

INSTITUTO FEDERAL DO PARANÁ
HIGOR DOS SANTOS

POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE FEIJOEIRO ORIUNDAS DE
POPULAÇÕES DE PLANTAS SUBMETIDAS A SUBDOSES DE 2,4-D

IVAIPORÃ
2023

HIGOR DOS SANTOS

**POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE FEIJOEIRO ORIUNDAS DE
POPULAÇÕES DE PLANTAS SUBMETIDAS A SUBDOSES DE 2,4-D**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná, como requisito parcial de avaliação para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Denis Santiago da Costa

IVAIPORÃ
2023

FOLHA DE APROVAÇÃO

Higor dos Santos

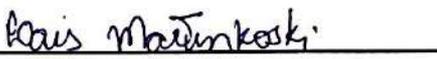
POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE FEIJOEIRO COMUM ORIUNDAS DE POPULAÇÕES DE PLANTAS SUBMETIDAS A SUBDOSES DO HERBICIDA 2,4-D.

O presente trabalho em graduação foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:



Profª. Drª. Marcibela Stülp

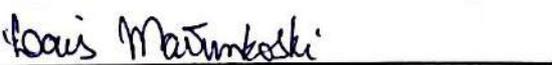
Instituto Federal do Paraná



Profª. Me. Laís Martinkoski

Instituto Federal do Paraná

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônoma pelo Instituto Federal do Paraná, Campus Ivaiporã.



Coordenação do Curso Engenharia Agrônoma

Profª. Me. Laís Martinkoski

Siape: 1227192



Prof. Dr. Denis Santiago da Costa

Siape: 1400880

Ivaiporã, 2023

Dedico esse trabalho aos meus
pais, Samuel e Luciana.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus pelo dom da vida, a minha família que sempre esteve presente, me apoiando incondicionalmente em cada etapa até aqui, seu amor, incentivo e paciência foram fundamentais para minha perseverança e sucesso neste trabalho. Vocês são minha fonte de inspiração constante, sou grato por ter uma base tão sólida em minha vida.

Aos meus amigos, Rodolfo, Wily, Nathan, Gabriel Pypcak, Maria Isabel, Andressa, Leticia, Matheus Forner, Thiago e João Paulo e aos outros colegas de turma que caminharam lado a lado comigo durante essa jornada acadêmica, tenho a vocês a minha gratidão, estiveram sempre presentes me motivando, compartilhando risadas, conselhos e apoio, trocando experiências e também momentos de estresse.

Queria deixar a minha gratidão a família Barbosa, especialmente ao Sr. Naor por disponibilizar a área para o experimento, não posso deixar de agradecer o meu orientador o Prof. Dr. Denis Santiago da Costa, cuja sabedoria e orientação foram essenciais para o desenvolvimento do meu TCC, você é uma referência de professor a ser seguido. Sou grato por sua dedicação e por investirem tempo na minha aprendizagem.

Aos professores, quero expressar minha gratidão pela paixão e dedicação que vocês demonstram em sua missão de educar e inspirar. Vocês compartilharam seu conhecimento, experiência e visão de mundo conosco, desafiando-nos a pensar de forma crítica, explorar novas ideias e superar nossos limites.

Agradeço também ao Instituto Federal do Paraná que me proporcionou a realização desse trabalho, por oferecer um ambiente propício suporte técnico e recursos disponíveis e ter essa excelência acadêmica que me proporcionou buscar o melhor de mim.

Agradeço a todos os servidores que trabalham nos bastidores, cuidando das instalações, da segurança e de tantos outros aspectos importantes. Seu trabalho diligente e muitas vezes invisível é o alicerce sobre o qual toda a nossa comunidade acadêmica se sustenta. Agradeço por sua contribuição para criar um ambiente seguro, limpo e acolhedor para todos nós. Sei que é só o começo de uma jornada repleta de desafios e conquista, e levo comigo as lições aprendidas e compartilhadas nesse momento especial.

“A descoberta consiste em ver
o que todos viram e pensar no que
ninguém pensou”.
Albert Szent-Gyorgyi.

RESUMO

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das principais culturas produzidas no Brasil e no mundo, sendo um dos componentes em dietas mais significativas da população brasileira. Para o aumento da produtividade das lavouras, técnicas de uso de subdoses de herbicidas têm sido aplicadas para melhorar arquitetura de plantas e otimizar o processo de fotossíntese. Por outro lado, o feijoeiro é muito suscetível a alteração da arquitetura das plantas quando cultivado sob diferentes populações. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial fisiológico de sementes de feijoeiro oriundas de diferentes populações de plantas submetidas a subdoses do herbicida 2,4-D. As sementes foram obtidas a partir de um ensaio foi realizado a campo no município de Ivaiporã-PR. O delineamento experimental usado a campo foi o blocos ao acaso com 8 tratamentos obtidos através do arranjo fatorial 4 x 2, sendo 4 subdoses de 2,4-D (0%, 1%, 2% e 10%) do produto comercial U46 Prime e duas populações de 24 plantas m⁻² e 36 plantas m⁻². No experimento, foram avaliadas a germinação, envelhecimento acelerado, condutividade elétrica, emergência das plântulas em casa de vegetação e índice de velocidade de emergência. É possível concluir que para a população de plantas de 24 plantas/m², ocorreu incremento na germinação na subdose de 4,96%, entretanto para o envelhecimento acelerado houve redução. Para a população de 36 plantas/m² teve efeito positivo no parâmetro de envelhecimento acelerado onde na subdose de 5,24% teve incremento na germinação, porém, ocorreu redução para a condutividade elétrica, emergência e índice de velocidade de emergência.

Palavras-chaves: germination; vigor; aplicação; herbicida; hormese.

ABSTRACT

The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is one of the main crops produced in Brazil and in the world, being one of the components in the most significant diets of the Brazilian population. In order to increase crop productivity, techniques for the use of low doses of herbicides have been applied to improve plant architecture and optimize the photosynthesis process. On the other hand, common bean is very susceptible to changes in plant architecture when cultivated under different populations. The present work aimed to evaluate the physiological potential of common bean seeds from different populations of plants subjected to low doses of the herbicide 2,4-D. The seeds were obtained from a field trial in the municipality of Ivaiporã-PR. The experimental design used in the field was randomized blocks with 8 treatments obtained through a 4 x 2 factorial arrangement, with 4 subdoses of 2,4-D (0%, 1%, 2% and 10%) of the commercial product U46 Prime and two populations of 24 plants m⁻² and 36 plants m⁻². In the experiment, germination, accelerated aging, electrical conductivity, seedling emergence in a greenhouse and emergence speed index were evaluated. It is possible to conclude that for the plant population of 24 plants/m², there was an increase in germination at the subdose of 4.96%, however for accelerated aging there was a reduction. For the population of 36 plants/m², it had a positive effect on the accelerated aging parameter, where at a subdose of 5.24% there was an increase in germination, however, there was a reduction in electrical conductivity, emergence and emergence speed index.

Keywords: germination; vigor; application; herbicide; hormesis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Avaliação de umidade	16
Figura 2- Avaliação de germinação de plântulas.....	17
Figura 3- Teste de envelhecimento acelerado.....	18
Figura 4- Avaliação de condutividade elétrica.	19
Figura 5- Teste de emergência e Índice de velocidade de emergência.	20
Figura 6- Modelo de regressão para a avaliação da porcentagem de germinação (GERM).....	33
Figura 7- Modelo de regressão para a avaliação da porcentagem de germinação submetida ao envelhecimento acelerado (EA).....	35
Figura 8- Modelo de regressão para avaliação da condutividade elétrica (CE).....	37
Figura 9- Modelo de regressão para a avaliação de emergência (EM)	38
Figura 10- Modelo de regressão para a avaliação de Índice de velocidade de emergência (IVE)	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas e físicas da amostra (0 - 20 cm) do solo da área experimental.....	13
Tabela 2. Tratamentos estabelecidos para testar potencial fisiológico de sementes de sementes de feijoeiro oriundas de populações de plantas submetidas a subdoses de 2,4-D	15
Tabela 3- Análise de variância para as características de germinação (GERM), envelhecimento acelerado (EA), condutividade elétrica (CE), emergência (EMERG) e índice de velocidade de emergência (IVE).....	31

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 HIPÓTESE	12
1.2 OBJETIVOS	12
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	12
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2 DESENVOLVIMENTO	13
2.1 METODOLOGIA.....	13
2.1.1 Área experimental	13
2.1.2 Implantação da cultura e tratos culturais	14
2.1.3 Delineamento experimental e tratamentos	15
2.1.4 Parâmetros avaliados.....	15
2.1.5 Análise estatística dos dados	20
2.2 REVISÃO DE LITERATURA	21
2.2.1 Origem e importância econômica do feijão	21
2.2.2 Botânica, aspectos morfológicos do feijão	22
2.2.3 Populações de plantas de feijão.....	24
2.2.4 Estresses fisiológicos e hormesis.....	24
2.2.5 Uso do 2,4-D	28
2.2.6 Potencial fisiológico das sementes e produtividade	29
2.3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	31
3 CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

Para o aumento da produtividade das lavouras, algumas técnicas de controle de crescimento das plantas têm sido aplicadas para fins de melhoria da arquitetura da planta resultando em maior eficiência fotossintética bem como maior arejamento no interior das lavouras desfavorecendo a formação de microclima que pode ser benéfico para o desenvolvimento de patógenos.

Em algumas plantas é comum haver a capacidade adaptativa de raízes, caules, ramos e folhas conforme ocorre a variação na população de plantas. Essa adaptação ocorre mediante ausência ou incremento de competição por água, luz, nutrientes e espaço. Portanto, quando há o manejo de população de plantas ocorre a manipulação do grau de competição intraespecífica que vai afetar diretamente as alterações morfológicas em plantas.

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das principais culturas produzidas no Brasil e no mundo sendo um dos componentes em dietas mais significativas da população brasileira, tendo significado cultural na culinária de várias nações e culturas. Durante seu cultivo, conforme a indicação para cada cultivar, a população de plantas de feijoeiro comum pode variar por ocasião da recomendação ou por causa dos intemperes que resultam e morte de plantas no campo resultando em alterações morfológicas da parte aérea.

Desse modo, a manipulação da população de plantas juntamente com o uso de reguladores de crescimento pode ser uma técnica positiva para a produção de grãos de feijão por modular o crescimento da parte aérea sob diversas situações. Todavia, quando se pensa na produção comercial de sementes, é necessário de que, além com o cuidado da manutenção de elevadas produtividades, se faça um olhar cuidadoso quanto as características de germinação e vigor das sementes.

O herbicida 2,4 - D tem sido amplamente estudado como um potencial produto modulador do crescimento de plantas por ocasião de se tratar de um herbicida do grupo dos mimetizadores da auxina. A auxina é um hormônio vegetal que atua no controle de movimentos das plantas, formação de raízes e crescimento de parte aérea.

Esse herbicida, quando aplicado em subdoses provoca nas plantas um efeito fisiológico chamado de hormese, onde quando há doses muito pequena é possível

verificar alterações na fisiologia da planta.

Portanto, o estudo de aplicação de subdoses para modulação da arquitetura das plantas tem grande potencial de incrementar a produtividade do feijoeiro, no entanto, estudos são necessários para investigar se também essas subdoses podem ter um efeito residual na planta sendo danosa para a qualidade das sementes produzidas.

1.1 HIPÓTESE

As sementes de feijoeiro oriundas da produção sob populações de plantas distintas submetidas a aplicação de subdoses de 2,4-D a campo não tem sua germinação e vigor afetada.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito da aplicação de subdoses do herbicida 2,4-D à campo em duas populações de plantas de feijoeiro no potencial fisiológico de sementes de feijão.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o potencial fisiológico de sementes de feijoeiro como: germinação, envelhecimento acelerado, condutividade elétrica, emergência e índice de velocidade de emergência.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 METODOLOGIA

2.1.1 Área experimental

O ensaio foi realizado na propriedade Barbosa situada no município de Ivaiporã-PR em latitude 24° 15' 42.8"S e longitude 51° 40' 33.2"W com precipitação registrada 170; 210; 170; 110 mm e temperatura média de 23; 23,5; 23,2; 22,7°C respectivamente durante os meses de dezembro de 2022 a março de 2023, sendo este o tempo de duração do ensaio. O clima predominante no local é do tipo "Cfa" de clima úmido temperado com verões quentes segundo a classificação climática de Köppen-Geiger (ALVARES *et al.*, 2013). O solo da área é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distróférrico, segundo Santos *et al.* (2018), e antes da instalação do experimento, o solo do local foi amostrado, na camada 0,0 - 0,2 m, e os resultados da análise de fertilidade do solo se encontra na (Tabela 1).

Tabela 1. Características químicas e físicas da amostra (0 - 20 cm) do solo da área experimental.

Profundidade	C	MO	N	pH (CaCl ₂)	Al	K	Ca	Na
cm	-----%		-----	-	----- cmol _c dm ⁻³ -----			
0-20	-	3,1	-	4,8	0,20	0,39	4,5	-
Profundidade	SB	CTC	H+ AL	V	m			
cm	----- cmol _c dm ⁻³ -----		-----	----- % -----				
0-20	6,5	6,7	-	55	3			

Centímetros (cm); Carbono (C); Matéria orgânica (MO); Nitrogênio (N); Potencial hidrogeniônico (pH); Cloreto de cálcio (CaCl₂); Alumínio (Al); Potássio (K); Cálcio (Ca); Sódio (Na); Soma de bases (SB); Capacidade de troca de cátions pH 7,0 (CTC); Hidrogênio + Alumínio (H+AL); Saturação por bases (V); Saturação de alumínio (m);

2.1.2 Implantação da cultura e tratos culturais

A semeadura do feijão foi feita manualmente, no dia 27 de dezembro de 2022, usando a cultivar de feijão AgroNorte Anfc 9, planta do tipo II, planta com hábito de crescimento indeterminado ereto, com planta pouco ramificada, ereta e fechada, do grupo carioca, cor de semente bege claro com a forma elíptica e o peso de mil sementes de 274,9 g. Para a semeadura, as sementes foram distribuídas na densidade de vinte plantas por metro linear, com o espaçamento de 0,5 m entre linhas e profundidade de plantio de 3 cm. A emergência ocorreu no dia 03 de janeiro de 2023 e após 15 dias da data de semeadura, foi realizado o raleio nas linhas para obtenção de duas populações de plantas: 24 plantas/m² e 36 plantas/m².

Para este ensaio as sementes foram previamente submetidas ao tratamento “on farm” antes da semeadura utilizando o inseticida Shelter® (Fipronil) 2 mL kg⁻¹ de sementes, fungicida Kilate® (Captana, Carbendazim) 3 mL kg⁻¹ de sementes e o enraizador Bean Seed® (Polímeros vegetais: P/P: 3,00%, P/V: 30,00 g/L.) 2 mL kg⁻¹ de sementes. A adubação de base nos sulcos de semeadura foi constituída de 150 kg ha⁻¹ da fórmula 18-20-20 e 388 kg ha⁻¹ de super simples (20% de P₂O₅, 16% de cálcio e 10% de enxofre).

As plantas daninhas foram controladas de forma manual, utilizando a enxada o monitoramento de pragas e doenças foi realizado semanalmente, e quando necessário foi realizado o controle com o produto comercial Pirate® (Clorfenapir), visando o controle de Mosca – Branca (*Bemisia tabaci*), Tripes (*Caliothrips brasiliensis*) e Vaquinha Verde e Amarela (*Diabrotica speciosa*).

Para constituição dos tratamentos de subdoses de 2,4 – D, no estágio fenológico V₄₋₄ (quarta folha trifoliada completamente formada), foi realizada a aplicação de 2,4-D, produto comercial U46 Prime® (2,4-diclorofenoxiacético), com o auxílio de um pulverizador costal manual, com bico do modelo JD-12P, operado à pressão de 3 kg/cm⁻¹, com volume de calda de 200 L ha⁻¹ e uma velocidade de 1 m/s⁻¹. No ensaio a aplicação do 2,4-D foi realizada em horário com temperaturas mais amenas, e baixa interferência do vento, entre as 7:00 e 8:30 da manhã.

2.1.3 Delineamento experimental e tratamentos

A colheita do ensaio de campo ocorreu em 30 de março de 2023 de forma manual através da remoção das plantas inteiras das parcelas experimentais (duas linhas centrais, desprezando-se 0,50 m da extremidade de cada uma delas). Em seguida as plantas foram secas ao sol por três dias e submetida a debulha manual.

A partir das sementes obtidas a campo, adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) com 4 repetições e 8 tratamentos foram selecionados para o estudo da qualidade das sementes, sendo eles quatro subdoses de 2,4-D (0, 1%, 2% e 10%) do produto comercial U46 Prime e duas populações de plantas 24 plantas/m² e 36 plantas/m² (Tabela 2).

Tabela 2. Tratamentos estabelecidos para testar potencial fisiológico de sementes de sementes de feijoeiro oriundas de populações de plantas submetidas a subdoses de 2,4-D

Tratamentos	População de plantas/m ²	Dose/ha	Estádio Fenológico
		% do produto comercial	
1	24	0	V ₄₋₄ *
2	24	1	V ₄₋₄ *
3	24	2	V ₄₋₄ *
4	24	10	V ₄₋₄ *
5	36	0	V ₄₋₄ *
6	36	1	V ₄₋₄ *
7	36	2	V ₄₋₄ *
8	36	10	V ₄₋₄ *

*V₄₋₄=(Quarta folha trifoliada completamente formada) - Estádio Vegetativo, mais de 50% das plantas encontram-se nessa fase.

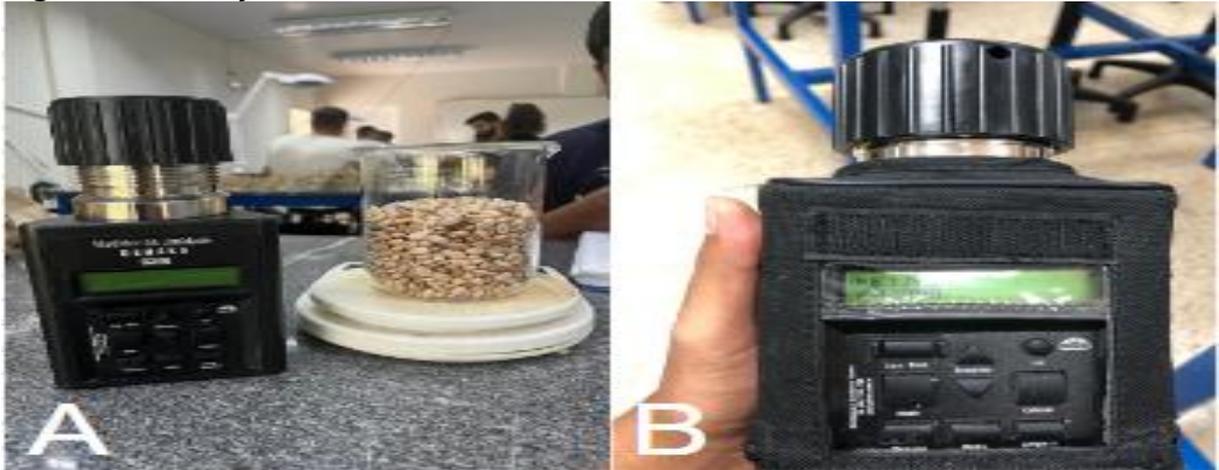
2.1.4 Parâmetros avaliados

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Sementes e Plantas Daninhas do Instituto Federal de do Paraná, campus de Ivaiporã, PR, durante os meses de abril a maio de 2023, sendo as amostras submetidas às seguintes avaliações:

a. Grau de umidade das sementes

Determinado conforme metodologia prescrita nas Regras para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009) utilizou-se o medidor digital (Figura 1A), onde foram feitas três repetições de medições para obter a média de umidade das sementes (Figura 1B).

Figura 1- Avaliação de umidade

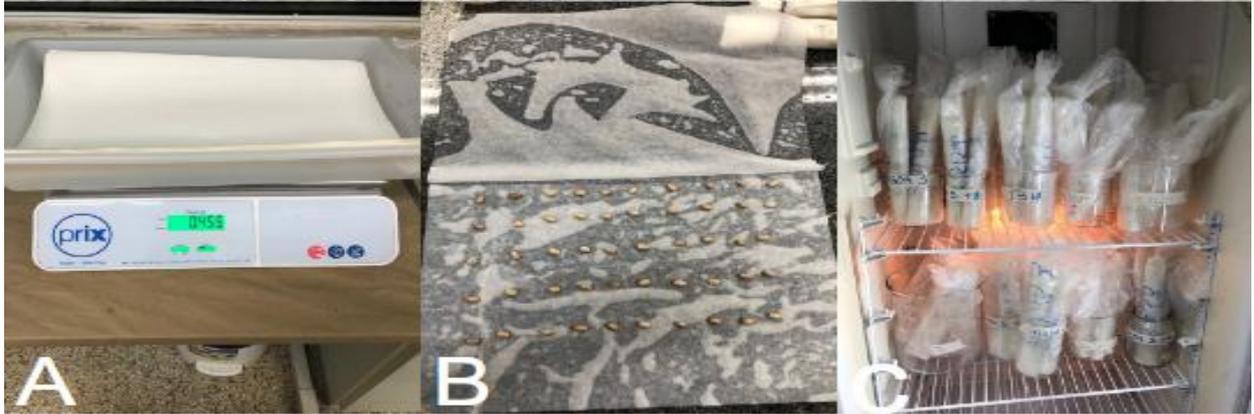


Fonte: Autor, 2023.

b. Germinação

Determinado a partir de quatro repetições de 50 sementes, tendo como substrato o rolo de papel “Germitest” (Figura 2B) umedecido com água destilada no volume de 2,5 vezes o peso do papel (Figura 2A). As sementes foram colocadas para germinar na Biochemical Oxygen Demand (BOD) previamente regulada à temperatura constante de 25 °C (Figura 2C). A avaliação da germinação foi realizada no quinto e nono dia após instalação do teste por meio de contagem das plântulas consideradas normais, segundo critérios estabelecidos pelas RAS (BRASIL, 2009).

Figura 2- Avaliação de germinação de plântulas



Fonte: Autor, 2023.

c. Envelhecimento acelerado

Para o envelhecimento acelerado, foram distribuídas 200 sementes por tratamento sobre a superfície de uma tela metálica fixada e suspensa no interior de caixa plástica tipo gerbox com tela de aço inoxidável, contendo 40 mL de água (Figura 3A) destilada, mantida a 41°C e 100% de umidade relativa, por 48 h na câmara de envelhecimento (Figura 3B) (KRZYZANOWSKI *et al.*, 1999).

Decorrido esse período, as sementes foram retiradas da câmara e postas para germinar nas mesmas condições descritas para o teste de germinação (Figura 3C), no qual se determinou a porcentagem de plântulas normais no quinto dia após a instalação do teste e os resultados expressos em porcentagem (KRZYZANOWSKI *et al.*, 1999).

Figura 3- Teste de envelhecimento acelerado.

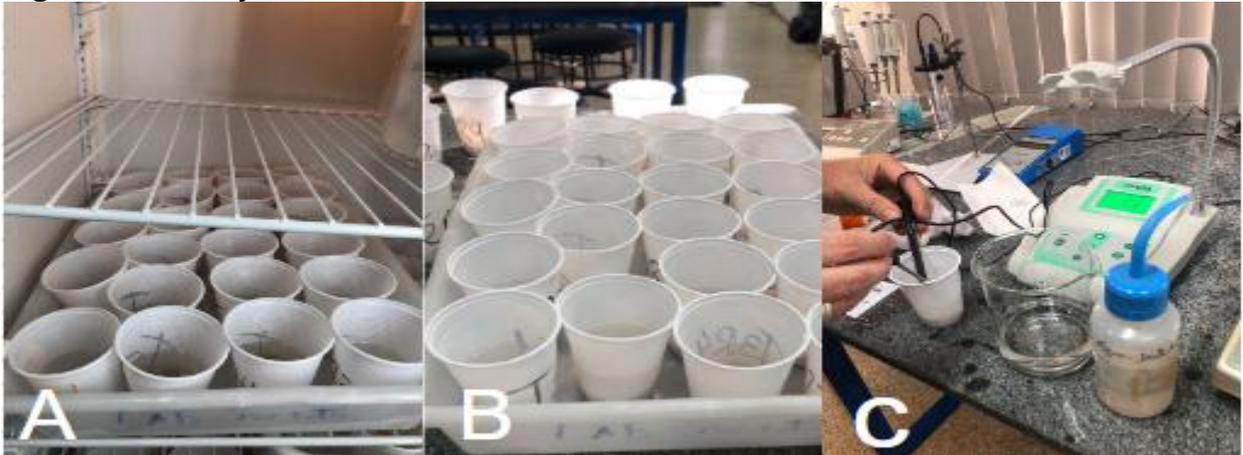


Fonte: Autor, 2023.

d. Condutividade elétrica das sementes

Determinado com quatro repetições de 50 sementes por tratamento (Figura 4A), sendo pesadas em uma balança do tipo Pnix Toledo 9094 Plus, e acondicionadas em copos de plástico descartáveis, com capacidade para 200 mL, contendo 75 mL de água deionizada. Logo após, os copos foram levados para câmara BOD, regulada à temperatura de 25°C e as leituras realizadas após o período de 24 horas de embebição, utilizando condutímetro do tipo Simpla EC 150, a partir da coleta dos dados, os mesmos foram divididos pelo peso das 50 sementes e assim os resultados foram expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ (KRZYZANOWSKI *et al.*, 1999).

Figura 4- Avaliação de condutividade elétrica.



Fonte: Autor, 2023.

e. Emergência de plântulas em casa de vegetação

Determinado com quatro repetições de 20 sementes por tratamento. As sementes foram semeadas no dia 19 de maio de 2023, semeadas em vasos de 3 litros com substrato feito com terra e areia na proporção de 2:1, semeadas a 3 cm de profundidade, os vasos foram posicionados de forma casualmente aleatório em cima da bancada onde foi realizada a rega diariamente

A porcentagem de plântulas normais emergidas foi computada no décimo quinto dia após a semeadura. As contagens foram diárias e se considerou como plântula normal, as que possuíram cotilédones totalmente expandidos, epicótilo e plúmula evidentes.

f. Índice de velocidade de emergência

O índice de velocidade de emergência foi conduzido em conjunto com o teste de emergência de plântulas (Figura 5A e 5B), anotando-se diariamente, no mesmo horário, o número de plântulas que apresentaram alça cotiledonar visível. Ao final do teste, foi calculado o índice de velocidade de emergência, empregando-se a fórmula proposta por (MAGUIRE, 1962).

A velocidade de emergência foi avaliada por meio da contagem das plântulas emergidas aos 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15 dias após a semeadura, as fórmulas usadas para cálculo do índice de velocidade de emergência e velocidade de emergência foram propostas por Maguire (1962), as quais são apresentadas a seguir: $IVE = (G1/N1) + (G2/N2) + \dots + (Gn/Nn)$, em que: IVE = índice de velocidade de emergência; G = número de plântulas normais computadas nas contagens; N = número de dias da semeadura à 1ª, 2ª... 15ª avaliação.

Figura 5- Teste de emergência e Índice de velocidade de emergência.



Fonte: Autor, 2023.

2.1.5 Análise estatística dos dados

Os dados referentes aos ensaios foram analisados por meio da análise de variância usando o software R Studio por meio do pacote exp.des. Inicialmente os dados foram testados quanto as pressuposições do modelo estatístico por meio da aplicação dos testes de Shapiro-Wilk (normalidade). Para as subdoses de 2,4-D, considerou-se ajustes polinomiais de primeira e segunda ordem sendo o nível de significância adotado para o teste F de 5%. As comparações de médias entre as populações de plantas foram realizadas por meio do teste de Tukey a 5%.

2.2 REVISÃO DE LITERATURA

2.2.1 Origem e importância econômica do feijão

O gênero *Phaseolus* teve início na região das Américas, onde existem cerca de 55 espécies, sendo a espécie mais importante o feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.), essa importância tem relação por ser a espécie mais antiga a ser cultivada e por sua ampla utilização em cinco continentes (CARNEIRO *et al.*, 2015).

Na atualidade, o mais aceitável é que o feijão teve a domesticação em dois centros relevantes e um terceiro de menor relevância (GEPTS; DEBOUCK, 1991). O primeiro centro relevante está na América Central, na região do México, onde se caracteriza a origem das cultivares que tem os grãos pequenos, como o Carioca (CARNEIRO *et al.*, 2015).

A segunda está situada no sul dos Andes, principalmente no norte da Argentina e no sul do Peru, e é onde surgiram grandes cultivadores de sementes semelhantes a cultivar Jalo, bastante conhecida no estado de Minas Gerais. Depois de numerosos estudos usando faseolina, a principal proteína de reserva da semente de feijão, foi possível dizer que a Colômbia é a terceira área de domesticação, provavelmente intermediária entre as duas (CARNEIRO *et al.*, 2015).

O *Phaseolus vulgaris* L, é uma leguminosa cultivada em quase todo o mundo cerca de 130 países plantam o produto para abastecer o mercado interno e externo. Os dados mostram que a produção global média para o período 2017-19 foi de 30,1 milhões de toneladas (SALVADOR *et al.*, 2021). Os seis principais países que produzem fibras de cor escura juntos respondem, em média, por 64% da produção global são: Índia (20%), Mianmar (19%), Brasil (10%), Estados Unidos (4%), México (4%), Tanzânia (4%) e China (4%). Os principais centros de produção estão na Ásia, nas Américas (Sul e Norte) e na Europa. Com 10% do total global, o Brasil é o terceiro maior produtor e inclui todos os países nas estatísticas (SALVADOR *et al.*, 2021).

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2023) a estimativa no mês de março de 2023 que a produção de feijão no Brasil na safra 2022/2023 é de 2,9 milhões de toneladas e uma área destinada para a produção de 2,7 milhões de hectares teve uma redução de 2,9% em relação à safra de 2021/2022 que foi de 2,8 milhões de hectares.

A produção de feijão no Paraná na safra 2022/2023 teve uma estimativa de

680 mil toneladas, um decréscimo de produção de 9,3% em relação a safra de 2021/2022. No tocante da área de produção, também se verificou uma redução de 428 mil hectares na safra 2022/2023 quando de comparado a safra de 2021/2022 que teve uma área de produção de 479 mil hectares, ou seja, uma queda de 10,8% (CONAB, 2023).

2.2.2 Botânica, aspectos morfológicos do feijão

O feijoeiro é uma planta anual herbácea que apresenta folhas trifoliadas. Seu ciclo de vida varia entre 70 e 120 dias, possui hábito de crescimento determinado ou indeterminado (CARNEIRO *et al.*, 2015).

O feijão apresenta um sistema radicular ramificado, com uma raiz principal pivotante que se desenvolve verticalmente em busca de água e nutrientes no solo. A raiz principal é responsável por produzir raízes secundárias, que se ramificam a partir dela e se espalham horizontalmente em busca de recursos no solo. Essas raízes secundárias, por sua vez, podem produzir raízes terciárias e assim por diante, o comprimento máximo das raízes do feijão pode chegar a até 20 cm (CARNEIRO *et al.*, 2015).

O caule é uma parte fundamental da estrutura da planta, sendo responsável por sustentar as folhas, flores e frutos. Ele funciona como um eixo principal, a partir do qual surgem os ramos ou ramificações. Nos nós do caule, que são os pontos de inserção das folhas, é onde se originam os ramos primários, que por sua vez, produzem os ramos secundários e assim sucessivamente, formando uma estrutura ramificada (COSTA, 2021). O feijoeiro apresenta dois tipos de folhas, que são as simples e as compostas as folhas simples são aquelas que se originam diretamente do embrião da planta, enquanto que as demais são do tipo trifoliado, composto por três folíolos (COSTA, 2021).

A flor do feijoeiro é constituída pelo cálice e pela corola. O cálice apresenta uma coloração verde, enquanto que a corola é formada por cinco pétalas que podem variar entre as cores branca, rosada ou violácea. A estrutura das pétalas é composta pelo estandarte, que é a pétala maior, e pelas asas, que são duas pétalas menores (COSTA, 2021).

Os frutos do feijoeiro são caracterizados como legumes, apresentando o formato de vagem. Esses legumes são compostos por duas valvas, que são unidas

por duas suturas, sendo elas a sutura dorsal e a ventral. As sementes do feijão são fixadas à sutura ventral dos legumes. Além disso, esses frutos são ricos em proteínas, o que faz do feijão uma importante fonte de nutrientes para o consumo humano (CARNEIRO *et al.*, 2015).

O feijoeiro apresenta quatro tipos de hábito de crescimento: Tipo I, determinado arbustivo, com planta pouco ramificada, ereta e fechada; Tipo II, indeterminado arbustivo, com ramificação ereta e fechada, caule ereto com poucos ramos laterais; Tipo III, indeterminado prostrado, com grande número de ramificações e plantas prostradas/semi-prostradas com ramificações desenvolvidas; e Tipo IV, indeterminado trepador, com baixo número de ramos laterais em cada nó e ciclo mais longo (CARNEIRO *et al.*, 2015).

Cada tipo apresenta características específicas, como a uniformidade de maturação de vagens, a capacidade de compensação em baixas populações de plantas, o período de florescimento e a altura das plantas. De acordo com Rasera & Castro (2020) a germinação refere-se ao surgimento de uma nova planta. Isso inclui todos os eventos fisiológicos, desde o plantio das sementes até o comprimento da radícula que penetra nas estruturas próximas. No entanto, a absorção de água inicia as atividades metabólicas e celulares do grão.

O que ocorre no início da fase de germinação, as sementes absorvem água, ocorre assim que o tegumento das sementes é rompido pela superfície dos cotilédones, então ocorre o processo de hidratação dos tecidos e a hidrólise das substâncias de reserva. O amido as proteínas e as lipoproteínas transformam-se em moléculas mais simples que são transportadas para o centro de crescimento embrionário. No entanto, os cotilédones que alimentaram a planta durante toda a sua fase de germinação e crescimento inicial, esgotam suas reservas e após cumprirem sua função, destacam-se da plântula (VIEIRA; RAVA, 2000).

Isso porque sementes com baixo potencial fisiológico apresentam baixa taxa de germinação, plântulas de crescimento lento e fraco desenvolvimento radicular (NAKAO *et al.*, 2018). Além disso, o uso de sementes com baixa qualidade fisiológicas pode acabar dificultando o manejo da cultura e diminuindo a produtividade. Para garantir o estabelecimento da cultura, o desenvolvimento das plantas, a uniformidade e a produtividade da cultura, é fundamental a obtenção de sementes com alto vigor (DALTRO *et al.*, 2010).

2.2.3 Populações de plantas de feijão

O manejo adequado da cultura do feijão é crucial para alcançar um equilíbrio entre os fatores de produção, como cultivares, densidade de plantas e ambiente. Esse equilíbrio permite uma produtividade ótima com baixos custos de produção.

De acordo com Vieira *et al.* (2013) a densidade de plantas desempenha um papel significativo em vários aspectos do cultivo do feijão. Pode afetar a incidência de doenças e ervas daninhas, aumentar ou diminuir o acamamento, alterar os índices de colheita, influenciar a captação de água e nutrientes e alterar o gasto com sementes devido à distribuição espacial das plantas no campo. Esses são alguns dos fatores que podem ser influenciados pela densidade de plantas.

De acordo com Buso *et al.* (2014), existem estudos que mostram que o aumento da densidade populacional de plantas tem um efeito direto no aumento da produtividade. No entanto, outros argumentam que a produtividade não depende da densidade populacional de plantas. Mondo & Nascente (2018) afirmaram que a densidade de semeadura precisa ser bem equilibrada para cada cultivar, pois está diretamente relacionada a alguns componentes de produção, como o número de vagens por planta e o número de grãos por vagem.

Santos *et al.* (2014) descobriram que o efeito da densidade de semeadura variou de acordo com a cultivar. O aumento da densidade de semeadura levou a um aumento no rendimento de grãos até uma densidade de 305 mil plantas por hectare, mas a produtividade diminuiu além desse ponto. É importante notar que essas descobertas sugerem que a densidade populacional ótima pode variar de acordo com a cultura específica e as condições de cultivar.

2.2.4 Estresses fisiológicos e hormesis

O estresse fisiológico de plantas é um fenômeno complexo que afeta negativamente o crescimento e desenvolvimento das plantas. No entanto, as plantas possuem mecanismos de adaptação e resposta a esses estresses, o que pode ajudá-las a sobreviver em condições adversas.

Para tolerar o estresse, as plantas podem ativar diferentes mecanismos, como a produção de compostos antioxidantes e a regulação da expressão gênica, para proteger-se do estresse e manter seu crescimento (PANDEY *et al.*, 2015). Além disso, as plantas podem apresentar plasticidade fenotípica em resposta ao estresse,

a plasticidade fenotípica permite que as plantas se adaptem a diferentes condições ambientais, ajustando seu crescimento, desenvolvimento e metabolismo (FORTES; GALLUSCI, 2017).

Os hormônios vegetais são substâncias que controlam o crescimento e o desenvolvimento das plantas, sendo os mais importantes a auxina, a citocinina, o ácido abscísico, o etileno e o ácido giberélico.

Segundo Taiz *et al.* (2017) a auxina controla uma série de respostas de crescimento nas plantas, divisão e alinhamento celular, formação de raízes laterais, reações a estímulos ambientais como gravidade e luz e o desenvolvimento de tecido vascular. Além disso, a auxina desempenha um papel significativo no controle do crescimento de organismos como folhas, flores e frutas a fim de proporcionar crescimento adequado e adaptação ambiental, a distribuição e quantidade de auxinas são rigorosamente controladas nas plantas.

A giberelina, que atua na síntese de enzimas-chave essenciais para a degradação de reservas com destaque para α -amilase, a giberelina é um dos reguladores de crescimento essenciais para plantas em germinação, esse hormônio é produzido nas folhas jovens e raízes de uma planta (TAIZ *et al.*, 2017).

Segundo Taiz *et al.* (2017), a giberelina é um dos hormônios vegetais que pertence à classe dos diterpenóides tetracíclicos com um anel ent-giberelano que ocorrem naturalmente, e cujos efeitos biológicos se relacionam com a estimulação de divisão e alongamento celular, juntamente com outros efeitos específicos relacionadas com este tipo de substância.

Já a citocinina é importante para a divisão celular e a formação de novos tecidos, a citocinina é produzida nas raízes e nas gemas apicais e é transportada pelo xilema para as partes superiores da planta, onde estimula a divisão celular e a formação de novos brotos (TAIZ *et al.*, 2017).

O ácido abscísico (ABA) é um hormônio vegetal reconhecidamente importante no estabelecimento de mecanismos de tolerância de plantas a estresses abióticos. Dentre os mecanismos mais conhecidos está a indução do fechamento estomático (MUNEMASA *et al.*, 2015), o que, conseqüentemente leva à redução da transpiração em plantas submetidas às condições de baixa disponibilidade hídrica.

O etileno é um hormônio vegetal endógeno e gasoso que participa de diversos processos fisiológicos e de desenvolvimento, como a regulação do crescimento de órgãos e a indução do amadurecimento de frutas, além de estar

envolvido em múltiplas respostas ao estresse. Fatores bióticos e abióticos podem afetar a produção endógena de etileno nas plantas, afetando muitos dos mesmos processos que o etileno regula. Isso abre a possibilidade de manipular de forma racional a biossíntese de etileno, sinalização ou resposta para promover a adaptação da planta ao estresse, sem afetar negativamente o seu crescimento (CHEN *et al.*, 2021).

De acordo com Reis *et al.* (2021), nas plantas o efeito hormético produz vários estímulos dependendo do produto químico, da espécie e de como o produto se desenvolve na morfologia ou processo metabólico da planta. Uma resposta hormética pode resultar em um gasto para o organismo, o que pode impactar no desenvolvimento de uma característica diferente.

Hormesis é um fenômeno dose-resposta no qual baixas doses induzem estimulação e altas doses induzem inibição (VARGAS-HERNANDEZ *et al.*, 2017; AGATHOKLEOUS; CALABRESE, 2019a,b e AGATHOKLEOUS *et al.*, 2018). Hormesis normalmente pode ser usado como uma medida quantitativa da plasticidade biológica por meio de respostas a condições estressantes (AGATHOKLEOUS; CALABRESE, 2019a,b).

A alteração do sistema de defesa da célula e o metabolismo de ROS estão relacionados com os mecanismos comuns de hormesis em plantas (JALAL *et al.*, 2021). As ROS são moléculas sinalizadoras significativas envolvidas em uma variedade de atividades, altos níveis de ROS são prejudiciais para a membrana celular (GILL; TUTEJA, 2010). Espécies reativas de oxigênio (ROS) são produzidas em uma variedade de compartimentos celulares sob condições bióticas e abióticas estressantes. O papel que as ROS desempenham na sinalização da planta e na regulação de muitos processos celulares é crucial (QI *et al.*, 2017). Para entender o desempenho e o mecanismo potencial de uma planta exposta a metais, poluentes orgânicos ou outros desafios ambientais, a relação dose-resposta hormética tem sido usada como ferramenta científica (CALABRESE; AGATHOKLEOUS, 2021).

Herbicidas como o 2,4-D, glifosato e aplicação de paraquat em baixas concentrações controlam o crescimento vegetal pela produção de auxinas, defesa antioxidante, alteração anatômica e transportadores de cátions nas raízes (ISLAM *et al.*, 2017). Aplicados em subdoses os herbicidas promovem o desenvolvimento da planta (BELZ; DUKE, 2011), bem como processos enzimáticos e fisiológicos (Brito *et al.*, 2018). Herbicidas podem reduzir o estresse da planta em baixas concentrações

(CALABRESE; BLAIN, 2011), porém doses excessivas prejudicam o crescimento da planta (PERES *et al.*, 2017).

Os herbicidas têm como alvo sistemas específicos para melhorar a fisiologia, o ambiente e o crescimento da planta (BELZ; DUKE, 2011). Um herbicida seletivo à base de auxina conhecido como 2,4-D também é conhecido como regulador de crescimento, pois aumenta o crescimento da planta em dosagens mais baixas (AMERICO *et al.*, 2017). Segundo Tavares *et al.* (2017), o efeito hormético do 2,4-D está ligado à geração de auxina e seu modo de ação é demonstrado.

Enquanto maiores concentrações de 2,4-D são fatais para as plantas (GROSSMANN, 2009; ISLAM *et al.*, 2017), quantidades menores ativam a RNA polimerase e aumentam o metabolismo do ácido nucléico, a flexibilidade da parede celular, a divisão celular e o alongamento. As características morfológicas, a matéria seca e a produtividade das plantas de algodão foram todas aprimoradas pelas subdoses de 2,4-D (MARQUES *et al.*, 2019; AMERICO *et al.*, 2017).

A função primária do herbicida Clorimuron etílico, um inibidor da enzima acetolactatosintase (ALS), é catalisar a reação inicial na produção de aminoácidos de cadeia ramificada (PARIS-JUNIOR, 2018). Quando aplicados no início da formação das vagens em doses consideradas tóxicas para a cultura, os herbicidas com esse tipo de mecanismo de ação para o inibidor de ALS geralmente podem causar redução no número de ramos laterais e redução no número de legumes por planta (FLECK *et al.*, 1998).

Segundo Gazziero *et al.* (2006), uma variedade de fatores, incluindo movimentos da barra de aplicação durante a aplicação, aplicação acidental durante pulverizações direcionadas, contato entre partes de plantas tratadas e não tratadas e redução no número de gotas que atingem uma planta daninha devido à interceptação de parte superior da planta, pode causar contato da planta com baixas doses de herbicidas.

2.2.5 Uso do 2,4-D

Inicialmente desenvolvido como uma auxina, o herbicida 2,4-D passou a ter efeito herbicida quando utilizado em altas dosagens (MORTENSEN *et al.*, 2012; QUEIROZ; VIDAL, 2014). Segundo Miranda (2012), o 2,4-D funciona como um regulador ao provocar alterações metabólicas e bioquímicas, o que resulta na redução do processo de crescimento.

Os herbicidas à base de auxina são bem conhecidos por sua capacidade de promover o desenvolvimento das plantas em concentrações não tóxicas, mimetizando a ação da auxina. No entanto, quando aplicados em doses mais elevadas, podem se tornar letais para algumas espécies vegetais (AMÉRICO *et al.*, 2017). Herbicidas auxínicos têm sido usados desde 1945 para controlar seletivamente plantas daninhas dicotiledôneas, com destaque para o 2,4-D (PETERSON *et al.*, 2016).

Apesar do longo período de uso, a resistência a herbicidas auxínicos é baixa em relação a outros tipos de herbicidas, como os inibidores da enzima 5-enolpiruvilshikimate-3-fosfato sintase (EPSPS) e da ALS (PETERSON *et al.*, 2016). Estudos com 2,4-D que mostraram respostas horméticas em plantas. Dessa forma, herbicidas do tipo auxina podem estimular o crescimento das plantas em concentrações não tóxicas, mimetizando o hormônio do crescimento auxina (ALLENDER *et al.*, 1997; CEDERGREEN *et al.*, 2007; MOTA, 2015; MARQUES, 2019).

O efeito de hormesis na aplicação de subdoses desse herbicida foi demonstrado, por exemplo, pelo aumento da área foliar do pequiheiro (TAVARES *et al.*, 2017). Ao contrário do glifosato, o efeito hormético do 2,4-D parece estar mais ligado ao seu mecanismo de ação, especificamente aos efeitos fisiológicos das auxinas nas plantas.

Demonstrou-se que aplicações de auxinas exógenas afetam negativamente a biossíntese de ácido giberélico em sementes de soja, promovem dormência nas sementes e reduzem a germinação por meio da ruptura do tegumento e atraso na protrusão da radícula (SHUAI *et al.*, 2017). Esses autores argumentam que a auxina regula a germinação de sementes principalmente por meio da via de sinalização do ácido abscísico, mas não está claro como a auxina interage com a biossíntese de

ácido abscísico e giberelina biossíntese ácida e as vias na rede reguladora da germinação de sementes.

No estágio B4 (quatro cápsulas jovens por planta), as doses horméticas (baixas) de 0,855 e 1,71 g de 2,4-D colina sal resultaram em maior porção de matéria aérea e matéria seca total, bem como maior número de folhas e plantas (MARQUES *et al.*, 2019). Foi relatado que subdoses de 2,4-D variando de 1,90 a 2,72 g i.a. ha⁻¹ aumentou a produção de algodão em comparação com dosagens maiores (AMÉRICO *et al.*, 2016).

Uma dose não letal de 2,4-D com uma concentração variando de 5 a 20 g i.a. tem um teor de clorofila melhorado e fluorescência de clorofila na cultura trigo (KAUR; KAUR, 2019). A dose hormética de 2,4-D também teve impacto em espécies vegetais superiores. Segundo Fragoso (2014), dosagens de 2,4-D entre 0,94 e 3,75 g i.a. ha⁻¹ teve efeito favorável sobre o diâmetro e a altura das plantas de eucalipto (*Eucalyptos globulus Labill*) produziu 20,7% a mais de folhas na dose baixa de 3,3 g i.a. ha⁻¹ de 2,4-D (TAVARES *et al.*, 2017).

Os processos fisiológicos da planta, como ciclo celular, formação da parede celular, enzimas, processos fotossintéticos, formação da clorofila, aminoácidos, proteínas e sistema hormonal, também podem ser afetados por herbicidas (DAYAN *et al.*, 2010; DAYAN; ZACCARO, 2012).

2.2.6 Potencial fisiológico das sementes e produtividade

O potencial fisiológico de uma semente está relacionado à sua capacidade de realizar suas funções essenciais, que se caracterizam por sua longevidade, germinação e vigor. Uma redução na qualidade é tipicamente traduzida em um aumento de plântulas anômalas, uma diminuição no vigor das plântulas e uma diminuição na proporção de sementes em germinação (TOLEDO *et al.*, 2009).

Os fatores que afetam o potencial fisiológico das sementes incluem sua capacidade de germinação e vigor, que determinam o quão bem elas podem desempenhar teoricamente suas funções essenciais em condições favoráveis e desfavoráveis (MARCOS-FILHO, 2015a).

O vigor da semente, característica agrônômica complexa que inclui longevidade da semente, taxa de germinação, crescimento da plântula e tolerância

precoce ao estresse, determina a duração e o sucesso desse período de estabelecimento (REED *et al.*, 2022)

O efeito do vigor das sementes no desempenho inicial das plantas foi destacado, dentre outros, por Edje e Burris (1971) com soja, Khah *et al.* (1989) com trigo, Schuch *et al.* (1999) com aveia preta e Kolchinski *et al.* (2006) com soja. Constataram que sementes menos vigorosas emergiram mais lentamente e produziram plantas com menor desenvolvimento inicial, evidenciado pela redução da área foliar ou produção de folhas secas.

Foi demonstrado que uma redução no vigor das sementes afeta negativamente a uniformidade, o crescimento, o desenvolvimento e o rendimento de culturas como a soja (EBONE *et al.*, 2020). Como resultado, sementes fortes e com maior vigor são necessárias para melhorar a uniformidade do estande em condições ambientais estressantes observadas no campo. O vigor melhorado das sementes ajudará, portanto, a aumentar o nível geral da produção agrícola.

2.3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Primeiramente, foi analisado se cada parâmetro estudado correspondia às exigências do modelo estatístico de normalidade e homogeneidade de variância, conforme determinado pelo teste de Shapiro-Wilk (Tabela 3). Com base nisso, foi possível confirmar que os dados dos parâmetros não tiveram significância para os testes aplicados ao pressuposto do modelo matemático. Entretanto, os parâmetros de emergência (EMERG) e índice de velocidade de emergência foram submetidos a transformação de dados $\text{Arcsen } \sqrt{x}$, por ocasião da falta de homogeneidade.

Tabela 3- Análise de variância para as características de germinação (GERM), envelhecimento acelerado (EA), condutividade elétrica (CE), emergência (EMERG) e índice de velocidade de emergência (IVE).

Descrições	G.L.	GERM	EA	CE	EMERG	IVE
Teste de Shapiro-Wilk ($Pr > p$)						
Normalidade	(-)	0,784	0,965	0,469	0.4038 (0.859)	0.108 (0.329)
População de plantas	1	0,281	0,523	0,068	0.374 (0.099)	0.376 (0.383)
Doses	3	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Desdobramento populações dentro de doses ($Pr > f$)						
Pop d. D 0	1	0,425 ^{n.s.}	0,008*	0,959 ^{n.s.}	0.225 (0.239) ^{n.s.}	0.205 (0.187) ^{n.s.}
Pop d. D 1	1	0,030*	0,499 ^{n.s.}	0,333 ^{n.s.}	0.102 (0.044)*	0.136 (0.091) ^{n.s.}
Pop d. D 2	1	0,041*	0,003*	0,001*	0.737 (0.7817) ^{n.s.}	0.664 (0.649) ^{n.s.}
Pop d. D 10	1	0,008*	0,031*	0,458 ^{n.s.}	0.015 (0.009)*	0.020 (0.014)*
Desdobramento doses dentro de populações ($Pr > f$)						
D d. Pop 24	1	0,012*	0,001*	0,992 ^{n.s.}	0.367 (0.212) ^{n.s.}	0.360 (0.290) ^{n.s.}
D d. Pop 36	1	0,084 ^{n.s.}	0,030*	0,001*	0.010 (0.006)*	0.012 (0.009)*
Coef. Var. (%)		23,39	13,48	25,03	55.51 (30.06)	59.97 (12.04)

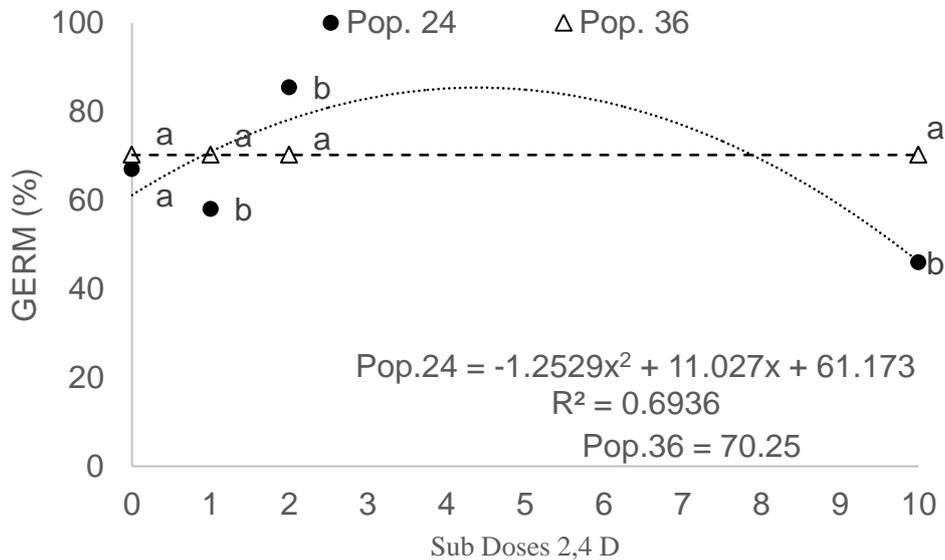
*n.s. Não significativo e * Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade. Germinação = (GERM); Envelhecimento acelerado = (EA); Condutividade elétrica = (CE); Emergência (EMERG); Índice de

velocidade de emergência (IVE); Grau de liberdade (G.L)

Para fazer a comparação das médias dos lotes foi utilizado o teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade e foi verificado que houve diferença estatística entre as populações de plantas no envelhecimento acelerado (EA) na subdose de 0%, nas populações de plantas quando houve a aplicação da subdose de 1% na germinação (GERM) e emergência (EMERG), nas populações de plantas na aplicação da subdose de 2% na germinação (GERM), envelhecimento acelerado (EA) e condutividade elétrica (CE), nas populações de plantas na aplicação na subdose de 10% para a germinação (GERM), envelhecimento acelerado (EA), emergência (EMERG) e índice de velocidade de emergência (IVE) (Figuras 6, 7, 8, 9 e 10).

Além disso, notou-se que os coeficientes de variação foram médios para o envelhecimento acelerado (EA) e índice de velocidade de emergência (IVE) (Tabela 3). Para a germinação (GERM) e condutividade elétrica foram considerados os coeficientes de variação altos e a emergência foi observada um coeficiente de variação muito alto.

Figura 6- Modelo de regressão para a avaliação da porcentagem de germinação (GERM).



Fonte: Autor, 2023.

No parâmetro de germinação (Figura 6), foi observado ajuste polinomial de segunda ordem para a população de plantas de 24 plantas m⁻². O mesmo não foi observado para a população de plantas de 36 plantas m⁻². A equação de segundo grau ($-1,2529x^2 + 11,027x + 61,173$) que melhor se ajustou para população de 24 plantas m⁻² foi com coeficiente de determinação de $R^2=0,6936$. Para essa população de plantas a dose ótima ajustada foi de 4,40% do produto comercial que resultou em germinação de 85,40% de plântulas o que estaria dentro do padrão de comercialização. Segundo Brasil (2013) o mínimo de 80% de germinação de sementes de feijão tem que ser alcançado para atender o padrão exigido para comercializar um lote. Portanto, a germinação das sementes em testes de laboratório representa o surgimento das estruturas essenciais do embrião, demonstrando sua capacidade de produzir plantas normais em condições favoráveis de campo (BRASIL, 2009).

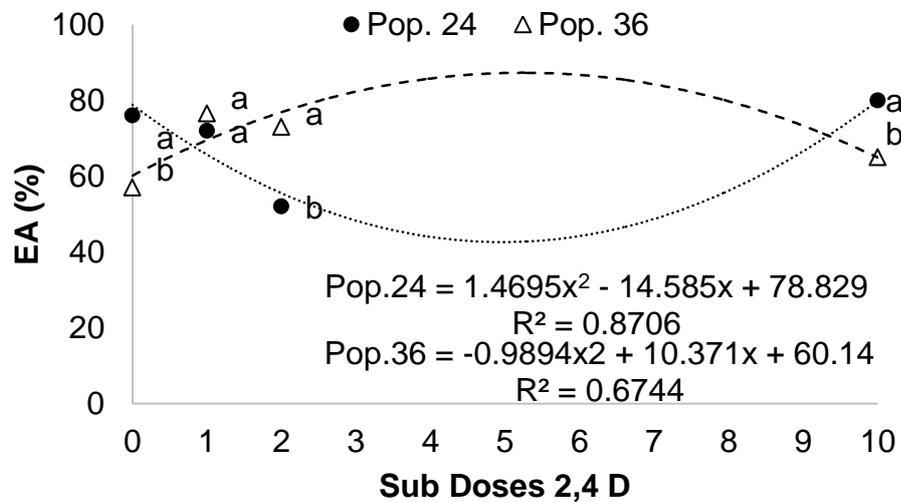
Todavia, em relação ao desdobramento de populações dentro de subdoses, foi observado no teste da população de 24 plantas m⁻² na aplicação da subdose de 2% do produto comercial teve um aumento da porcentagem de germinação de 18,5% em relação a testemunha. No trabalho de Barbosa *et al.* (2017) onde a aplicação de subdoses de glifosato foi realizada na germinação de sementes de

milho foi verificado que a subdose de glifosato (3,5 g e.a ha⁻¹) melhoraram em 10 e 16% a germinação e desempenho fisiológico de cultivares de milho Sintético UEL e AG 9010 PRO.

Já na aplicação da subdose de 10% do produto comercial na população de 24 plantas/m² foi observado a maior redução da porcentagem de germinação, um decréscimo de 21% em comparação a testemunha. No trabalho Massucato *et al.* (2021) as sementes foram embebidas em concentrações de 2,4-D, assim encontraram uma relação negativa, ou seja, houve diminuição da germinação das sementes de feijão à medida que as concentrações de 2,4-D aumentavam, sugerindo um efeito inibitório do herbicida.

No teste da população de 36 plantas m⁻² foi observado que para as subdoses de 1,2 e 10% a porcentagem de germinação se manteve igual, não tendo diferença entre as subdoses. No trabalho Neves *et al.* (1998) quando avaliaram a aplicação de 2,4-D em plantas em R1 e R3 não observaram reduções na germinação, comprimento de raiz ou comprimento do hipocótilo. Como nesse trabalho de Neves *et al.* (1998) a aplicação foi mais tardia do que a usada nesse presente ensaio, é possível inferir que as subdoses de 2,4-D não têm potencial de ser transcolado para a semente, sendo que os possíveis efeitos possam ser decorrentes de outros fatores.

Figura 7- Modelo de regressão para a avaliação da porcentagem de germinação submetida ao envelhecimento acelerado (EA).



Fonte: Autor, 2023

Na avaliação da porcentagem de germinação de plântulas submetidas ao envelhecimento acelerado (Figura 7), o princípio deste teste é acelerar artificialmente a taxa de deterioração da semente, expondo-o a níveis elevados de temperatura e umidade relativa do ar, considerados os principais fatores ambientais que influenciam a intensidade e a velocidade da deterioração (MARCOS-FILHO *et al.*, 1987).

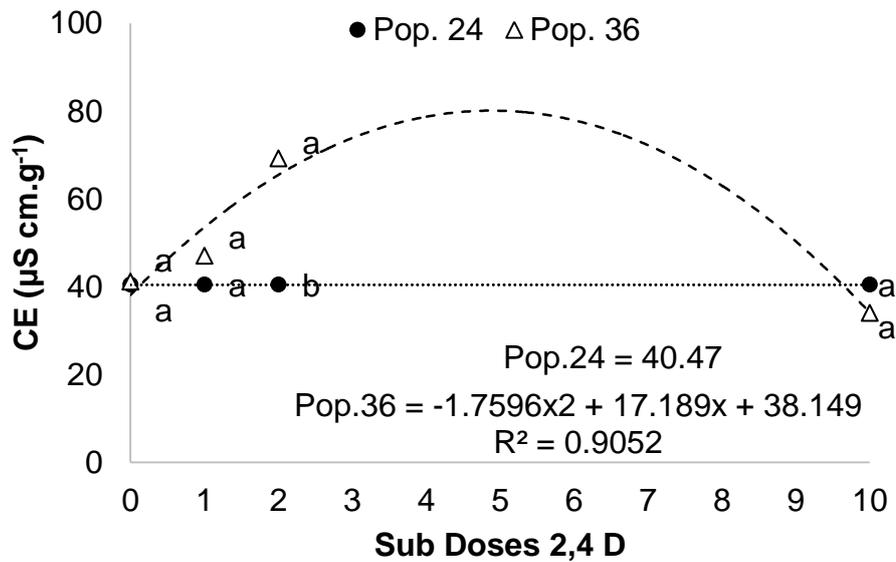
Foi observado ajuste polinomial de segunda ordem para a população de plantas de 24 plantas m^{-2} e 36 plantas m^{-2} . A equação de segundo grau ($1.4695x^2 - 14.585x + 78.829$) que melhor se ajustou para população de 24 plantas m^{-2} foi com coeficiente de determinação $R^2 = 0.8706$. Para essa população de plantas a dose ajustada foi de 4,96% do produto comercial, a qual resultou em 42,73%.

Já para a população de plantas de 36 plantas m^{-2} a equação de segundo grau ($-0.9894x^2 + 10.371x + 60.14$) que melhor se ajustou com o coeficiente $R^2 = 0.6744$. Para essa população de plantas a dose ótima ajustada foi de 5,24% do produto comercial, para essa dose a de germinação de plântulas submetida ao envelhecimento acelerado será 87,28%. Nesse caso a população de 36 plantas m^{-2} resultou em maior porcentagem de germinação de plântulas no teste de envelhecimento acelerado em comparação com a população de 24 plantas m^{-2} . Tal resultado pode ter ocorrido pelo fato do objetivo desse teste ser de estresse térmico e é possível que na população de 36 plantas m^{-2} possa ter ocorrido um aumento de compostos antioxidantes através do estresse causado pelas subdoses do herbicida.

No teste da população de 24 plantas m^{-2} na dose de 2% teve uma diminuição na porcentagem de germinação de 24% em relação a testemunha. Com outro herbicida (Florpyrauxifen-benzyl) esse comportamento foi observado também no trabalho de Miller e Norsworthy (2018). Nesse trabalho foram realizadas aplicações em diferentes estádios reprodutivos e verificou-se que a aplicação da dose 28 g i.a ha^{-1} de Florpyrauxifen-benzyl teve uma redução de germinação de sementes de soja de 18 e 45%. Porém na subdose de 10% foi verificado um aumento na porcentagem de germinação. Cabe ressaltar que de acordo com Oliveira *et al.* (2020) a aplicação da subdose 2,9 mL L^{-1} de glifosato na semente, foi observado um aumento na porcentagem de germinação sobre o envelhecimento acelerado de sementes de soja.

Na avaliação da população de 36 plantas m^{-2} foi observado que na maior subdose aplicada de 10% teve uma diminuição na porcentagem de germinação, o mesmo comportamento foi observado no trabalho de Caetano (2021) onde verificou que a deriva simulada nos estádios de V4 e R2 da soja, resultou na diminuição da porcentagem de germinação à medida que aumentava as subdoses de 2,4-D e dicamba foram utilizadas. Por outro lado, Costa (2019) não encontraram redução significativa na germinação de sementes de soja submetidas a subdoses de 2,4-D.

Figura 8- Modelo de regressão para avaliação da condutividade elétrica (CE).



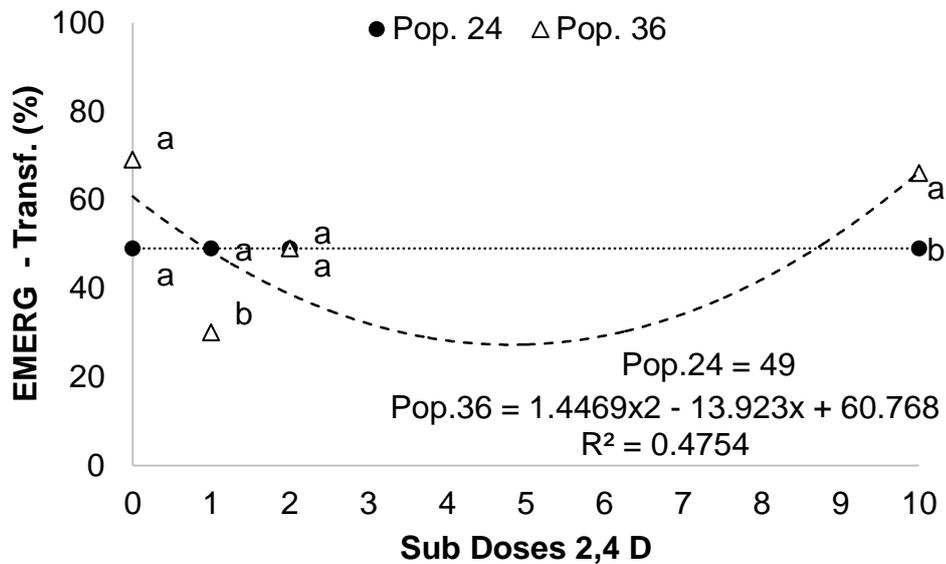
Fonte: Autor, 2023.

Na avaliação do parâmetro da condutividade elétrica (Figura 8) foi verificado que o ajuste polinomial de segunda ordem para a população de plantas de 36 plantas m^{-2} , o mesmo não foi observado para a população de plantas de 24 plantas/ m^2 . A equação de segundo grau ($-1.7596x^2 + 17.189x + 38.149$) que melhor se ajustou com o coeficiente $R^2 = 0.9052$. Para essa população de plantas a dose ajustada foi de 4,88% do produto comercial que resultou em $80,30 \mu S cm^{-1} g^{-1}$ o que resulta em uma semente de baixo vigor.

Na aplicação das subdoses na população de 36 plantas m^{-2} as sementes tiveram baixo vigor, isso acontece de maneira que quanto maior a condutividade elétrica a quantidade de eletrólitos liberados aumenta. O aumento da condutividade elétrica mostra que houve danos ao sistema de membrana celular (MARCOS-FILHO *et al.*, 1987) e que esses danos provocaram a lixiviação de diversas substâncias solúveis em água.

Com base na equação foi feito o cálculo para se aproximar da dose ajustada para a população de 36 plantas m^{-2} , onde foi aplicada a derivada e chegou ao resultado da subdose 4,88%.

Figura 9- Modelo de regressão para a avaliação de emergência (EM).



Fonte: Autor, 2023.

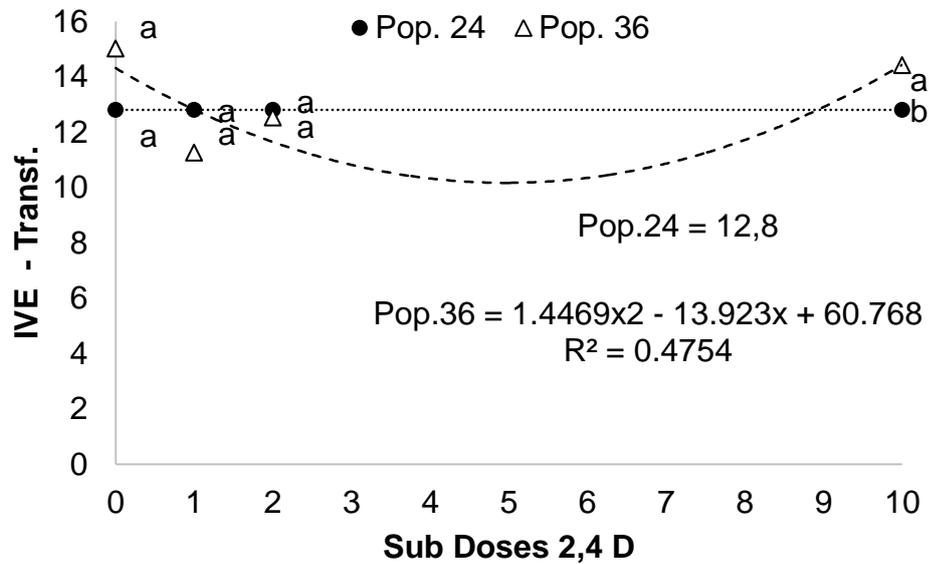
Foram observados na avaliação do parâmetro de emergência de plântulas (Figura 9) que houve o ajuste polinomial de segunda ordem para a população de plantas de 36 plantas m^{-2} , o mesmo não foi observado para a população de plantas de 24 plantas/ m^2 . A equação de segundo grau ($1.4469x^2 - 13.923x + 60.768$) que melhor se ajustou com o coeficiente $R^2 = 0.4754$.

Para essa população de plantas a dose máxima ajustada foi de 4,81% do produto comercial isso implicou numa taxa de emergência de plântulas de 27,26%. O crescimento lento, reduzido ou desigual da plântula pode causar falhas no estande, atrasos no desenvolvimento, dificuldades no controle de plantas invasoras e interferência em aspectos da planta relacionados à colheita mecanizada (MARCOS-FILHO, 2015b).

Na população de plantas de 24 plantas m^{-2} não teve variação das subdoses nos tratamentos em relação a testemunha. Porém na população de 36 plantas m^{-2} , foi verificado que a testemunha obteve a melhor porcentagem de emergência, na subdose de 1% teve uma diminuição de 39% na emergência.

Entretanto, a partir da dose de 1% ocorreu a diminuição da porcentagem de germinação. No trabalho de Silva *et al.* (2011) quando o 2,4-D foi aplicado sobre a emergência da soja a maior dosagem estudada ($1,005 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) observou-se menor percentual de emergência. Também foi relatado por Massucato *et al.* (2021) que o tratamento da semente com subdoses de 2,4-D reduziu a emergência e crescimento de plântulas de feijão.

Figura 10- Modelo de regressão para a avaliação de Índice de velocidade de emergência (IVE).



Fonte: Autor, 2023.

O mesmo comportamento de regressão da Figura 9 foi observado na (Figura 10), ou seja, foi verificado que o ajuste polinomial de segunda ordem para a população de plantas de 36 plantas m^{-2} , o mesmo não foi observado para a população de plantas de 24 plantas m^{-2} . A equação de segundo grau ($0.1681x^2 - 1.6688x + 14.309$) que melhor se ajustou com o coeficiente $R^2 = 0.5887$. Para essa população de plantas a dose máxima ajustada foi de 4,95% do produto comercial % isso resulta em uma taxa de índice de velocidade de emergência de 10,16. Quanto maior índice de velocidade de emergência (IVE) resulta em melhor desempenho e maior capacidade de resistir a estresses que possam interferir no crescimento e desenvolvimento das plantas, pois a velocidade de emergência é essencial para o estabelecimento mais rápido das plântulas (DAYAN *et al.*, 2010). Na população de 36 plantas m^{-2} na subdose de 1% teve uma diminuição no índice de velocidade de emergência, enquanto na subdose de 2% obteve a retomada do aumento, este tipo de comportamento não foi encontrado no trabalho de Nascimento e Yamashita (2009), que afirmam que espécies de olerícolas sensíveis a herbicidas auxínicos apresentam declínio linear na emergência de plantas com o aumento das subdoses

3 CONCLUSÃO

Foi possível observar efeitos de interação entre população de plantas e subdoses do herbicida 2,4-D. Para a população de plantas de 24 plantas m^{-2} , ocorreu incremento na germinação na subdose de 4,96%, entretanto para o envelhecimento acelerado houve redução.

Para a população de 36 plantas m^{-2} teve efeito positivo no parâmetro de envelhecimento acelerado onde na subdose de 5,24% teve incremento na germinação, porém, ocorre redução para a condutividade elétrica, emergência e índice de velocidade de emergência.

De modo geral, é possível observar através dos resultados que a população com 24 plantas m^{-2} , teve sementes de melhor qualidade comparada com a população de 36 plantas m^{-2} . Esse resultado pode ter ocorrido pelo fato da plasticidade que na população de 24 plantas m^{-2} mesmo com a aplicação de 2,4-D pode crescer um pouco mais que o normal e ter mais ramos laterais melhorando a arquitetura da planta. No caso da população de 36 plantas m^{-2} , em condições normais a planta por estar em um espaçamento adensado tende a crescer mais e ter menor produção de ramos laterais, associando esse fator com a aplicação de 2,4-D, tem como hipótese que tenha causado acamamento das plantas de feijão e as sementes ficaram expostas próximas ao solo e assim tendo contato com microrganismo indesejáveis tornando essa semente com menor qualidade.

REFERÊNCIAS

- AGATHOKLEOUS, E.; KITAO, M.; HARAYAMA, H.; CALABRESE, E. J. Temperature-induced hormesis in plants. **Journal Of Forestry Research**, v. 30, n. 1, p. 13-20, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11676-018-0790-7>. Acesso em: 20 abr. 2023.
- AGATHOKLEOUS, E; CALABRESE, E. J. Hormesis can enhance agricultural sustainability in a changing world. **Global Food Security**, v. 20, p. 150-155, 2019a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.02.005>. Acesso em: 17 mar. 2023.
- AGATHOKLEOUS, E.; CALABRESE, E. J. Hormesis: the dose response for the 21st century. **Toxicology**, v. 425, p. 152249, 2019b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tox.2019.152249>. Acesso em: 20 mar. 2023.
- ALLENDER, W. J.; CRESSWELL, G. C.; KALDOR, J.; KENNEDY, I. R. Effect of lithium and lanthanum on herbicide induced hormesis in hydroponically-grown cotton and corn. **Journal Of Plant Nutrition**, v. 20, n. 1, p. 81-95, 1997. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/01904169709365235>. Acesso em: 20 fev. 2023.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 25 mar. 2023.
- AMÉRICO, G. H. P.; AMÉRICO, P. J. H. P.; FURLANI, J. E. Hormesis Effect of Dichlorophenoxy Acetic Acid Sub-Doses and Mepiquat Chloride on Cotton Plant. **Planta Daninha**, v. 35, p. 1-9, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582017350100078>. Acesso em: 11 mar. 2023.
- AMÉRICO, G. H. P.; FURLANI, J. E.; AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; SANTOS, D. M. A. dos. Desenvolvimento e produtividade do algodoeiro em função da aplicação de subdoses de ácido diclorofenoxiacético e cloreto de mepiquat. **Brazilian Journal Of Agriculture - Revista de Agricultura**, v. 91, n. 2, p. 117, 18 ago. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.37856/bja.v91i2.212>. Acesso em: 12 mar. 2023.
- BARBOSA, A. P.; ZUCARELI, C.; FREIRIA, G. H.; GOMES, G. R.; BAZZO, J. H. B.; TAKAHASHI, L. S. A.. Subdoses de glyphosate no processo germinativo e desenvolvimento de plântulas de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 2, p. 240, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v16n2p240-250>. Acesso em: 12 abr. 2023.
- BELZ, R. G.; DUKE, S. O. Herbicide-Mediated Hormesis. **Acs Symposium Series**, v. 1249, n. 10, p. 135-148, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1021/bk-2017-1249.ch010>. Acesso em: 13 abr. 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395p. Disponível em: <http://bit.ly/431y9D3>. Acesso em: 18 mar. 2023.

BRASIL. **Instrução Normativa no 45, de 17 de setembro de 2013**. Estabelece os padrões de identidade e qualidade para a produção e a comercialização de sementes. Brasília: DF. Diário Oficial da União. Disponível em: <https://bit.ly/3JBeflh>. Acesso em 18 mar. 2023.

BUSO, W. H. D.; SILVA, L. B. e; RIOS, A. D. F.. Componentes produtivos de feijão em duas épocas de plantio na região central de Goiás. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 7, n. 24, p. 205-210, 2014. Disponível em: <https://bit.ly/46ualdT>. Acesso em: 21 nov. 2022.

CAETANO, G. B. **Qualidade fisiológica de sementes de Soja após armazenagem, sob efeito de deriva simulada em campo de 2,4-D e dicamba**. 2021. 29 f. (Mestrado) - Curso de Agronomia, INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE, Rio Verde, GO, 2021.

CARVALHO, N. M. de; NAKAGAWA, João (ed.). **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Funep, 2012. 590 p.

CALABRESE, E. J.; AGATHOKLEOUS, E. Accumulator plants and hormesis. **Environmental Pollution**, v. 274, p. 116526, april. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116526>. Acesso em: 10 fev. 2023.

CALABRESE, E. J.; BLAIN, R. B. The hormesis database: the occurrence of hormetic dose responses in the toxicological literature. **Regulatory Toxicology And Pharmacology**, v. 61, n. 1, p. 73-81, october. 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.yrtph.2011.06.003>. Acesso em: 11 mar. 2023.

CARNEIRO, J. E.; PAULA, J. T. de; BORÉM, A. Feijão do Plantio à Colheita. Ufv, 2015. 384 p.

CEDERGREEN, N.; STREIBIG, J. C.; KUDSK, P.; MATHIASSEN, S. K.; DUKE, S. O. The Occurrence of Hormesis in Plants and Algae. **Dose-Response**, v. 5, n. 2, p. 150-162, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.2203/dose-response.06-008.Cedergreen>. Acesso em: 20 fev. 2023.

CHEN, H.; BULLOCK, D. A.; ALONSO, J. M.; STEPANOVA, A. N. To Fight or to Grow: the balancing role of ethylene in plant abiotic stress responses. **Plants**, v. 11, n. 1, p. 1-25, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/plants11010033>. Acesso em: 18 fev. 2023.

Conselho Nacional de Política Agrícola. Companhia Nacional de Abastecimento. **Info Agro: safras - grãos**. Disponível em: <https://bit.ly/43kvWD7>. Acesso em: 22 mar. 2023.

COSTA, E. M.. **Deriva simulada de dicamba e 2,4-d: efeitos sobre a produtividade e qualidade fisiológica das sementes de soja recém-colhidas e armazenadas**. 2019. 74 f. (Mestrado) - Curso de Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde Programa de Pós - graduação em Ciências Agrárias, Rio Verde, 2019.

COSTA, J. G. C. da. **Cultivo do feijão**. Morfologia. 2021. Disponível em: <https://bit.ly/3NQzZIY>. Acesso em: 18 mar. 2023.

DALTRO, E. M. F.; ALBUQUERQUE, M. C. de F. ; FRANÇA, N. J. de B.; GUIMARÃES, S. C.; GAZZIERO, D. L. P.; HENNING, A. A. Aplicação de dessecantes em pré-colheita: efeito na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 1, p. 111-122, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222010000100013>. Acesso em: 19 mar. 2023.

DAYAN, F. E.; DUKE, S. O.; GROSSMANN, Klaus. Herbicides as Probes in Plant Biology. **Weed Science**, v. 58, n. 3, p. 340-350, september. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1614/WS-09-092.1>. Acesso em: 16 mar. 2023.

DAYAN, F. E.; ZACCARO, M. L. de M. Chlorophyll fluorescence as a marker for herbicide mechanisms of action. **Pesticide Biochemistry And Physiology**, v. 102, n. 3, p. 189-197, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2012.01.005>. Acesso em: 11 mar. 2023.

EBONE, L. A.; CAVERZAN, A.; TAGLIARI, A.; CHIOMENTO, J. L. T.; SILVEIRA, D. C.; CHAVARRIA, G.. Soybean Seed Vigor: uniformity and growth as key factors to improve yield. **Agronomy**, v. 10, n. 4, p. 545, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy10040545>. Acesso em: 19 mar. 2023.

EDJE, O. T.; BURRIS, J. S. Effects of Soybean Seed Vigor on Field Performance. **Agronomy Journal**, v. 63, n. 4, p. 536-538, 1971. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj1971.00021962006300040006x>. Acesso em: 24 fev. 2023.

FLECK, N. G.; NEVES, R.; VIDAL, R. A.; VARGAS, L. Avaliação de subdoses de herbicidas sistêmicos não-seletivos em soja. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 4, n. 2, p. 151-156, dez. 1998.

FORTES, A. M.; GALLUSCI, P. Plant Stress Responses and Phenotypic Plasticity in the Epigenomics Era: perspectives on the grapevine scenario, a model for perennial crop plants. **Frontiers In Plant Science**, v. 08, p. 1-9, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2017.00082>. Acesso em: 22 fev. 2023.

FRAGOSO, A. M. **Variações nos níveis de elementos Minerais após aplicações de 2,4-d em progênes de *Eucalyptus grandis***. 2014. 48 v. (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista —Júlio de Mesquita Filholl Faculdade de Ciências Agrônômicas Campus de Botucatu, Botucatu,Sp, 2014. Disponível em: <https://bit.ly/3NvnMBK>. Acesso em: 19 mar. 2023.

GAZZIERO, D. L. P.; MACIEL, C. D. G.; SOUZA, R. T.; VELINI, E. D.; PRETE, C..C.; OLIVEIRA, N., W. Deposição de glyphosate aplicado para controle de plantas daninhas em soja transgênica. **Planta Daninha**, v. 24, n. 1, p. 173-181, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582006000100022>. Acesso em: 10 fev. 2023.

GEPTS, P.; DEBOUCK, D. Origin, domestication, and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In: VAN SCHOONHOVEN, A.; VOYSEST, O.(ed.). **Common beans: research for crop improvement..** Wallingford, United Kingdom: Commonwealth Agricultural Bureaux International, 1991. p. 7-57. Disponível em: <http://bit.ly/3JBQ1NY>. Acesso em: 11 mar. 2023.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology And Biochemistry**, v. 48, n. 12, p. 909-930, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>. Acesso em: 15 fev. 2023.

GROSSMANN, K. Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. **Pest Management Science**, v. 66, n. 2, p. 113-120, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/ps.1860>. Acesso em: 16 mar. 2023.

ISLAM, F.; FAROOQ, M. A.; GILL, R. A.; WANG, J.; YANG, C.; ALI, B; WANG, G. - X.; ZHOU, W.. 2,4-D attenuates salinity-induced toxicity by mediating anatomical changes, antioxidant capacity and cation transporters in the roots of rice cultivars. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1-23, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-09708-x>. Acesso em: 20 mar. 2023.

JALAL, A.; OLIVEIRA, J., J. C. de; RIBEIRO, J. S.; FERNANDES, G. C.; MARIANO, G. G.; TRINDADE, V. D. R.; REIS, A. R. dos. Hormesis in plants: physiological and biochemical responses. **Ecotoxicology And Environmental Safety**, v. 207, n. 111225, p. 1-12, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020>. Acesso em: 20 maio 2023.

KAUR, A.; KAUR, N. Effect of sub-lethal doses of 2, 4-D sodium salt on physiology and seed production potential of wheat and associated dicotyledonous weeds. **Indian Journal Of Weed Science**, v. 51, n. 4, p. 352, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5958/0974-8164.2019.00074.1>. Acesso em: 12 mar. 2023.

KHAH, E. M.; ROBERTS, E. H.; ELLIS, R. H. Effects of seed ageing on growth and yield of spring wheat at different plant-population densities. **Field Crops Research**, v. 20, n. 3, p. 175-190, 1989. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/0378-4290\(89\)90078-6](http://dx.doi.org/10.1016/0378-4290(89)90078-6). Acesso em: 14 mar. 2023.

KOLCHINSK, E. M.; SCHUCH, L. O. B.; PESK, S. T. Crescimento inicial de soja em função do vigor das sementes. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v. 12, n. 2, p. 163-166, 2006. Disponível em: <https://bit.ly/3XuPKC6>. Acesso em: 14 mar. 2023.

KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA,N., J. B. **Vigor de sementes: conceitos e testes.** Londrina: Abrates, 1999

MAGUIRE, J. D. Speed of Germination—Aid In Selection And Evaluation for Seedling Emergence And Vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183x000200020033x>. Acesso em: 22 mar. 2023.

MARCOS-FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 4, p. 363-374, ago. 2015a. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0007>. Acesso em: 15 mar. 2023.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: Abrates, 2015b. 659 p

MARCOS-FILHO, J.; CICERO, S. M.; SILVA, W. R. **Avaliação da qualidade das sementes**. Piracicaba: Fealq, 1987. 230 p.

MARQUES, R. F.; MARCHI, S. R.; PINHEIRO, G. H. R.; SOUZA, R. M.; ASSUNÇÃO, H. F.; LÚCIO, F. R. Hormesis of 2,4-D Choline Salt in Biometric Aspects of Cotton. **Journal Of Agricultural Science**, v. 11, n. 13, p. 283, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5539/jas.v11n13p283>. Acesso em: 15 mar. 2023.

MASSUCATO, L. R.; OLIVEIRA, G. M. P. de; LIBARDONI, G.; DOMINONI, A. P. F.; COSTA, S. C. da; GONÇALVES, L. S. A. Effect of 2,4-D sub-dose on the initial development of common bean crop. **Revista Ciência Agronômica**, v. 52, n. 3, p. 1-8, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20210041>. Acesso em: 18 mar. 2023.

MILLER, M. R.; NORSWORTHY, J. K. Soybean Sensitivity to Florpyrauxifen-benzyl during Reproductive Growth and the Impact on Subsequent Progeny. **Weed Technology**, v. 32, n. 2, p. 135-140, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/wet.2017.108>. Acesso em: 17 mar. 2023.

MIRANDA, F. F. R. de. Efeito da frutificação induzida por 2,4-d em características agronômicas dos frutos de abóbora 'tetsukabuto'. 2012. 62 f. (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, To, 2012. Disponível em: <https://bit.ly/44jEjzs>. Acesso em: 15 fev. 2023.

MONDO, V. H.V.; NASCENTE, A. S. Produtividade do feijão-comum afetado por população de plantas. **Agrarian**, Dourados, v. 11, n. 39, p. 89-94, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.30612/agrarian.v11i39.4569>. Acesso em: 15 fev. 2023.

MORTENSEN, D. A.; EGAN, J. F.; MAXWELL, B. D.; RYAN, M. R.; SMITH, R. G. Navigating a Critical Juncture for Sustainable Weed Management. **Bioscience**, v. 62, n. 1, p. 75-84, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1525/bio.2012.62.1.12>. Acesso em: 15 fev. 2023.

MOTA, A. A. B. **Espectro de gotas e potencial de Deriva de caldas contendo o herbicida 2,4-D amina em misturas em tanque**. 2015. 69 f. - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista —Júlio de Mesquita Filholl Faculdade de Ciências Agrônômicas Campus de Botucatu, Botucatu, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/3pmMegO>. Acesso em: 17 mar. 2023.

MUNEMASA, S.; HAUSER, F.; PARK, J.; WAADT, Rainer; BRANDT, Benjamin; SCHROEDER, Julian I. Mechanisms of abscisic acid-mediated control of stomatal aperture. **Current Opinion In Plant Biology**, v. 28, p. 154-162, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2015.10.010>. Acesso em: 17 mar. 2023.

NAKAO, A. H.; COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; SOUZA, M. F. P.; DICKMANN, L.; CENTENO, D. C.; CATALANI, G. C. Características agrônômicas e qualidade fisiológica de sementes de soja em função da adubação foliar com boro e zinco. **Cultura Agrônômica: Revista de Ciências Agrônômicas**, v. 27, n. 3, p. 312-327, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2018v27n3p312-327>. Acesso em: 21 mar. 2023.

NASCIMENTO, E. R. do; YAMASHITA, O. M.. Desenvolvimento inicial de olerícolas cultivadas em solos contaminados com resíduos de 2,4-d + picloram. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 1, p. 47-54, mar. 2009. Disponível em: <https://bit.ly/3CZpCG1>. Acesso em: 12 mar. 2023.

NEVES, R.; FLECK, N. G.; SILVEIRA, C. A. da; COSTA, E. L. N. Ação de herbicidas sistêmicos não-seletivos sobre a progénie de soja quando aplicados durante a fase reprodutiva das plantas-mãe. **Ciência Rural**, v. 28, n. 3, p. 367-371, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84781998000300003>. Acesso em: 10 mar. 2023.

OLIVEIRA, T. R. de; THOMÉ, S. E. N.; ANDRADE, M. G. O.; CONTARDI, L. M.; LIMA, S. F. de. Desempenho fisiológico de sementes de soja RR em subdoses de Glifosato submetidas ao bioestimulante. **Research, Society And Development**, v. 9, n. 10, p. 1-20, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8725>. Acesso em: 13 mar. 2023.

PANDEY, P.; RAMEGOWDA, V.; SENTHIL-KUMAR, M.. Shared and unique responses of plants to multiple individual stresses and stress combinations: physiological and molecular mechanisms. **Frontiers In Plant Science**, v. 6, n. 5, p. 1-14, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2015.00723>. Acesso em: 17 mar. 2023.

PARIS JUNIOR, M. A. **Curvas de dose resposta e isobogramas como forma de descrever a associação dos inibidores da ALS (sulfometuron-methyl e chlorimuron-ethyl) em *Digitaria insularis* (L.)**. 2018. 91 f. (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura —Luiz de Queirozll, Piracicaba, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/3Dc8FZr> . Acesso em: 25 nov. 2022.

PETERSON, M. A.; MCMASTER, S. A.; RIECHERS, D. E.; SKELTON, J.; STAHLMAN, P. W. 2,4-D Past, Present, and Future: a review. **Weed Technology**, v. 30, n. 2, p. 303-345, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1614/WT-D-15-00131.1>. Acesso em: 14 fev. 2023.

QI, J.; WANG, J.; GONG, Z.; ZHOU, J. M.. Apoplastic ROS signaling in plant immunity. **Current Opinion In Plant Biology**, v. 38, p. 92-100, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2017.04.022>. Acesso em: 10 fev. 2023.

QUEIROZ, A. R. S.; VIDAL, R. A. O desenvolvimento de culturas tolerantes ao herbicida diclorofenoxiacetato: revisão de literatura. **Planta Daninha**, v. 32, n. 3, p. 649-654, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582014000300021>. Acesso em: 10 fev. 2023.

RASERA, G. B.; CASTRO, R. J. S. . Germinação de grãos: uma revisão sistemática de como os processos bioquímicos envolvidos afetam o conteúdo e o perfil de compostos fenólicos e suas propriedades antioxidantes. **Brazilian Journal of Natural Sciences**, v. 3, n. 1, p. 287-300, 2020.. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.31415/bjns.v3i1.90>. Acesso em: 22 mar. 2023.

REED, R. C.; BRADFORD, K. J.; KHANDAY, I. Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. **Heredity**, v. 128, n. 6, p. 450-459, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41437-022-00497-2>. Acesso em: 14 mar. 2023.

REIS, F. C. dos . Seletividade, hormesis e fisiologia dos herbicidas nas plantas. In: BARROSO, Arthur Arrobas Martins; MURATA, Afanso Takao (org.). **Matologia: estudos sobre plantas daninhas**. Fábrica da Palavra, 2021. p. 1-577.

SALVADOR, C. A. **Prognóstico agropecuário: feijão 2021/2022**. Curitiba, PR: Deral, 2021. 5 v. Disponível em: <https://bit.ly/3JDP8Eu>. Acesso em: 19 abr. 2023.

SANTOS, M. G. P. dos; CARVALHO, A. J. de; DAVID, A. M. S. S.; AMARO, H. T. R.; VIEIRA, N. M. B.; SOUZA, V. B. de; CARNEIRO, J. E. de S.. Densidades de semeadura e safras de cultivo no desempenho produtivo de cultivares de feijoeiro-comum. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 5, p. 2309-2324, 5 nov. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n5p2309>. Acesso em: 15 fev. 2023.

SCHUCH, L. O. B.; NEDEL, J. L.; MAIA, M. S.; ASSIS, F. N. de. Vigor de sementes e adubação nitrogenada em aveia-preta (*Avena strigosa* S). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 21, n. 2, p. 127-134, 1999. Disponível em: <https://bit.ly/3r91CxK>. Acesso em: 22 fev. 2023.

SHUAI, H.; MENG, Y.; LUO, X.; CHEN, F.; ZHOU, W.; DAI, Y.; QI, Y.; DU, J.; YANG, F.; LIU, J. Exogenous auxin represses soybean seed germination through decreasing the gibberellin/abscisic acid (GA/ABA) ratio. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1-11, 2017. Disponível em: [10.1038/s41598-017-13093-w](https://doi.org/10.1038/s41598-017-13093-w). Acesso em: 21 abr. 2023.

SILVA, F. M. L.; CAVALIERI, S. D.; JOSÉ, A. R. S.; ULLOA, S. M.; VELINI, E. D.. Atividade residual de 2,4-D sobre a emergência de soja em solos com texturas distintas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 1, p. 0-29, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.7824/rbh.v10i1.85>. Acesso em: 23 fev. 2023.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Artmed, 2017. 888 p.

TAVARES, C. J.; PEREIRA, L. S.; ARAÚJO, A. C. F.; MARTINS, D. A.; JAKELAITIS, A. Crescimento inicial de plantas de pequi após aplicação de 2,4-D. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 89, p. 81, 31 mar. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4336/2017.pfb.37.89.1280>. Acesso em: 16 mar. 2023.

TOLEDO, M. Z.; FONSECA, N. R.; CÉSAR, M. L.; SORATTO, R. P.; CAVARIANI, C.; CRUSCIOL, C. A. C.. Qualidade fisiológica e armazenamento de sementes de feijão em função da aplicação tardia de nitrogênio em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 2, p. 124-133, 2009. Disponível em: <https://bit.ly/46uKJxB>. Acesso em: 14 mar. 2023.

VARGAS-HERNANDEZ, M.; MACIAS, B., I.; GUEVARA, G., R. G.; ROMERO, G. S. J.; RICO, G. E.; OCAMPO, V., R. V.; ALVAREZ, A.L. L.; TORRES, P. I. Plant Hormesis Management with Biostimulants of Biotic Origin in Agriculture. **Frontiers In Plant Science**, v. 8, p. 1-11, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2017.01762>. Acesso em: 22 fev. 2023.

VIEIRA, C.; PAULA, T. J. de; BORÉM, A. **Feijão**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2013. 600 p.

VIEIRA, E. H. N.; RAVA, C. A. (ed.). **Sementes de Feijão**: produção e tecnologia. Santo Antonio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 270 p.