autores destacaram o potencial fitorremediador da cultura, característica que também pode estar associada à capacidade de sobrevivência e retomada de crescimento da espécie observada frente ao indaziflam a partir dos 35 DAS.

Diante desses resultados, a mucuna-cinza apresentou um comportamento de tolerância intermediária ao indaziflam. Embora a parte aérea tenha demonstrado capacidade de recuperação, o sistema radicular exibiu severos sintomas de toxicidade, caracterizados por pontos de necrose (Figura 11). Esse dano localizado nas raízes justifica o crescimento ter sido tão prejudicado, mesmo com a sobrevivência da planta ao longo do período.

**Figura 11.** Sintomas de necrose no sistema radicular da mucuna-cinza exposta ao indaziflam no solo aos 35 DAS.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

### 5.3. Amendoim

O amendoim apresentou um comportamento semelhante ao da mucuna-cinza. Nos tratamentos com indaziflam (IDZ+), a espécie demonstrou menor desenvolvimento da parte aérea desde o início, atingindo altura de 13,62 cm aos 49 DAS, enquanto as plantas do solo controle (IDZ-) alcançaram 20,79 cm no mesmo período, ou seja, 52% maior (Tabela 4). O sistema radicular mostrou-se severamente afetado e inconstante, permanecendo impossibilitado de medição (NI) de 21 a 42 DAS, com uma sutil recuperação observada somente ao final do experimento em 49 DAS (Figura 12).

**Figura 12.** Comparação do desenvolvimento do amendoim no desbaste aos 21 DAS em solo na ausência do indaziflam (à esquerda) e na presença do herbicida (à direita).



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Logo, o comprometimento do sistema radicular refletiu na ausência total de nódulos nas plantas de amendoim sob efeito do herbicida em todas as épocas amostradas, contrastando com a abundante nodulação da parcela testemunha, que atingiu o pico de 36,20 nódulos por planta aos 42 DAS.

**Tabela 4.** Desenvolvimento do amendoim em função da ausência ou presença de indaziflam nos diferentes períodos de avaliação.

| AMENDOIM       | 7 DAS            | 14 DAS            | 28 DAS            | 35 DAS            | 49 DAS            |
|----------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>h / cm</b>  |                  |                   |                   |                   |                   |
| IDZ -          | 17,00 ± 3,74     | 12,97 ± 3,66<br>A | 21,50 ± 3,27<br>A | 17,50 ± 3,83<br>A | 20,79 ± 3,81<br>A |
| IDZ +          | NI               | 4,83 ± 1,89<br>B  | 8,25 ± 3,77<br>B  | 5,00 ± 1,83<br>B  | 13,62 ± 5,3<br>B  |
| <b>RL / cm</b> |                  |                   |                   |                   |                   |
| IDZ -          | 12,00 ± 2,10     | 13,33 ± 5,06      | 17,67 ± 3,52      | 22,40 ± 4,04      | 21,57 ± 7,76      |
| IDZ +          | NI               | NI                | NI                | NI                | 11,00 ± 5,57      |
| <b>d / mm</b>  |                  |                   |                   |                   |                   |
| IDZ -          | 0,53 ± 0,16<br>a | 0,31 ± 0,04<br>a  | 0,04 ± 0,01<br>b  | 0,37 ± 0,05<br>a  | 0,43 ± 0,08<br>a  |
| IDZ +          | NI               | 0,30 ± 0,08<br>a  | 0,04 ± 0,01<br>b  | 0,40 ± 0,11<br>a  | 0,42 ± 0,18<br>a  |
| <b>nNOD</b>    |                  |                   |                   |                   |                   |
| IDZ -          | *AN              | *AN               | 29,80 ± 7,98      | 36,20 ± 11,39     | 24,00 ± 3,32      |
| IDZ +          | *NI              | NI                | *AN               | *NI               | NI                |
| <b>SDB / g</b> |                  |                   |                   |                   |                   |
| IDZ -          | 0,93 ± 0,33      | 1,03 ± 0,35<br>A  | 1,72 ± 0,28<br>A  | 2,42 ± 0,65<br>A  | 2,87 ± 0,65<br>A  |
| IDZ +          | NI               | 0,36 ± 0,15<br>B  | 0,57 ± 0,27<br>B  | 0,26 ± 0,07<br>B  | 0,92 ± 0,35<br>B  |
| <b>RDB / g</b> |                  |                   |                   |                   |                   |
| IDZ -          | 0,34 ± 0,16<br>b | 0,13 ± 0,09<br>b  | 0,47 ± 0,38<br>b  | 0,72 ± 0,33<br>b  | 1,62 ± 0,28<br>Aa |
| IDZ +          | NI               | NIM               | NI                | NI                | 0,60 ± 0,40<br>B  |

Legenda: IDZ-/IDZ+ = ausência/presença de indaziflam; h = altura das plantas;  
 RL = comprimento da raiz; d = diâmetro do coleto; nNOD = número de nódulos;  
 SDS = biomassa seca da parte aérea; RDB = biomassa seca da raiz; \*NI = número  
 insuficiente ( $0 < n < 3$ ); NIM = número insuficiente por morte das plantas ( $n=0$ ); AN = ausência  
 de nódulos. Letras minúsculas e maiúsculas representam, respectivamente, diferenças  
 estatísticas dentro da mesma condição de tratamento e em relação à presença de  
 indaziflam pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Esses resultados evidenciam uma clara limitação fisiológica e o comprometimento da capacidade de fixação biológica de nitrogênio da cultura em áreas com a presença de indaziflam. Em contrapartida, esse cenário de alta sensibilidade difere do comportamento observado por Conciani *et al.* (2022), que demonstraram desenvolvimento satisfatório e expressiva capacidade fitorremediadora do amendoim quando cultivado em solo contaminado pelo herbicida tebuthiuron.

Assim, embora a cultura consiga tolerar a presença de tebuthiuron, ela manifesta sensibilidade quando submetida ao indaziflam, o que reforça que a seletividade depende diretamente do mecanismo de ação de cada molécula

#### **5.4. Feijão-de-porco**

Embora o crescimento inicial do feijão-de-porco tenha sido lento na presença de indaziflam (Figura 13), essa espécie atingiu uma altura média de 36,33 cm aos 49 DAS, aproximando-se estatisticamente dos 41,25 cm observado no solo controle (IDZ-), demonstrado pela Tabela 5.

O grande diferencial desta cultura concentrou-se no sistema radicular ao término do experimento (49 DAS), uma vez que sob efeito do herbicida, o comprimento radicular alcançou 40,67 cm com biomassa seca (RDB) de 8,73 g, superando numericamente as plantas do tratamento sem a presença de indaziflam (28,75 cm e 7,56 g, respectivamente).

Além disso, o feijão-de-porco foi a única espécie capaz de manter a atividade simbiótica mesmo na presença do indaziflam, registrando a expressiva média de 52,33 nódulos por planta aos 49 DAS, superando em 16% o tratamento controle (45,00) e evidenciando que os resíduos do herbicida não comprometeram sua capacidade de fixação biológica de nitrogênio a longo prazo. Esses dados dão suporte aos resultados de Silva *et al.* (2023) acerca do potencial fitorremediador da cultura. Estes autores atribuem essa capacidade justamente ao menor nível de controle exercido pelo indaziflam sobre o seu desenvolvimento.

Logo, dentre as leguminosas avaliadas, o feijão-de-porco destacou-se como a cultura de maior tolerância ao indaziflam. A espécie apresentou capacidade de recuperação ao longo do período experimental, culminando nos maiores índices de desenvolvimento tanto para a parte aérea quanto para o sistema radicular aos 35 DAS.

**Tabela 5.** Desenvolvimento do feijão-de-porco em função da ausência ou presença de indaziflam nos diferentes períodos de avaliação.

| FEIJÃO-DE-PORCO | 7 DAS             | 14 DAS             | 28 DAS             | 35 DAS            | 49 DAS             |
|-----------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| <b>h / cm</b>   |                   |                    |                    |                   |                    |
| IDZ -           | 23,71 ± 2,29      | 28,20 ± 2,56<br>A  | 36,17 ± 4,17       | 42,00 ± 4,58      | 41,25 ± 18,89      |
| IDZ +           | NI                | 10,50 ± 1,78<br>Bb | 31,00 ± 5,60<br>a  | NI                | 36,33 ± 6,03<br>a  |
| <b>RL / cm</b>  |                   |                    |                    |                   |                    |
| IDZ -           | 19,43 ± 7,93<br>a | 32,83 ± 6,65<br>Aa | 34,67 ± 3,72<br>Aa | 33,67 ± 3,98<br>a | 28,75 ± 5,56<br>Aa |
| IDZ +           | NI                | 2,83 ± 0,76<br>Bc  | 19,50 ± 6,18<br>Bb | NI                | 40,67 ± 9,61<br>Aa |
| <b>d / mm</b>   |                   |                    |                    |                   |                    |
| IDZ -           | 0,31 ± 0,04<br>a  | 0,52 ± 0,08<br>a   | 0,05 ± 0,00<br>b   | 0,47 ± 0,08<br>a  | 0,40 ± 0,16<br>a   |
| IDZ +           | NI                | 0,40 ± 0,10<br>a   | 0,04 ± 0,00<br>b   | NI                | 0,50 ± 0,10<br>a   |
| <b>nNOD</b>     |                   |                    |                    |                   |                    |
| IDZ -           | AN                | AN                 | 25,50 ± 9,88<br>A  | 39,80 ± 6,46      | 45,00 ± 26,05      |
| IDZ +           | NI                | AN                 | 8,33 ± 6,11<br>Bb  | NI                | 52,33 ± 8,96<br>a  |
| <b>SDS / g</b>  |                   |                    |                    |                   |                    |
| IDZ -           | 1,57 ± 0,44       | 3,17 ± 0,82<br>A   | 3,69 ± 0,89<br>A   | 3,97 ± 1,44       | 4,59 ± 1,12        |
| IDZ +           | *NI               | 0,33 ± 0,08<br>B   | 2,06 ± 0,85<br>B   | NI                | 2,94 ± 1,45        |
| <b>RDB / g</b>  |                   |                    |                    |                   |                    |
| IDZ -           | 0,51 ± 0,21<br>b  | 1,30 ± 0,49<br>Ab  | 3,34 ± 1,12<br>Ab  | 4,65 ± 1,50<br>b  | 7,56 ± 2,45<br>a   |
| IDZ +           | NI                | 0,16 ± 0,06<br>Bb  | 1,37 ± 0,20<br>Bb  | NI                | 8,73 ± 1,05<br>a   |

Legenda: IDZ-/IDZ+ = ausência/presença de indaziflam; h = altura das plantas;

RL = comprimento da raiz; d = diâmetro do coleto; nNOD = número de nódulos;

SDS = biomassa seca da parte aérea; RDB = biomassa seca da raiz; \*NI = número insuficiente ( $0 < n < 3$ ); NIM = número insuficiente por morte das plantas ( $n=0$ ); AN = ausência de nódulos. Letras minúsculas e maiúsculas representam, respectivamente, diferenças estatísticas dentro da mesma condição de tratamento e em relação à presença de indaziflam pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

**Figura 13.** Comparação do desenvolvimento do feijão-de-porco no desbaste aos 21 DAS em solo na ausência do indaziflam (à esquerda) e na presença do herbicida (à direita).



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Em contrapartida aos resultados do presente estudo, Lima *et al.* (2024) constataram a sensibilidade do feijão-de-porco ao tebuthiuron no solo, com os primeiros sinais de mortalidade das plantas surgindo aos 30 dias após o plantio. A resposta da espécie em relação a este outro herbicida diferiu claramente do impacto causado pelo indaziflam. Consequentemente, concluiu-se que o mecanismo de ação do tebuthiuron no Fotossistema II (PSII) bloqueia o metabolismo fotossintético, o que não ocorre na presença de indaziflam, uma vez que as plantas conseguiram superar o estresse no desenvolvimento inicial.

### 5.5. Comparação entre as espécies vegetais

Observando os resultados de todas as leguminosas aos 49 DAS no solo com indaziflam, notou-se efeitos distintos pela sua presença (Tabela 6). A ausência de desenvolvimento da crotalária, expressa pelos resultados “NIM” para as variáveis biométricas e “AN” para nodulação, evidencia elevada sensibilidade ao herbicida. Esse comportamento corrobora com Ferreira *et al.* (2021), que também identificaram a vulnerabilidade da espécie ao tebuthiuron, destacando-a inclusive como uma excelente bioindicadora da presença deste herbicida no solo.

Em contrapartida, amendoim e mucuna-cinza apresentaram tolerância limitada, com baixos valores de desenvolvimento e ausência de nodulação. O amendoim apresentou altura média de 13,62 cm e biomassa seca radicular de 0,60 g, enquanto a mucuna-cinza apresentou altura de 15,83 cm e biomassa seca da parte aérea de 1,02 g. Esses resultados divergem de Conciani *et al.* (2022) e Frias *et al.* (2023), cujos estudos apontaram para a tolerância e o potencial fitorremediador de ambas as culturas quando expostas ao tebuthiuron. Essa discrepância indica que essas espécies apresentam uma sensibilidade distinta ao indaziflam quando comparado a outros herbicidas, mostrando que a seletividade dessas leguminosas varia drasticamente conforme a molécula utilizada.

**Tabela 6.** Desenvolvimento das leguminosas avaliadas aos 49 DAS na presença de indaziflam no solo.

| 35 DAS IDZ+            | h/cm              | RL/cm             | d/mm             | nNOD         | SDB/g            | RDB/g            |
|------------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------|------------------|------------------|
| <b>AMENDOIM</b>        | 13,62 ± 5,38<br>B | 11,00 ± 5,57<br>A | 0,42 ± 0,18<br>A | NI           | 0,92 ± 0,35<br>B | 0,60 ± 0,40<br>B |
| <b>CROTALÁRIA</b>      | NIM               | NIM               | NIM              | AN           | NIM              | NIM              |
| <b>FEIJÃO-DE-PORCO</b> | 36,33 ± 6,03<br>A | 40,67 ± 9,61<br>A | 0,50 ± 0,10<br>A | 52,33 ± 8,96 | 2,94 ± 1,45<br>A | 8,73 ± 1,05<br>A |
| <b>MUCUNA-CINZA</b>    | 15,83 ± 7,42<br>B | NI                | 0,30 ± 0,08<br>B | NI           | 1,02 ± 0,83<br>B | NI               |

Legenda: DAS = dias após a semeadura; IDZ+ = presença de indaziflam; h = altura das plantas; RL = comprimento da raiz; d = diâmetro do coleto; nNOD = número de nódulos;

SDS = biomassa seca da parte aérea; RDB = biomassa seca da raiz; \*NI = número insuficiente ( $0 < n < 3$ ); NIM = número insuficiente por morte das plantas ( $n=0$ ); AN = ausência de nódulos. Letras maiúscula representam diferenças estatísticas entre as leguminosas para o mesmo parâmetro pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Por outro lado, o feijão-de-porco destacou-se pelos maiores valores biométricos aos 49 DAS, seja em altura, comprimento radicular, biomassa seca radicular ou número de nódulos. Estes resultados evidenciam a manutenção da atividade simbiótica e maior tolerância ao indaziflam no solo. E o comportamento



satisfatório dessa espécie nestas condições corrobora com Ferraço *et al.* (2017), que também verificaram a tolerância dessa cultura ao herbicida sulfentrazone, reforçando sua capacidade de mitigar efeitos tóxicos no solo.

Essas diferenças reforçam a importância do planejamento adequado e do manejo sustentável na sucessão de culturas na presença de pesticidas persistentes, principalmente pelos impactos negativos em organismos não-alvo presentes nos agroecossistemas.

## 6. CONCLUSÃO

A elevada sensibilidade da crotalária ao indaziflam prejudicou o desenvolvimento de suas partes aérea e radicular, evidenciando o potencial impacto fitotóxico deste herbicida em culturas de sucessão. Apesar de não ser indicada na rotação em solos agrícolas com resíduos deste herbicida, esta espécie pode ser uma boa bioindicadora da presença de indaziflam em agroecossistemas.

Os baixos índices de desenvolvimento do amendoim e da mucuna-cinza indicaram uma tolerância limitada ao herbicida, reflexo principalmente dos danos causados aos seus sistemas radiculares, os quais resultaram na ausência de nodulação. Ambas as espécies responderam de forma distinta ao produto, sendo que o amendoim apresentou reduções mais acentuadas em seu crescimento e sistema radicular quando comparado à mucuna-cinza.

Por outro lado, o feijão-de-porco destacou-se como a leguminosa mais tolerante dentre as testadas, mantendo bom desenvolvimento vegetal e nodulação expressiva mesmo em solo com indaziflam. Logo, a espécie apresenta um potencial fitorremediador e torna-se uma alternativa sucessão de culturas em solos agrícolas com resíduos deste herbicida.

## 7. REFERÊNCIAS

- ALONSO, D. G.; OLIVEIRA, J. R. S.; HALL, K. E.; KOSKINEM, W. C.; CONSTANTIN, J.; Mislankar, S. Changes in sorption of indaziflam and three transformation products in soil with aging. **Geoderma**, v. 239-240, p. 250-256, 2015.
- AMBROSANO, E. J.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMAS, E. A.; DIAS, F. L. F.; ROSSI, F.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T.; SACHS, R. C. C.; AZCÓN, R.; **Produtividade da cana-de-açúcar após o cultivo de leguminosas**. Campinas, v. 70, n. 4, p. 810–818, 2011.
- ASSIS, R. L.; PROCÓPIO, S. O.; CARMO, M. L.; PIRES, F. R.; CARGNELUTTI FILHO, A.; BRAZ, G. B. P. Fitorremediação de solo contaminado com o herbicida picloram por plantas de capim pé de galinha gigante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 11, p. 1131–1135, 2010.
- BARROSO, G.M.; SANTOS, E.A.; PIRES, F.R.; GALON, L.; CABRAL, C.M.; SANTOS, J.B.; Phytoremediation: A green and low-cost technology to remediate herbicides in the environment. **Chemosphere**, v. 334, 2023.
- BRABHAM, C.; LEI, L.; YING, G.; STORK, J.; BARRETT, M.; DEBOLT, S. Indaziflam herbicidal action: a potent cellulose biosynthesis inhibitor. **Plant Physiology**, v. 166, p. 1177–1185, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.114.241950>
- BROSNAN, J. T.; MCCULLOUGH, P. E.; BREEDEN, G. K. Smooth crabgrass control with indaziflam at various spring timings. **Weed Technology**, v. 25, n. 3, p. 363–366, 2011.
- CAMESELLE, C.; CHIRAKKARA, R. A.; REDDY, K. R. Electrokinetic-enhanced phytoremediation of soils: status and opportunities. **Chemosphere**, v. 93, n. 4, p. 626–636, 2013.
- CONAB. **Portal de informações agropecuárias**. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-cana-de-acucar.html>. Acesso em: 8 out. 2025.
- CONCIANI, P. A.; MENDES, K. F.; SOUSA, R. N.; RIBEIRO, A. P.; PIMPINATO, R. F. Peanut and sorghum are excellent phytoremediators of <sup>14</sup>C-tebuthiuron in herbicide contaminated soil. **Advances in Weed Science**, v. 41, 2023.
- CONCIANI, P. A.; MENDES, K. F.; SOUSA, R. N.; RIBEIRO, A. P.; PIMPINATO, R. F.; TORNISIELO, V. L. Peanut and sorghum are excellent phytoremediators of <sup>14</sup>C-tebuthiuron in herbicide-contaminated soil. **Journal of the Brazilian Weed Science Society**, v. 41, 2022.
- CORREIA, N. M. Herbicidas. **Informe Agropecuário: Proteção química da lavoura**, Belo Horizonte, v. 42, n. 315, p. 48–58, 2021.
- CRUZ, V. H.; MOREIRA, B. R. A.; VALÉRIO, T. S.; FRIAS, Y. A.; SILVA, V. L.; MORAIS, E. B.; VASCONCELOS, L. G.; TROPALDI, L.; PRADO, E. P.; MONTAGNOLLI, R. N.; LOPES, P. R. M. Leguminous plants and microbial inoculation:

an approach for biocatalytic phytoremediation of tebuthiuron in agricultural soil. **Agronomy**, v. 14, n. 12, 2024.

DA COSTA, F. C.; GONÇALVES, M. J. L.; PIMENTA, K. E. M.; INOUE, M. H. Biorremediação e fitorremediação do herbicida 2,4-D e glyphosate – revisão de literatura. **ARACÊ**, v. 7, n. 11, p. e10035, 2025. DOI: <https://doi.org/10.56238/arev7n11-184>. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/10035>. Acesso em: 24 fev. 2026.

DIAS, R. C.; GOMES, D. M.; ANUNCIATO, V. M.; BIANCHI, L.; SIMÕES, P. S.; CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D. Seleção de espécies bioindicadoras para o herbicida indaziflam. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 18, n. 2, p. 650-1-11, 2019.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Amendoim BRS 151 L7: recomendações de cultivo. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2010.

FERRAÇO, M.; MONQUERO, P. A.; SILVA, P. V.; INÁCIO, M. F. Tolerância de adubos verdes ao sulfentrazone visando à fitorremediação de solos. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 60, n. 4, p. 306-312, 2017.

FERREIRA, L. C.; MOREIRA, B. R. A.; MONTAGNOLLI, R. N.; PRADO, E. P.; VIANA, R. S.; TOMAZ, R. S.; CRUZ, J. M.; BIDOIA, E. D.; FRIAS, Y. A.; LOPES, P. R. M. Green manure species for phytoremediation of soil with tebuthiuron and vinasse. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 8, p. 613–642, 2021.

FONTANETTI, A.; SALGADO, G. C.; GALVÃO, J. C. C. Controle de plantas daninhas: métodos físico, mecânico, cultural, biológico e alelopatia. Viçosa: UFV, 2014.

FRIAS, Y. A.; LIMA, E. W.; ARAGÃO, M. B.; NANTES, L. S.; MOREIRA, B. R. A.; LOPES, P. R. M. *Mucuna pruriens* cannot develop phytoremediation of tebuthiuron in agricultural soil with vinasse: a morphometrical and ecotoxicological analysis. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 11, 2023.

GHIRARDELLO, G. A.; ARAÚJO, L. S.; SILVA, G. S.; SILVA, A. F. M.; CAMPOS, L. H. F.; VICTORIA FILHO, R. Efficacy of the herbicides indaziflam and clomazone on problematic weeds of family Poaceae to sugarcane crop. **Bioscience Journal**, v. 38, 2022.

GUERRA, N.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA NETO, A. M.; BRAZ, G. B. P. Aminocyclopyrachlor e indaziflam: seletividade, controle e comportamento no ambiente. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n. 3, p. 285–295, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.7824/rbh.v12i3.246>

GUERRA, N.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. B.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA NETO, A. M.; GAMELLI, A.; PEREIRA JÚNIOR, D. M.; GUERRA, A. Persistence of biological activity and leaching potential of herbicides aminocyclopyrachlor and indaziflam in soils with different textures. **Planta Daninha**, v. 34, n. 2, p. 345–355, 2016.

JHALA, A. J.; RAMIREZ, A. H. M.; SINGH, M. Leaching of indaziflam applied at two rates under different rainfall situations in Florida Candler soil. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 88, p. 326–332, 2012.

KAAPRO, J.; HALL, J. Indaziflam, a new herbicide for pre-emergent control of weeds. **Pakistan Journal of Weed Science Research**, v. 18, p. 267–270, 2012.

LEON, R. G.; UNRUH, J. B.; BRECKE, B. J. Relative lateral movement in surface soil of amicarbazone and indaziflam. **Weed Technology**, v. 30, n. 1, p. 229–237, 2016.

LIMA, L. A. R.; SOUZA, R. C.; CUNHA, J. L. X. L.; FRANÇA, P. H. B.; RODRIGUES, G. N.; BULHÕES, L. E. L. Fitorremediação de tebutiuron por espécies de plantas tolerantes a herbicidas. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 17, n. 2, p. 1-17, 2024.

MAY, A.; SILVA, E. H. F. M.; SANTOS, M. S.; VIANA, R. S.; SANTOS, F. C.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. Uso do sorgo biomassa para biorremediação de ambientes contaminados. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, e95996770, 2020.

MELO, R. F.; DIAS, L. E.; ASSIS, I. R. Potencial de espécies de leguminosas para recuperação de solo contaminado por arsênio. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 3, p. 938–949, 2015.

NOGUEIRA, O. N.; OLIVEIRA, O. M.; MARTINS, C. A.; BERNARDIS, C. O. Utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 14, p. 2121, 2012.

PAIVA, M. C. G. Persistência e biorremediação do herbicida indaziflam em solos. 2025. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2025.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; SILVA, A. A.; PROCÓPIO, S. O.; FERREIRA, L. R. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 335–341, 2003.

RIBEIRO, et al. The unexplored challenge of indaziflam in agroecosystems. **Discover Soil**, v. 2, p. 78, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s44378-025-00097-6>

SAKAI, R. H. et al. Produção de cana-de-açúcar em sistema de rotação com adubos verdes. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, p. 913–916, 2007.

SEBASTIAN, D. J.; CLARK, S. L.; NISSEN, S. J.; LAUER, D. K. Total vegetation control: a comprehensive summary of herbicides. **Weed Technology**, v. 34, p. 155–163, 2020. DOI: 10.1017/wet.2019.94

SEBASTIAN, D. J.; FLEMING, M. B.; PATTERSON, E. L.; SEBASTIAN, J. R.; NISSEN, S. J. Indaziflam: a new cellulose-biosynthesis-inhibiting herbicide provides long-term control. **Pest Management Science**, v. 73, p. 2149–2162, 2017.

SILVA, R. O.; BOTEON, B. F.; GUIDETTE, L. G. C.; SCHEDENFFELDT, B. F.; SILVA HIRATA, A. C.; MONQUERO, P. A. Potential of green manure in the phytoremediation of the herbicide indaziflam after different times of application. **Australian Journal of Crop Science**, v. 17, n. 8, p. 645-652, 2023.

SOUZA, L. A. Potencial fitorremediador de leguminosas herbáceas associadas a fungos micorrízicos arbusculares em solo contaminado com chumbo. 2010. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

VASCONCELOS, M. C. C.; SILVA, A. F. A.; LIMA, R. S. Interferência de plantas daninhas sobre plantas cultivadas. **ACSA – Agropecuária do Semiárido**, v. 8, n. 1, p. 1–6, 2012.

VICTORIA FILHO, R.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Manejo de plantas daninhas e produtividade da cana. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 1, p. 32–37, 2004.