

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

Murilo Sampaio Bassi Janegitz

**EFEITO DO USO DE REDUTOR DE ESTRESSE E
SUBDOSES DE 2,4-D NA CULTURA DO ALGODOEIRO
CULTIVADO EM REGIÃO DE BAIXA ALTITUDE**

Dracena

2025

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

Murilo Sampaio Bassi Janegitz

**EFEITO DO USO DE REDUTOR DE ESTRESSE E
SUBDOSES DE 2,4-D NA CULTURA DO ALGODOEIRO
CULTIVADO EM REGIÃO DE BAIXA ALTITUDE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas
– Unesp, Campus de Dracena como parte das
exigências para a conclusão do curso.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Ferrari

Dracena

2025



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: EFEITO DO USO DE REDUTOR DE ESTRESSE E SUBDOSES DE 2,4-D NA CULTURA DO ALGODOEIRO CULTIVADO EM REGIÃO DE BAIXA ALTITUDE

Modalidade: Trabalho de conclusão de curso (Atividade de pesquisa)

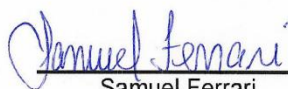
Autor: Murilo Sampaio Bassi Janegitz

Orientador (a): Prof. Dr. Samuel Ferrari

Co-orientador(es):

Número de Créditos: 12

Data da aprovação e correção de acordo com as sugestões da Banca: 13/06/2025


Samuel Ferrari


Diego Cunha Zied


Evandro Pereira Prado

Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas – CCG-EA

Rod. Cmte. João Ribeiro de Barros, km 651- Bairro das Antas – CEP: 17900-000 – Dracena/SP - Brasil
Tel. (18) 3821-8200 – www.dracena.unesp.br – ccgea.dracena@unesp.br

DEDICATÓRIA

A minha família, que sempre me apoiou em todos os meus sonhos até hoje, sendo exemplos de vida fundamentais para a minha evolução pessoal e profissional, me educando e, assim, possibilitando mais essa conquista.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me permitir viver e aprender mais a cada dia.

A Nossa Senhora Aparecida por sempre me recobrir seu manto sagrado protegendo tudo e todos a minha volta.

Agradeço a todos os meus professores, que tive o prazer de acompanhar o trabalho de perto com muito respeito e admiração dentro e fora da sala de aula, principalmente aos membros dessa banca de TCC que se tornaram dentro do ambiente da faculdade referências absolutas por diversos motivos como didática, conhecimento e companheirismo.

Ao meu orientador neste projeto, o professor Dr. Samuel Ferrari, por todos os ensinamentos teóricos, práticos, pessoais, profissionais, pela maneira que prende a atenção dos alunos com sua forma de ensinar e pelo exemplo de ser humano que é. Pela confiança e suporte para mim durante este ano no decorrer do experimento.

Aos meus pais que foram minha base, meus maiores exemplos e me deram todo suporte necessário para chegar até aqui, podendo realizar um dos maiores sonhos da minha vida. Ao meu pai, Sandro Andrei Janegitz, que com sua rigidez sempre me ensinou a ser uma pessoa correta, de caráter e índole inquestionáveis. Minha mãe, Renata Sampaio Bassi, que sempre me inspirou e acreditou em mim com todas as forças, pois sabe o valor que eu dou em cada conquista.

A minha irmã, Mariana Sampaio Bassi Janegitz, que sempre me amparou em momentos de angústia e me mostra todos os dias o quanto a gente precisa correr atrás de tudo aquilo que acreditamos.

A minha namorada, Claudia Silva Belo, por todo amor, carinho e admiração que ela deposita em mim, me dando motivos para crescer na vida pessoal e profissional.

Agradeço a todos os meus amigos dentro e fora da graduação por toda a parceria, respeito, lealdade e que hoje considero família.

A todos que fizeram parte do meu processo de formação deixo aqui meu, muito obrigado.

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa e o Pesquisador (FAPESP) – Número do Processo: 2024/13640-2”.

Agradeço também as empresas Basf e Bience pelo fornecimento das sementes e do redutor de estresse respectivamente.

“Tempos difíceis nunca duram, mas homens fortes serão sempre eternos, pois construíram seu legado ao longo de sua trajetória” (Robert H. Schuller, 1984).

RESUMO

O ciclo produtivo do algodoeiro é longo, tendo duração de 140 a 220 dias dependendo da cultivar utilizada, durante o desenvolvimento a cultura enfrenta períodos de estresse bióticos e abióticos, sendo assim, o uso de produtos que visam minimizar esses efeitos pode ser vantajoso a depender do método usado e da região onde se encontra a lavoura. O uso do herbicida 2,4-D, em pequenas doses, pode vir a estimular o desenvolvimento do algodoeiro, visando o efeito hormese. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi avaliar o desenvolvimento vegetativo, reprodutivo e análise fisiológica do algodoeiro submetidas ao uso de subdoses de 2,4-D e formulado composto de redutores de estresse via foliar. O experimento foi conduzido na Unesp, Campus de Dracena e o delineamento experimental foi em blocos casualizados, disposto em esquema fatorial 5x2. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de cinco subdoses do herbicida 2,4-D (0; 0,68; 2,04; 3,40 e 4,76 g e.a. ha⁻¹) aplicadas via foliar na cultura do algodoeiro, no estágio de desenvolvimento B4, primeiro botão floral no quarto ramo reprodutivo; e com ou sem uso do redutor de estresse, produto comercial Recovery na dose de 1,0 L ha⁻¹, aplicado um dia após a aplicação das subdoses, com 4 repetições, totalizando 40 parcelas. As parcelas foram constituídas de 4 linhas com 6,0 m de comprimento, espaçadas 0,8 m entre si (19,2 m²). A semeadura do algodoeiro foi realizada mecanicamente no dia 12 de novembro de 2024, onde a cultivar usada foi a FM 985 GLTP de ciclo tardio. Foram realizadas avaliações de leitura SPAD de clorofila, altura das plantas, número de nós, número de plantas m², número de capulhos por planta, peso médio de capulhos e produtividade de algodão em caroço. Os dados foram submetidos à análise de variância e posteriormente à análise de regressão polinomial para o fator quantitativo, e teste de Tukey para o fator qualitativo a 5% de probabilidade. Os resultados indicaram que a aplicação de subdoses de 2,4-D, com ou sem redutor de estresse, influenciou as variáveis do algodoeiro de forma distinta onde o número de nós e plantas por metro mantiveram-se estáveis entre os tratamentos. Por outro lado, altura de plantas e leitura SPAD apresentaram respostas dependentes da dose e do redutor, o número de capulhos por planta aumentou com a aplicação de subdoses até encontrar o ponto ótimo do efeito hormese, o peso médio de um capulho diminuiu com o aumento das subdoses, e a produtividade foi maior com o uso do redutor até atingir o ponto ótimo e depois reduziu gradativamente com o aumento das subdoses. Assim, a combinação de subdoses e redutores se mostra promissora no manejo do algodoeiro.

Palavras-chave: Produtividade. *Gossypium hirsutum*. Hormese. Protetor vegetal.

ABSTRACT

The cotton production cycle is long, lasting 140 to 220 days depending on the cultivar used. During development, the crop faces periods of biotic and abiotic stress, so the use of products that aim to minimize these effects may be advantageous depending on the method used and the region where the crop is located. The use of the herbicide 2,4-D, in small doses, may stimulate the development of the cotton plant aiming at the hormesis effect. Thus, the objective of the study was to evaluate the vegetative and reproductive development and physiological analysis of the cotton plant subjected to the use of subdoses of 2,4-D and a formulated compound of stress reducers via foliar application. The experiment was conducted at Unesp, Dracena Campus, and the experimental design was in randomized blocks arranged in a 5x2 factorial scheme. The treatments consisted of a combination of five sub-doses of the herbicide 2,4-D (0; 0.68; 2.04; 3.40 and 4.76 g a.e. ha⁻¹) applied via foliar application to cotton crops at the B4 development stage, first flower bud on the fourth reproductive branch; and with or without the use of the stress reducer, commercial product Recovery at a dose of 1.0 L ha⁻¹, applied one day after the application of the sub-doses, with 4 replicates, totaling 40 plots. The plots consisted of 4 rows of 6.0 m in length, spaced 0.8 m apart (19.2 m²). Cotton was sown mechanically on November 12, 2024, and the cultivar used was FM 985 GLTP, late cycle. Evaluations of SPAD reading of chlorophyll, plant height, number of nodes, number of plants m², number of bolls per plant, average boll weight and seed cotton productivity were performed. The data were subjected to analysis of variance and then to polynomial regression analysis for the quantitative factor and Tukey's test for the qualitative factor at 5% probability. The results indicated that the application of subdoses of 2,4-D, with or without stress reducer, influenced the cotton variables differently, where the number of nodes and plants per meter remained stable between treatments. On the other hand, plant height and SPAD reading showed responses dependent on the dose and reducer, the number of bolls per plant increased with the application of subdoses until reaching the optimum point of the hormesis effect, the average weight of a boll decreased with the increase in subdoses and productivity was higher with the use of the reducer until reaching the optimum point and then gradually reduced with the increase in subdoses. Thus, the combination of subdoses and reducers shows promise in cotton management.

Keywords: Productivity. *Gossypium hirsutum*. Hormesis. Plant protector.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Imagem aérea da fazenda experimental da FCAT	22
Figura 2 - Medição da área experimental	25
Figura 3 - Semeadura do algodoeiro	26
Figura 4 - Instalação do sistema de irrigação	27
Figura 5 - Emergência das plântulas	27
Figura 6 - Plantas com sintomas de Damping-off	29
Figura 7 - Primeira adubação de cobertura	30
Figura 8 - Aplicação dos tratamentos	31
Figura 9 - Segunda adubação de cobertura.....	31
Figura 10 - Características e danos causados pelo bicudo.....	32
Figura 11 - Medição do teor de clorofila (SPAD).....	33
Figura 12 - Primeiro dia de avaliações finais.....	34
Figura 13 - Segundo dia de avaliações e colheita.....	35
Figura 14 - Comparação entre as subdoses sem a presença do redutor quando consideramos os valores da avaliação do SPAD.....	39
Figura 15 - Comparação entre as subdoses com a presença do redutor.....	39
Figura 16 - Comparação entre as subdoses sem a presença do redutor.....	40
Figura 17 - Diferença entre a altura das plantas na aplicação de subdoses distintas, além da presença ou não de redutor de estresse	41
Figura 18 - Produtividade do algodoeiro baseada na aplicação das subdoses do 2,4-D e do uso de redutor de estresse.....	43
Figura 19 - Comparação entre o número de capulhos por plantas baseado na aplicação de subdoses de 2,4 – D e redutor de estresse.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tratamentos aplicados no algodoeiro.....	23
Tabela 2 - Análise de solo de 0 – 20 cm.....	24
Tabela 3 - Defensivos usados durante o ciclo produtivo.....	28
Tabela 4 - Valores de p e teste de comparação de médias para leitura SPAD, altura de plantas, número de nós e plantas por metro.....	37
Tabela 5 - Desdobramento da interação entre o redutor de estresse e subdoses de 2,4-D no algodoeiro para leitura SPAD	38
Tabela 6 - Desdobramento da interação entre o redutor de estresse e subdoses de 2,4-D no algodoeiro para altura de plantas.....	41
Tabela 7 - Valores de p e teste de comparação de médias para número de capulhos por planta, peso de um capulho e produtividade	42
Tabela 8 - Desdobramento da interação entre o redutor de estresse e subdoses de 2,4-D no algodoeiro para número de capulhos por planta.....	44

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2,4-D	Ácido diclorofenoxiacético
e.a.	Equivalente ácido
RNA	Ácido ribonucleico
DNA	Ácido desoxirribonucleico
EPSPS	5-enolpiruvato-shiquimato-3-fosfato sintase
C1	Abertura do primeiro capulho
B4	Aparecimento do botão floral no quarto ramo produtivo
SP	Estado de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
ha ⁻¹	Hectare
P	Fósforo
g	Gramas
Kg	Quilogramas
L	Litros
Mg	Magnésio
Zn	Zinco
Mn	Manganês
Fe	Ferro
Se	Selênio
m	Metros
m ²	Metros quadrados
Sem/m	Sementes por metro
cm	Centímetros
mm	Milímetros
H ₂ O	Água
L ha ⁻¹	Litros por hectare
ml ha ⁻¹	Mililitros por hectare
g ha ⁻¹	Gramas por hectare
Kg ha ⁻¹	Quilogramas por hectare
CO ₂	Dióxido de carbono
N	Nitrogênio
K	Potássio
h	Horas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 OBJETIVOS	16
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3.1 Características da cultura do algodoeiro	17
3.2 Efeito hormese baseado na aplicação das suboses do herbicida 2,4-D.....	18
3.3 Bioestimulantes.....	20
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
4.1 Local e caracterização da área experimental.....	22
4.2 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos.....	22
4.3 Manejo e tratos culturais.....	23
4.4 Avaliações vegetativas e reprodutivas.....	34
4.5 Análise estatística.....	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
6 CONCLUSÃO	45
7 REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a cultura do algodão na safra 2023/24, segundo a (Abrapa, 2024) alcançou o terceiro lugar no ranking mundial dos cotonicultores chegando a marca de 3,69 milhões de toneladas em produção de fibra. Os estados brasileiros que mais realizam o cultivo do algodoeiro atualmente são o Mato Grosso e a Bahia, representando cerca de 90% da produção nacional.

É possível se obter diversos subprodutos com a colheita do algodão, entre eles podemos citar o óleo vegetal extraído do caroço, representando cerca de 17% de todo óleo produzido no mundo; o línter que são fibras curtas que ficam grudadas no caroço, muito usado para produção de torta de algodão; e o farelo que é produzido após a extração do óleo da semente, sendo oferecido como alimento para animais.

O fenômeno conhecido como efeito hormese consiste em utilizar defensivos que tem uso padrão como herbicidas e aplicar subdoses desses produtos na cultura de interesse, estimulando o desenvolvimento da planta a partir da ativação de mecanismos de defesa contra condições adversas, obtendo um resultado semelhante a aplicação de reguladores vegetais.

O 2,4-D é um herbicida de uso muito frequente por produtores tendo ação como mimetizador sintético de auxina e possui caráter sistêmico, o mesmo imita a auxina natural causando efeitos como alteração no crescimento dos tecidos, divisão celular desordenada e senescência das plantas se aplicado em dose padrão (Juan *et al.*, 2021).

Como as subdoses do 2,4-D podem causar fitotoxicidade em plantas, um produto que reduza os estresses causados por essa aplicação pode minimizar esses efeitos tóxicos. As plantas têm relação benéfica com substâncias como aminoácidos e antioxidantes, pois garantem melhores respostas fisiológicas sob estresse, estimulando e aumentando a eficiência no uso de fertilizantes, além de proporcionar uma maior resistência a diversos fatores como o estresse hídrico, períodos de estiagem, temperaturas mais baixas e até ao ataque de pragas e doenças.

O uso de produtos que atuam no metabolismo da planta desempenha função positiva no desenvolvimento, tornando a planta mais resistente aos estresses

bióticos e abióticos (Santos *et al.*, 2017), atuam na otimização do metabolismo antioxidante e proporcionando recuperação do estresse.

Podemos então citar a utilização dos aminoácidos, que se destacam no metabolismo fisiológico da planta agindo no mecanismo de defesa, onde será aplicado o produto com o objetivo de aumentar o enraizamento, reduzir as deficiências nutricionais, desequilíbrios hídricos e lesão pelo uso inadequado de herbicida em geral.

Dessa forma a hipótese deste projeto é de que a aplicação de subdoses do herbicida 2,4-D promova efeito hormese, e que o uso do produto redutor de estresse estimule e prolongue o efeito hormese para uma faixa maior de doses do herbicida nas plantas do algodoeiro, proporcionando maior desenvolvimento vegetativo e aumento de produtividade.

2 OBJETIVOS

O objetivo do trabalho foi avaliar o desenvolvimento vegetativo, reprodutivo e análise fisiológica do algodoeiro submetidas ao uso de subdoses de 2,4-D e formulado composto de redutores de estresse via foliar.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Características da cultura do algodoeiro

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum*), pertencente a raça *Latifolium hueth*, é uma das fibras mais conhecidas no mundo, domesticada há mais de quatro mil anos, no sul da Arábia. No século XVIII, o surgimento de novas máquinas de descaroçamento e de fiação fez a tecelagem de algodão dominar o mercado mundial de fios e tecidos (Ampa, 2017).

Atualmente, a cotonicultura é bastante mecanizada, em seu modo empresarial de produção, que atua principalmente no Cerrado do Centro-Oeste e, no Nordeste, nos cerrados da Bahia (Oeste), Piauí e Maranhão, com produtores oriundos principalmente do Sul e Sudeste (Gov, 2024).

O Brasil superou o Paquistão e passou a ser o quarto maior produtor mundial de algodão, na safra 2023/2024, atrás apenas de Índia, China e Estados Unidos. Esses cinco países responderam por 77% do total da fibra produzida no planeta. O Brasil tornou-se o terceiro maior exportador mundial, atrás de Estados Unidos e Índia, superando a Austrália (Agroadvance, 2024).

O algodoeiro apresenta uma morfologia complexa, com raízes pivotantes que podem atingir até 2,5 metros de profundidade em condições ideais. A ecofisiologia do algodoeiro herbáceo é influenciada por fatores como temperatura, disponibilidade hídrica e fotoperíodo, que afetam diretamente o crescimento e a qualidade da fibra. Estudos indicam que a temperatura ideal para o cultivo varia entre 25°C e 30°C, e a planta é sensível a geadas, necessitando de clima quente e seco para um desenvolvimento adequado (Agrolink, 2018).

As flores são hermafroditas e solitárias, localizadas nas axilas das folhas. São grandes e de coloração branca ou amarelada, tornando-se roxas após a antese. O fruto é a cápsula (ou maçã), que ao amadurecer se abre em três a cinco lóculos, liberando as sementes envoltas por fibras (Borém e Freire, 2014).

A qualidade da fibra é influenciada por fatores ambientais e genéticos. Um estudo realizado na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz avaliou a qualidade da fibra de diferentes cultivares brasileiras de algodão e sua relação com

as condições meteorológicas, destacando a importância de fatores climáticos na determinação da qualidade da fibra (Martins, 2020).

Além da fibra, outro subproduto proveniente do algodão é o óleo extraído do caroço que, segundo (Corsini *et al.*, 2008) é considerado de boa qualidade devido à sua composição equilibrada de ácidos graxos, com destaque para o ácido linoleico e oleico, o que garante boa estabilidade oxidativa e o torna adequado para frituras, produção de biodiesel e produtos sem gorduras trans, abrangendo as formas de consumo e comercialização.

3.2 Efeito Hormese

O fenômeno conhecido na agricultura por efeito hormese (Calabrese, 2005), consiste em utilizar agroquímicos que tinham uso como herbicidas, em subdoses buscando estimular o desenvolvimento da planta a partir da ativação de mecanismos de evitação a condições adversas, gerando efeito semelhante aos reguladores vegetais.

Esse fenômeno foi inicialmente observado no século XIX e o termo empregado pela primeira vez em 1942, em uma publicação que descrevia o crescimento de fungos submetidos a tratamento antibiótico natural (Sagan, 1991).

Os efeitos hormonais ocorrem quando a curva dose-resposta é bifásica, com dois tipos de respostas biológicas no momento em que um organismo é exposto a diferentes doses de um agente de estresse, um estimulante e o outro inibitório (Murado; Vázquez, 2010). Um padrão de resposta bifásica de doses de agentes de estresse, por efeitos hormonais, tem sido observado em muitos organismos, incluindo fungos, plantas, invertebrados e mamíferos, abrangendo seres humanos (Calabrese *et al.*, 2007).

Segundo (Américo *et al.*, 2016) e (Furlani Junior *et al.*, 2011) ao aplicar as subdoses de 2,4-D nas concentrações de 1,90 e 2,72 g e.a. ha⁻¹, respectivamente, o efeito hormese tem uma ação positiva, elevando a produtividade do algodoeiro.

Dessa maneira, segundo (Forbes, 2000) a hormese pode ser considerada como a resposta homeostática que atua na manutenção constante do metabolismo às mudanças do ambiente.

O herbicida usado neste experimento foi o 2,4-dichlorophenoxy acetic acid, também conhecido pela sigla 2,4-D, é caracterizado por ser um mimetizador sintético da auxina com alta concentração, de caráter sistêmico e seletivo. O mesmo, imita a auxina natural em nível molecular e os avanços na identificação de componentes de sinalização da auxina auxiliaram a elucidar os mecanismos moleculares envolvidos no funcionamento dessa molécula como herbicida. Seu efeito no metabolismo vegetal inclui alteração anormal no crescimento dos tecidos, divisão celular desordenada e senescência, causando a morte das plantas (Juan *et al.*, 2021).

O 2,4-D é fabricado na forma de éster butílico, sal de dimetilamina, ácido e sal de colina, podendo ser aplicado em pré e pós-emergência das plantas daninhas, conforme recomendação da bula. O mecanismo de ação desses compostos está relacionado ao metabolismo dos ácidos nucleicos e a plasticidade da parede celular. Acredita-se que o 2,4-D possa atuar na fisiologia da planta semelhante à auxina natural, causando acidificação da parede celular e conseqüentemente seu afrouxamento pelo estímulo da bomba de prótons, induzindo o alongamento celular.

De acordo com (Oliveira Junior, 2011), as baixas concentrações desse herbicida estimulam a RNA polimerase e aumenta a biossíntese de RNA, DNA e proteínas, causando aumentos anormais de auxina e giberelina, promovendo a divisão e alongamento celular acelerado e desordenado nas regiões meristemáticas da planta. Ainda de acordo com o autor, esse herbicida em alta concentração inibe a divisão celular e o crescimento das regiões jovens, acumulando fotoassimilados e moléculas de 2,4-D transportadas pelo floema.

A inibição da enzima EPSPS pelo 2,4-D resulta no acúmulo de chiquimato nos vacúolos. Este acúmulo leva à perda de controle da retroalimentação do fluxo de carbono, na rota do chiquimato. Esta rota é responsável por, aproximadamente, 35% da matéria seca da planta e 20% do carbono fixado pela fotossíntese derivada desta rota (Gazziero; Prete, 2004).

Vários estudos têm demonstrado que o uso de herbicidas como o 2,4-D, em pequenas doses, pode vir a estimular um ganho na massa seca de plantas, tirosina e caroteno, além de aumento na absorção de fósforo (Godoy, 2007).

Para o algodoeiro, a aplicação de subdoses de 2,4-D, nas cultivares FMT 701 e Fibermax 966, causou alterações benéficas no crescimento reprodutivo, gerando maior quantidade de estruturas reprodutivas e maior produtividade de algodão em caroço (Americo *et al.*, 2017). Já para a cana de açúcar (*Saccharum officinarum* L.),

as subdoses de glyphosate proporcionaram maiores concentrações foliares de P, melhorando o crescimento das plantas, produtividade e qualidade tecnológica dos colmos, aumentando o Brix do caldo e o açúcar total recuperável em relação ao controle sem aplicação (Pincelli - Souza *et al.*, 2020).

Outro ensaio, realizado por (Constantin *et al.*, 2007), na cultura do algodão testando derivas controladas de subdoses de 2,4-D, mostrou que na fase de florescimento deste, a porcentagem da dose aplicada deve ser em torno de 0,5% para não causar fitotoxicidade e, conseqüentemente, a senescência das plantas afetadas. Mas já no estágio C1, a sensibilidade é reduzida, pois a planta mais desenvolvida consegue se defender e tolerar uma maior dose do produto, fazendo com que o exemplar que recebeu a aplicação acabe tolerando uma porcentagem 4 vezes maior de deriva da subdose do 2,4-D.

3.3 Bioestimulantes

Como as subdoses do 2,4-D podem causar fitoxidade em plantas, um produto que reduza os estresses causados por essa aplicação pode minimizar esses efeitos tóxicos. As plantas têm relação benéfica com substâncias como aminoácidos e antioxidantes, porque garantem melhores respostas fisiológicas sob estresse, estimulando e aumentando a eficiência no uso de fertilizantes, além de proporcionar uma maior resistência a diversos fatores como o estresse hídrico, períodos de estiagem, temperaturas mais baixas e até ao ataque de pragas e doenças. O uso de produtos que atuam no metabolismo da planta desempenha função positiva no desenvolvimento, tornando a planta mais resistente aos estresses bióticos e abióticos (Santos *et al.*, 2017), atuam na otimização do metabolismo antioxidante e proporcionando recuperação do estresse.

Os aminoácidos nada mais são do que compostos formados por carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio (grupo amino) que vão formar as proteínas, essenciais para o desenvolvimento das plantas. Podendo ser aplicado com o objetivo de aumentar o enraizamento, reduzir as deficiências nutricionais, desequilíbrios hídricos e lesão pelo uso inadequado de herbicida em geral.

O produto usado neste experimento tem o nome comercial de Recovery, que neste caso tem ação de recuperar ou reduzir os estresses causados pela aplicação das subdoses do 2,4-D, com a intenção de possibilitar uma alteração na faixa de aplicação podendo tanto reduzir quanto aumentar as quantidades em granulometria das doses, conseguindo melhores resultados gastando menos herbicida ou conseguindo recuperar, se for aplicado uma dose maior, tornando a aplicação mais favorável e ainda sim aumentando a produtividade por hectare.

A aplicação dessa substância durante e após as condições de estresse fornece às plantas aminoácidos, que são diretamente relacionados à fisiologia do estresse. Por isso, atuam diretamente na prevenção e recuperação das plantas.

A prolina e o quaternário de amônio glicina betaína possuem funções de grande valia, principalmente para as plantas que sofrem estresses abióticos decorrentes de deficiência hídrica ou ocorrência de aplicação de subdoses de herbicidas por deriva, sendo estas duas das principais causas de disfunções e reduções em produtividades (Monteiro *et al.*, 2014).

Logo, esses compostos são osmoprotetores que estão envolvidos na sinalização e regulação das respostas das plantas a múltiplos estresses, desempenhando papéis adaptativos na medição do ajuste osmótico e na proteção de estruturas subcelulares em plantas estressadas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido a campo, na fazenda experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT), Campus de Dracena-SP (Figura 1).

Figura 1– Imagem aérea obtida por drone da fazenda experimental da FCAT/UNESP



Fonte: Emanuel Bispo Ramos (2025).

O solo da área é classificado como ARGISSOLO VERMELHO AMARELO distrófico, de textura arenosa A textura do solo, determinada pelo método da pipeta foi: 86,6 g.kg⁻¹ de argila, 836,5 g.kg⁻¹ de areia e 76,9 g.kg⁻¹ de silte.

4.2 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos

O delineamento experimental foi realizado em blocos casualizados disposto em esquema fatorial 5x2. Como pode ser observado na Tabela 1, os tratamentos foram constituídos pela combinação de cinco subdoses do herbicida 2,4-D (produto comercial DMA 806 BR 670 g e.a. L⁻¹): 0; 0,68; 2,04; 3,40 e 4,76 g e.a. ha⁻¹, aplicadas via foliar na cultura do algodoeiro, no estágio de desenvolvimento B4, primeiro botão floral no quarto ramo reprodutivo (Marur; Ruano, 2001), no dia 30/12/2024 (43 dias após emergência); e com ou sem uso do redutor de estresse, produto comercial Recovery (Empresa Bience) (composto por 6% de N, 5% de Mg,

0,5% de Zn, 3% de Mn, 1% de Fe, 1% de Se, aminoácidos e compostos antioxidantes) na dose de 1,0 L.ha⁻¹ (recomendação do fabricante), aplicado um dia após a aplicação das subdoses, com 4 repetições, totalizando 40 parcelas. As subdoses de 2,4-D utilizadas foram estabelecidas baseando-se nos trabalhos de (Ferrari *et al.*, 2021), (Marsala *et al.*, 2022) e (Mateus, 2024).

Tabela 1 – Tratamentos aplicados na área experimental do algodoeiro, Dracena – SP, safra (2024/2025)

Tratamento	Dose produto comercial (g e.a. ha⁻¹)	Com ou Sem o uso de Redutor
1	0	Com
2	0,68	Com
3	2,04	Com
4	3,40	Com
5	4,76	Com
6	0	Sem
7	0,68	Sem
8	2,04	Sem
9	3,40	Sem
10	4,76	Sem

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024).

4.3 Manejo e tratos culturais

O experimento foi implantado em área que estava com a cultura do milho na safra 2023/24 e anteriormente com a cultura da soja e feijoeiro. As parcelas foram constituídas de 4 linhas com 6,0 m de comprimento cada uma e espaçadas 0,8 m entre si (19,2 m²). A área útil de cada parcela foi constituída pelas 2 linhas centrais, desprezando as outras duas linhas laterais e também 0,50 m em ambas das extremidades de cada linha.

No dia 29 de agosto de 2024 foi retirada uma amostra composta de solo, na profundidade de 0 – 0,2 metros, formada por 20 amostras simples, coletadas em zig-zag mantendo a homogeneidade da área. Após o solo secar naturalmente, no dia 10 de setembro de 2024, este foi peneirado e enviado para análise química no Campus

de Ilha Solteira, para posteriormente, no dia 21 de setembro de 2024, ser realizada a calagem de acordo com os resultados da análise de solo (Tabela 2).

Tabela 2 - Caracterização dos atributos químicos do solo na profundidade de 0 – 0,2m

Atributos químicos do solo	Unidade	Camada 0 – 20 cm
P – Resina	mg dm ⁻³	26
MO (Matéria Orgânica)	g dm ⁻³	13
pH – CaCl ₂	-	6.4
K (Potássio)	mmol _c dm ⁻³	2.5
Ca (Cálcio)	mmol _c dm ⁻³	28
Mg (Magnésio)	mmol _c dm ⁻³	17
H ⁺ +Al ³ (Acidez potencial)	mmol _c dm ⁻³	9
Al (Alumínio)	mmol _c dm ⁻³	0
SB (Soma de bases)	mmol _c dm ⁻³	47.5
S (SO ₄) (Enxofre)	mg dm ⁻³	7
CTC (Cap. De troca Catiôn.)	mmol _c dm ⁻³	56.5
V (Saturação por bases)	%	84
Ca/CTC	%	50
Mg/CTC	%	30
M (Saturação por Al)	%	0
B (Boro)	mg dm ⁻³	0.06
Cu (Cobre)	mg dm ⁻³	1.3
Fe (Ferro)	mg dm ⁻³	8
Mn (Manganês)	mg dm ⁻³	10.6
Zn (Zinco)	mg dm ⁻³	1.1

Fonte: Laboratório de fertilidade do solo da FEIS. Adaptado pelo autor (2024).

Na sequência foi realizado o preparo do solo por meio de aração e gradagem, pois o algodoeiro deve ser semeado no sistema plantio direto, sem a presença de nenhum tipo de planta daninha ou tiguera na área.

No dia 22 de outubro de 2024, como mostra a Figura 2, foi realizada a medição da área de plantio para a elaboração do croqui que auxiliou na adequação e conhecimento maior da área para tudo correr bem no momento da semeadura, respeitando os limites e as curvas.

Figura 2 – Medição da área experimental para elaboração do croqui



Fonte: Lorayni J. Meneses (2024).

Exatamente 5 dias antes da semeadura (08/11/24), foi feita uma pulverização tratorizada em área total de glifosato na dose de 4 litros por hectare, visando a dessecação das plantas daninhas presentes no local, para que a semeadura fosse realizada com a área limpa.

A regulagem do maquinário utilizado foi feita no dia 9 de novembro de 2024, e, no processo foi regulado o espaçamento entre linhas (0,80 m), quantidade de sementes por metro (9,75 sem/m), a quantidade de fertilizante que foi dispensado por hectare (312 kg ha⁻¹ de 08-28-16) e a profundidade de semeadura (2 cm).

A semeadura do algodoeiro foi realizada mecanicamente (Figura 3), no dia 12 de novembro de 2024 e a cultivar utilizada foi a FM 985 GLTP de ciclo tardio, cedida para nós pela empresa Basf, com o intuito de auxiliar no desenvolvimento desse projeto científico. Essas sementes são classificadas como vigorosas, resistentes à doença azul e suscetíveis à virose atípica, proporcionando um rendimento de fibra de 40-41% e população de plantas recomendada de 85.000 a 90.000 plantas ha⁻¹ (BASF, 2021).

Figura 3 – Semeadura do algodoeiro na área estipulada para o experimento



Fonte: Murilo Janegitz (2024).

O sistema de irrigação, abrangendo a área útil do experimento destinado ao salvamento e incorporação de adubações, foi instalado no local da semeadura um dia após ser feita (13/11/24), como ilustrado na Figura 4. Este era composto por aspersores que ao serem ligados tinham a capacidade de jogar 12 milímetros de água por hora cada um e permaneceram ligados durante 3 horas (totalizando 36 mm), após a montagem a estrutura foi ativada com o intuito de simular uma primeira precipitação após a semeadura da cultura, garantindo um molhamento uniforme e elevando a taxa de sucesso no momento da emergência. Já no período da tarde, deste mesmo dia foi aplicado um herbicida pré-emergente com ação residual e seletivo a cultura, chamado Power H₂O, na dose de 3 litros por hectare, para garantir que a emergência das plântulas acontecesse sem a presença de plantas invasoras.

Figura 4 – Instalação do sistema de irrigação após a semeadura do algodoeiro



Fonte: Vitor Rodrigues (2024).

Posteriormente (15/11/24), foi realizada outra irrigação na mesma intensidade que a anterior e durante o mesmo período de tempo, se mantendo assim durante todo o ciclo da cultura. A emergência total das plântulas (Figura 5) ocorreu 5 dias após a semeadura como já esperado (17/11/2024), dessa maneira, no dia 18 de novembro de 2024 foi feito o replantio das linhas que possuíam falhas das sementes que não conseguiram germinar e depois a irrigação foi acionada, garantindo o molhamento das plântulas emergidas e das sementes replantadas.

Figura 5 – Emergência das plântulas de algodão após 5 dias de semeadura



Fonte: Murilo Janegitz (2024).

Como podemos observar na tabela 3, o controle de pragas e doenças na área das parcelas experimentais foi realizado com aplicação de produtos químicos recomendados para a cultura do algodoeiro, respeitando-se as doses e períodos de carência de cada produto. O controle de plantas daninhas foi realizado por meio de capinas manuais, evitando assim, qualquer contaminação com outro herbicida na área de avaliação.

Tabela 3 – Defensivos agrícolas usados durante o ciclo da cultura.

Produto	Classe	Dose
Glifosato	Herbicida	4 L ha ⁻¹
Power H ₂ O	Herbicida	3 L ha ⁻¹
Decis	Inseticida	400 ml ha ⁻¹
Pirate	Inseticida	1,5 L ha ⁻¹
Actara	Inseticida	100 g ha ⁻¹
Ópera	Fungicida	500 ml ha ⁻¹
Nativo	Fungicida	700 ml ha ⁻¹
Malathion	Inseticida	1,5 e 2 L ha ⁻¹
Pix HC	Bioregulador	150 e 250 ml ha ⁻¹
Heat	Herbicida	100 g ha ⁻¹

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Na data de 22 de novembro de 2024, foi realizada uma aplicação tratorizada em área total de dois inseticidas, que possuem ação de contato e ingestão, sendo eles o Decis com a dose de 400 ml ha⁻¹, em consórcio com o pirate na dose de 1,5 L ha para o controle efetivo da lagarta elasmó. Nas datas subsequentes, sendo elas 23 e 27/11 de 2024, foram realizadas irrigações que seguiram os padrões já esclarecidos, a fim de auxiliar no salvamento por causa de períodos de veranico.

O raleio para manter a quantidade de plantas correta na área (42 a cada 6m), a capina a fim de retirar plantas daninhas e a marcação dos blocos e das parcelas com o auxílio das bandeirinhas ocorreu em 02/12/2024. No dia seguinte foi aplicado em área total o inseticida Actara, que tem ação sistêmica para controle do pulgão, da trips e da mosca branca na dose de 100 g ha⁻¹, pois foi descoberta a incidência destes na área. Além disso também foi observado, ao retirar algumas plantas do solo, que a cultura estava com a presença do fungo causador do Damping-off,

trazendo características como baixo enraizamento e, conseqüentemente, o tombamento destas, como registrado na figura 6 e, dessa maneira, para controlar a ação do fungo, foram realizadas duas aplicações pulverizadas feitas na bomba costal do fungicida Ópera na dose de 500 ml ha⁻¹ nos dias 5 e 12/12/2024, na regulagem de 200 litros por hectare.

Figura 6 – Plantas com sintomas de Damping-off (tombamento)



Fonte: Vitor Rodrigues (2024).

A primeira adubação de cobertura (Figura 7) foi realizada no dia 12 de dezembro de 2024 (30 dias após a semeadura), onde foram aplicados 60 kg ha⁻¹ de N, com o auxílio da carriola na dose de 300 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio, liberando assim 240g de adubo a cada 10 metros, sendo calculadas com base nas características químicas do solo através do resultado da análise química e levando-se em consideração as recomendações de (Fuzatto *et al.*, 2014), e foi seguida por uma irrigação de 2 horas (cerca de 24 mm totais), apenas para garantir uma boa penetração do adubo no solo.

Figura 7 – Imagens da primeira adubação de cobertura no algodão



Fonte: Murilo Janegitz (2024).

A Figura 8 (A e B) mostram as aplicações das 5 subdoses do herbicida 0 ml; 0,02 ml; 0,06 ml; 0,1 ml; 0,15 ml; diluídas em 20 L de água e realizadas em 30/12/2024 e do redutor de estresse, em apenas metade das parcelas com de 75 ml no dia seguinte (31/12/2024). Foram realizadas na forma de jato dirigido, com pulverizador tipo costal de CO₂ com pressão e volume constantes, de 200 L ha⁻¹, munido de barra de aplicação de alumínio com 6 bicos e espaçamento de 50 cm entre bicos. As aplicações foram realizadas no período da tarde entre os horários das 17h às 18h, com ausência ou pouca incidência de vento.

Figura 8 – Aplicação dos tratamentos nas parcelas experimentais



Fonte: Murilo Janegitz (2024).

A segunda adubação de cobertura (Figura 9) foi realizada no dia 06 de janeiro de 2025 (25 dias após a primeira adubação), onde foram aplicados 40 kg ha^{-1} de N e K, com o auxílio da carriola na dose de 200 kg ha^{-1} do fertilizante 20-05-20, liberando assim, 160 g de adubo a cada 10 metros e, posteriormente, a irrigação foi ligada durante 2 horas (24 mm), apenas para garantir uma melhor penetração no solo.

Figura 9 – Registro fotográfico da segunda adubação de cobertura



Fonte: Murilo Janegitz (2025).

No dia 9 de janeiro de 2025, foi feita mais uma pulverização tratorizada em área total do inseticida Decis que tem ação de ingestão e contato na dose de 400 ml ha⁻¹ + o fungicida Nativo na dose de 700 ml ha⁻¹ que tem ação sistêmica e mesosistêmica, seguida por uma irrigação de 3 horas (36 mm) no dia 10/01/2025.

A aplicação pela primeira vez do inseticida Malathion, para o controle do bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis*), que é a praga de mais relevância presente na cultura (figura 10 – A), foi realizada por pulverização em área total na dose de 2 litros por hectare (20/01/2025). Na Figura 10 (B) está ilustrado a severidade do ataque dessa principal praga para a cultura e a dificuldade de controle pois o inseto se desenvolve dentro das maçãs.

Figura 10 – Características do bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis*) e os danos nas maçãs vinculados ao seu ataque

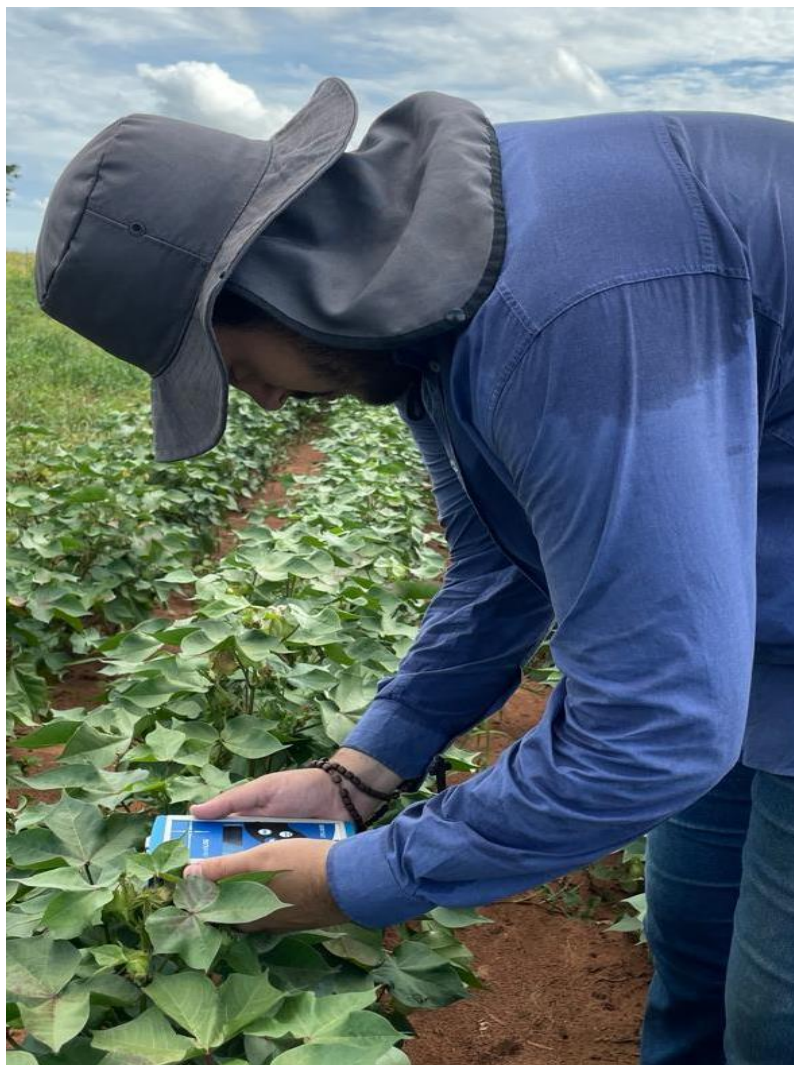


Fonte: Murilo Janegitz (2025).

Na data de (03/02/2025) ocorreu uma aplicação em área total de Decis na dose de 400 ml ha⁻¹ em conjunto com o Pix Hc na dose de 150 ml ha⁻¹, logo na sequência, dois dias depois, no pleno florescimento do algodoeiro (05/02/2025) foram realizadas medições indiretas do teor de clorofila na quinta folha desenvolvida

do ápice para a base em 20 plantas por parcela com o clorofilômetro Falker CFL 1030 (Figura 11), causando uma homogeneidade/padronização após serem feitas as médias dos valores de cada parcela.

Figura 11 – Medições do teor de clorofila (SPAD)



Fonte: Lorayni J. Meneses (2025).

Foi realizada mais uma aplicação em área total em (13/02/2025) do inseticida Decis na dose de 400 ml ha^{-1} + o regulador de crescimento Pix HC na dose de 250 ml ha^{-1} (com a intenção de segurar o crescimento vegetativo da cultura, mantendo assim um porte mais baixo).

Nos dias 19, 25, 28/02 e 10/03 de 2025 foi pulverizado na área o inseticida Malathion, na dose de 1,5 litros por hectare, para controle efetivo do ataque severo do bicudo-do-algodoeiro, as únicas coisas que foram adicionadas a mais na calda no momento da aplicação foram 250 ml ha⁻¹ do regulador de crescimento Pix HC no dia 25 e 400 ml ha⁻¹ do inseticida Decis no dia 10, finalizando assim o ciclo de pulverizações, restando apenas a aplicação do desfolhante Heat na dose de 100 g ha⁻¹, dias antes da colheita manual do algodão (02/04/2025).

4.4 Avaliações vegetativas e reprodutivas

Na maturidade do algodoeiro (04/04/2025) foram realizadas 3 medições sendo elas: altura das plantas em 20 exemplares na área útil das parcelas, com a utilização de trenas, medindo-se a partir do colo da planta até a última ramificação do meristema apical. A avaliação do número de nós foi feita por contagem manual e visual do número de nós presentes nas plantas escolhidas, que nesse caso foram as mesmas que medimos a altura. Para finalizar foi avaliado o número de plantas por metro pela contagem do número de plantas na área útil da parcela, que são as duas linhas centrais, desprezando tanto os primeiros 0,5 m na bordadura, quanto as duas linhas laterais (Figura 12 – A e B).

Figura 12 – Primeiro dia de avaliações onde medimos a altura, o número de nós e o número de plantas por metro.



Fonte: Murilo Janegitz (2025).

Também foram determinados os componentes de produção em (11 e 12/04/2025), na área útil de cada parcela, iniciando pelo número de capulhos por planta por contagem direta dos capulhos em condições favoráveis de conservação e maturidade. Foi avaliado o peso médio de capulhos, onde foram colhidos 20 capulhos no terço médio das plantas escolhidas e, após a pesagem, foram realizadas as contas, chegando na média de cada parcela existente. E por fim, avaliou-se a produtividade de algodão em caroço pela colheita manual de todos os capulhos da área útil da parcela (duas linhas centrais), onde após a colheita cada parcela foi pesada separadamente, em balança de precisão, garantindo uma menor diferença entre os números obtidos (Figura 13 – A e B).

Figura 13 – Segundo dia de avaliações (número de capulhos por planta, peso médio de capulhos e produtividade) e colheita manual do algodão



Fonte: Murilo Janegitz (2025).

4.5. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e posteriormente à análise de regressão polinomial para o fator quantitativo e teste de Tukey para o fator qualitativo, a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico SISVAR versão 5.3.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para leitura SPAD e altura de plantas houve interação significativa entre os tratamentos e os resultados foram demonstrados nas tabelas de desdobramento (5 e 6).

Como pode ser visto na Tabela 4, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos para o número de nós por planta. Os valores oscilaram levemente entre as doses, variando de 16,31 a 16,96 nós por planta. (Santos *et al.*, 2009) também relataram que o número de nós por planta não foi significativamente afetado por diferentes doses de nitrogênio, sugerindo que essa característica é relativamente estável frente a variações nos tratamentos.

Tabela 4 - Valores de p e teste de comparação de médias para leitura spad, altura de plantas, número de nós por planta e plantas por metro em função de subdoses de 2,4-D e uso de redutor de estresse. Dracena-SP, ano agrícola 2024/25.

Teste F	Leitura Spad	Altura de plantas (m)	Número de nós por planta (n°)	Plantas por metro (n°)
			p	
Redutor (r)	0,0166	0,0036	0,9453	0,1422
Subdose (s)	0,0268	0,0000	0,3416	0,4661
s*r	0,0161	0,0000	0,1786	0,0610
Com redutor	-	-	16,63 a	7,95 a
Sem redutor	-	-	16,61 a	8,08 a
C.V. %	-	-	4,12	3,39
D.M.S.	-	-	0,44	0,18
Regressão Polinomial				
0	-	-	16,74	8,00
0,68	-	-	16,40	7,89
2,04	-	-	16,31	7,99
3,4	-	-	16,96	8,05
4,76	-	-	16,68	8,14
p (linear)	-	-	0,5726	0,1639
p (quadrática)	-	-	0,3636	0,3033
r2 (linear %)	-	-	6,91	55,58
r2 (quadrática %)	-	-	24,99	85,47

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Da mesma forma, (Tabela 4) o número de plantas por metro se manteve estável para os tratamentos avaliados e as médias variaram de 7,89 a 8,14 plantas por metro. Isso indica que, o estande foi uniforme entre as parcelas, e que o herbicida e o redutor não interferiram na densidade final da cultura. (Marques *et al.*, 2021) observaram que subdoses de 2,4-D não afetaram significativamente a densidade de plantas em diferentes estádios fenológicos do algodoeiro.

Para a leitura SPAD do teor de clorofila (Tabela 5) foi verificado que, onde não aplicou a subdose as maiores leituras foram obtidas com o uso do redutor de estresse (51,27 unidades SPAD), para as demais subdoses não foram encontrados resultados significativos entre usar ou não o redutor de estresse.

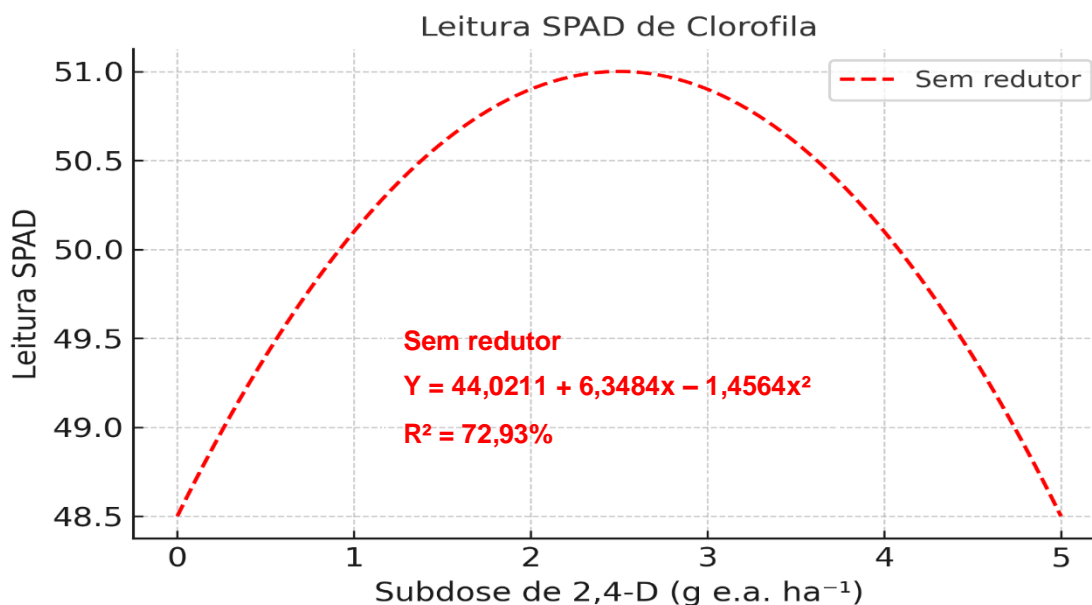
Ao avaliar a análise de regressão para as subdoses de 2,4-D (Figura 14) foi verificado que o efeito hormese em subdoses baixas não estimula a planta, mas ao fazer o uso da dose de 2,14 g de e.a. ha⁻¹ houve um estímulo proporcionando maior leitura SPAD onde não foi aplicado redutor de estresse e depois disso houve um resultado estressante, pois subdoses mais altas causam efeitos negativos, assim como foi retratado no trabalho de (Mateus, 2024), que observou resultados semelhantes onde relatou uma redução do índice SPAD em doses de 2,4-D maiores que o valor encontrado como o ideal, especialmente na ausência de reguladores de crescimento.

Tabela 5 - Desdobramento da interação entre uso de redutor de estresse e subdoses de 2,4-D no algodoeiro para para leitura spad de clorofila. Dracena-SP, ano agrícola 2024/25.

Subdoses	Redutor de estresse	
	Com	Sem
0	51,27 a	43,43 b
0,68	52,24 a	49,50 a
2,04	49,69 a	52,85 a
3,4	50,91 a	47,07 a
4,76	47,61 a	46,85 a
D.M.S.		4,32
p (linear)	0,0766	0,3574
p (quadrática)	0,3996	0,0006 ⁽¹⁾
r2 (linear %)	59,17	3,98
r2 (quadrática %)	71,95	72,93
Equação Polinomial		
⁽¹⁾ $Y = 44,0211 + 6,3484x - 1,4564x^2$		

Médias seguidas pela mesma letra na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

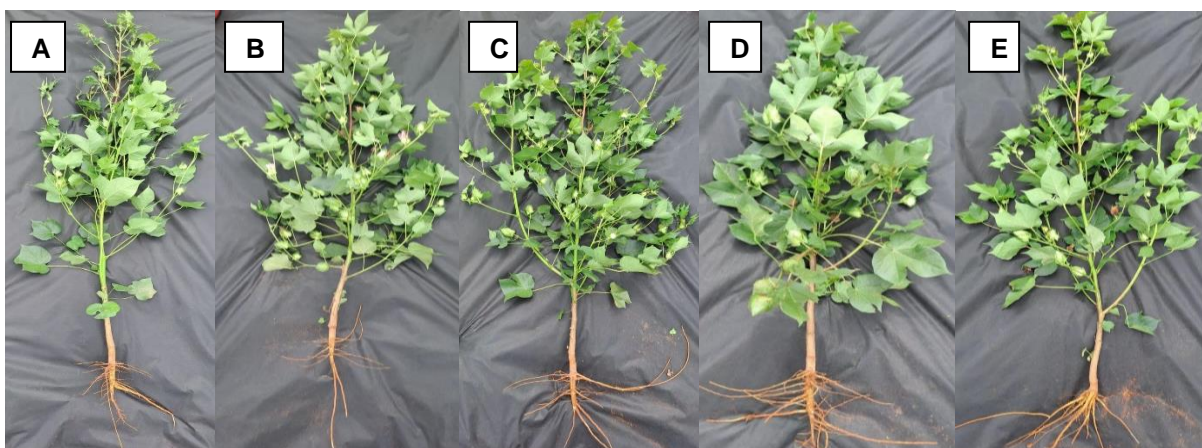
Figura 14 – Comparação entre as subdoses sem a presença do redutor quando consideramos os valores da avaliação do SPAD.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

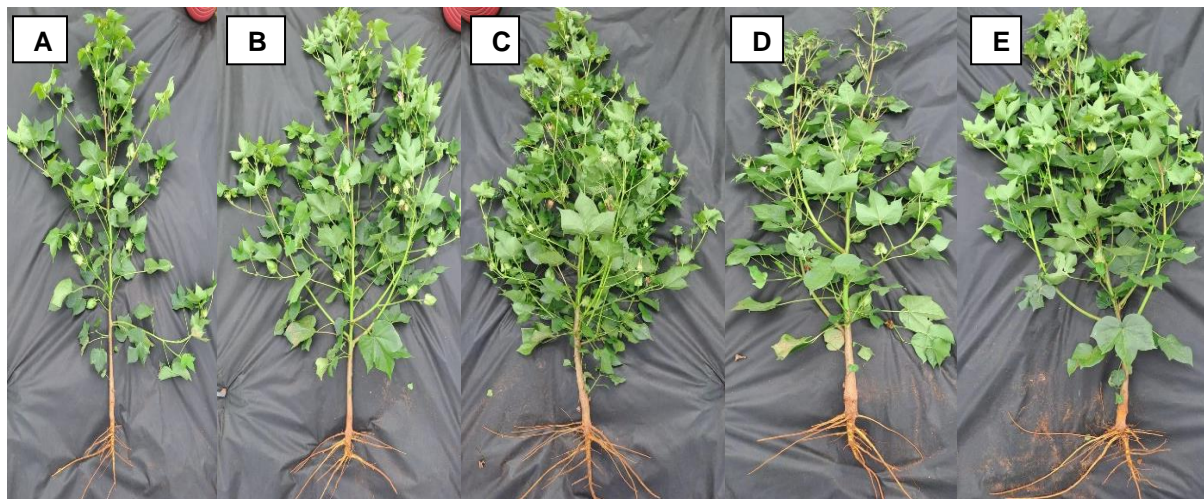
No dia 05/02/25, foram retiradas fotos de exemplares de cada parcela a título de comparação entre elas, procurando elucidar o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo do algodoeiro, como registrado na Figura 15 – A, B, C, D e E e na Figura 16 – A, B, C, D e E.

Figura 15 – Comparação visual entre as diferentes doses (A: 0; B: 0,68; C: 2,04; D: 3,40; E: 4,76) com a presença do redutor de estresse



Fonte: Murilo Janegitz (2025).

Figura 16 - Comparação visual entre as diferentes doses (A: 0; B: 0,68; C: 2,04; D: 3,40; E: 4,76) sem a presença do redutor de estresse



Fonte: Murilo Janegitz (2025).

Na Tabela 6, ao avaliar a altura de plantas, comparando o uso ou não do redutor de estresse para as diferentes subdoses, onde não foi aplicado a subdose a maior altura foi encontrada nas plantas que não receberam o redutor. Isso também aconteceu para a dose de 2,04 e para a dose de 4,76 g de e.a. ha⁻¹, assim como analisado por (Américo, 2015) que observou um incremento na altura de plantas de algodoeiro com o aumento das subdoses de 2,4-D. Por outro lado, a dose de 0,68 apresentou maiores médias de altura quando ocorreu o uso de redutor de estresse mostrando que em subdoses menores a planta acaba tendo maior crescimento vegetativo, se o redutor for aplicado.

Ao analisar as diferentes subdoses pela análise de regressão (Figura 17), foi verificado que com o uso de redutor de estresse a menor altura foi encontrada na subdose de 1,6 g de e.a. ha⁻¹, já nas parcelas que não receberam o redutor de estresse a menor altura foi verificada com a subdose 1,7 g de e.a. ha⁻¹.

Tabela 6 - Desdobramento da interação entre uso de redutor de estresse e subdoses de 2,4-D no algodoeiro para altura de plantas. Dracena-SP, ano agrícola 2024/25.

Subdoses	Redutor de estresse	
	Com (m)	Sem (m)
0	1,29 b	1,40 a
0,68	1,39 a	1,25 b
2,04	1,19 b	1,35 a
3,4	1,32 a	1,33 a
4,76	1,41 b	1,49 a
D.M.S.	0,06	
p (linear)	0,0166	0,0019
p (quadrática)	0,0008 ⁽¹⁾	0,0000 ⁽²⁾
r ² (linear %)	10,76	19,61
r ² (quadrática %)	34,30	78,58

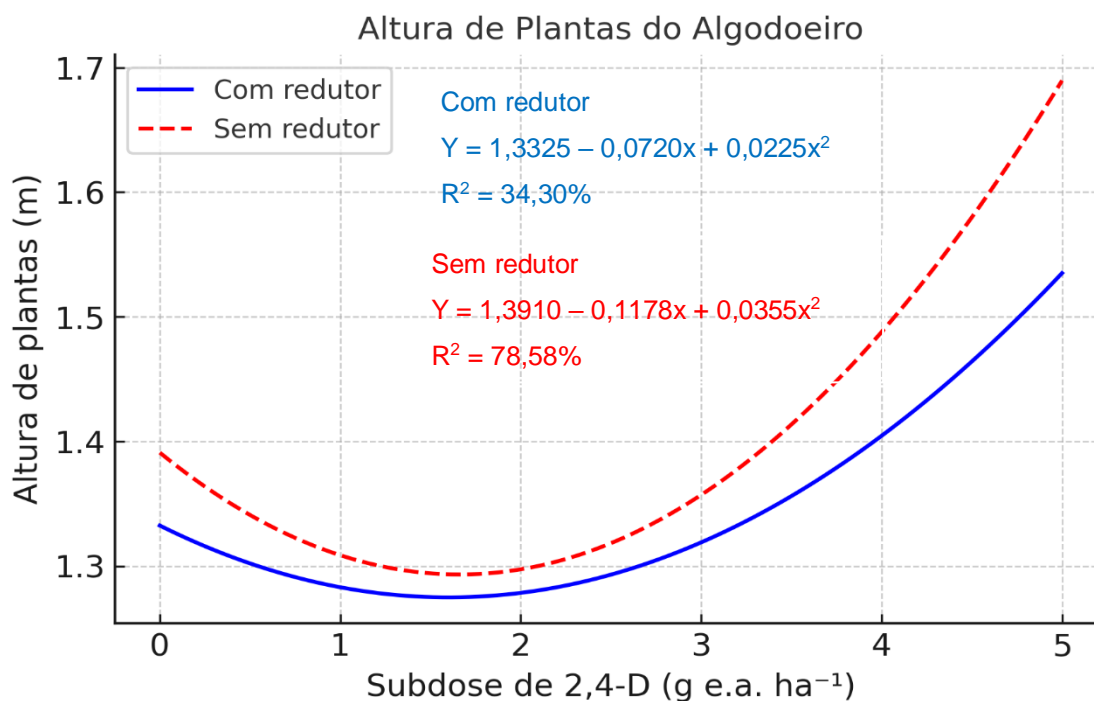
Equação Polinomial

⁽¹⁾ $Y = 1,3325 - 0,0720x + 0,0225x^2$

⁽²⁾ $Y = 1,3910 - 0,1178x + 0,0355x^2$

Médias seguidas pela mesma letra na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 17 – Diferença entre a altura das plantas na aplicação de subdoses distintas, além da presença ou não de redutor de estresse.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Para número de capulhos por planta houve interação significativa entre os tratamentos e os resultados foram demonstrados na Tabela 8 de desdobramento.

A Tabela 7 ilustra que o peso médio de um capulho não apresentou diferença estatística significativa para o uso do redutor de estresse e nem para os tratamentos. Porém, houve resultados significativos para as subdoses demonstrando um ajuste linear o que indica que com o aumento das subdoses houve a diminuição do peso de um capulho.

Tabela 7 - Valores de p e teste de comparação de médias para número de capulhos por planta, peso de um capulho e produtividade de algodão em caroço do algodoeiro em função de subdoses de 2,4-D e uso de redutor de estresse. Dracena-SP, ano agrícola 2024/25.

Teste F	Nº Capulho (nº)	Peso de um capulho (g)	Produtividade (kg ha ⁻¹)
		p	
Redutor (r)	0,0005	0,0627	0,0002
Subdose (s)	0,0000	0,0000	0,0012
s*r	0,0448	0,3682	0,0845
Com redutor	-	4,74 a	2334,17 a
Sem redutor	-	4,54 a	2100,74 b
C.V. %	-	7,16	7,33
D.M.S.	-	0,22	118,75
Regressão Polinomial			
0	-	5,05	2875,28
0,68	-	5,06	3205,46
2,04	-	4,55	2484,37
3,4	-	4,30	1331,56
4,76	-	4,26	1190,61
p (linear)	-	0,0000 ⁽¹⁾	0,0000
p (quadrática)	-	0,6896	0,0000 ⁽²⁾
r2 (linear %)	-	89,39	82,82
r2 (quadrática %)	-	89,76	88,78
Equação			

$$^{(1)} Y = 5,1105 - 0,2340x$$

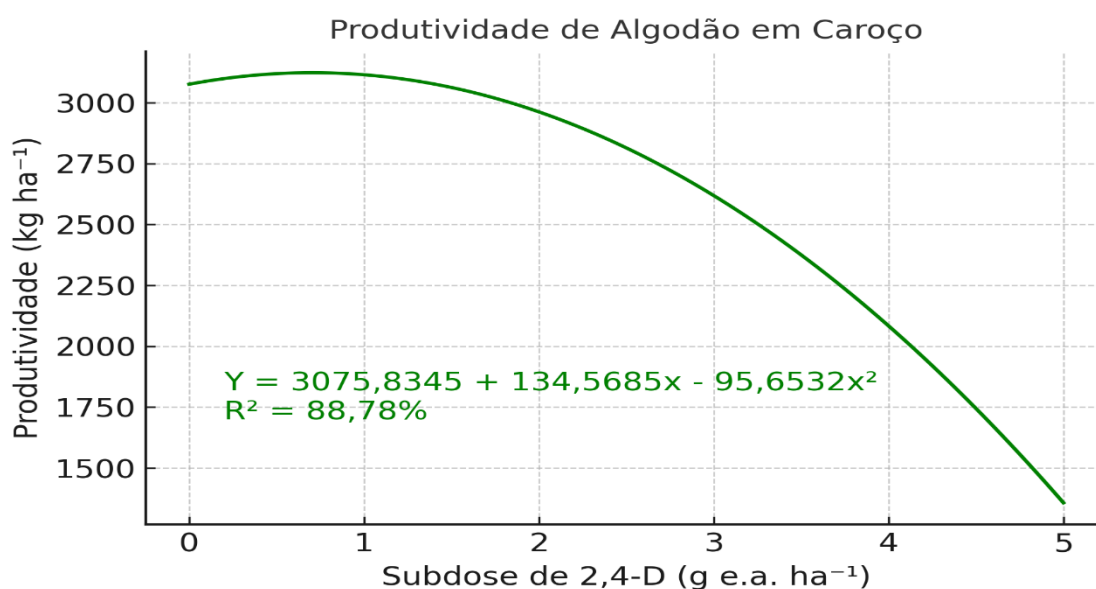
$$^{(2)} Y = 3075,8345 + 134,5685x - 95,6532x^2$$

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Para a produtividade (Tabela 7) não houve interação entre os tratamentos, mas houve resultados significativos para as subdoses de 2,4-D e para o uso do redutor de estresse. Ao fazer ou não o uso de redutor de estresse as maiores

médias foram encontradas com a aplicação do redutor e nas subdoses o ajuste foi quadrático, encontrando assim o efeito hormese no ponto de máxima na subdose de 0,70 g de e.a. ha⁻¹ como representado abaixo na Figura 18. Chegando bem próximo do valor estudado por (Silva *et al.*, 2023) que revelaram uma subdose ótima de 0,75 g de e.a. ha⁻¹ para a aplicação de herbicida consorciado com o redutor de estresse caracterizando o efeito hormese.

Figura 18 – Produtividade do algodão baseada na aplicação das subdoses do 2,4-D e do uso de redutor de estresse



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Levando em consideração os valores da Tabela 8, a variável número de capulhos por planta ao comparar os resultados com ou sem o redutor de estresse para as diferentes subdoses foi encontrado que, para as subdoses 0; 0,68 e 4,76 g de e.a. ha⁻¹ não houve diferença entre as médias em usar ou não o redutor de estresse, porém nas doses 2,04 e 3,46 g de e.a. ha⁻¹, as maiores médias foram encontradas ao fazer uso do redutor de estresse. Assim como (Ferrari, 2015), que realizou um experimento no Campus de Ilha Solteira utilizando a cultivar FMT 701 e observou aumento no número de capulhos por planta quando aplicou a subdose de 20 g e.a. ha⁻¹ de glifosato em diferentes estádios da cultura.

Ao avaliar as subdoses baseado na análise de regressão, foi verificado na Figura 19, que com o uso do redutor de estresse a maior quantidade de capulhos

por planta foi encontrada na subdose 0,92 g de e.a. ha⁻¹ que é o ponto que foi encontrado dessa forma o efeito hormese. Nas parcelas que não receberam o redutor a dose mínima encontrada foi de 0,65 g de e.a. ha⁻¹.

Tabela 8 - Desdobramento da interação entre uso de redutor de estresse e subdoses de 2,4-D no algodoeiro para número de capulhos por planta. Dracena-SP, ano agrícola 2024/25.

Subdoses	Redutor de estresse	
	Com (Cap.)	Sem (Cap.)
0	10,27 a	10,06 a
0,68	10,85 a	10,35 a
2,04	10,68 a	8,47 b
3,4	7,01 a	4,88 b
4,76	4,10 a	3,60 a
D.M.S.	1,29	
p (linear)	0,0000	0,0000
p (quadrática)	0,0000 ⁽¹⁾	0,0073 ⁽²⁾
r ² (linear %)	74,92	89,78
r ² (quadrática %)	97,34	94,21

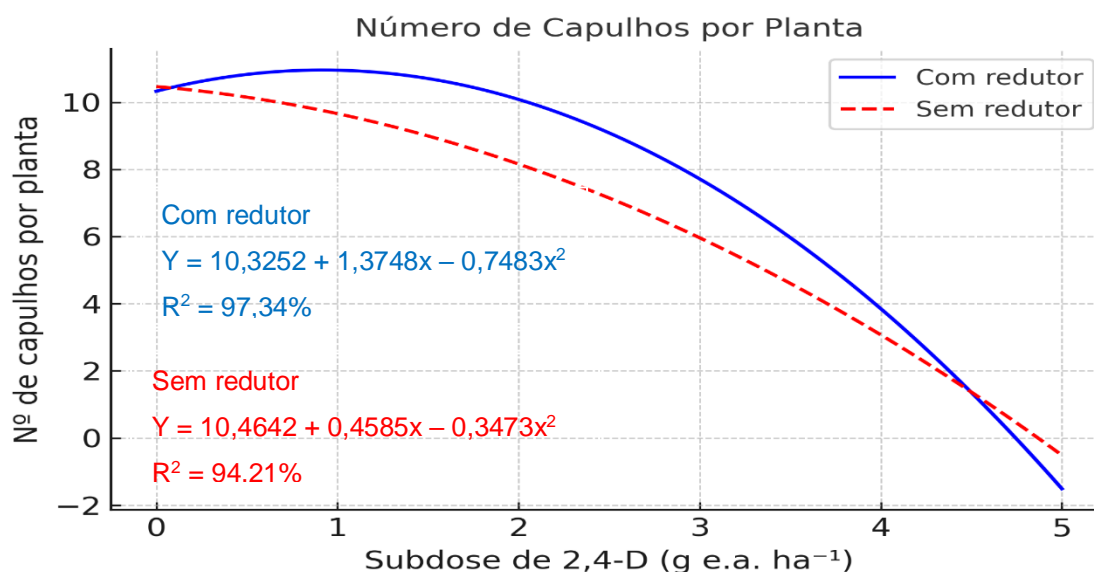
Equação Polinomial

$$^{(1)} Y = 10,3252 + 1,3748x - 0,7483x^2$$

$$^{(2)} Y = 10,4642 - 0,4585x - 0,3473x^2$$

Médias seguidas pela mesma letra na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 19 – Comparação entre o número de capulhos por plantas baseado na aplicação de subdoses de 2,4-D e redutor de estresse



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

6 CONCLUSÃO

Características como número de nós e plantas por metro mantiveram-se estáveis entre os tratamentos. Por outro lado, altura de plantas e leitura SPAD apresentaram respostas dependentes da dose e do redutor, com resultados mais favoráveis entre 1,6 e 2,14 g de e.a. ha⁻¹, caracterizando a ação do efeito hormese. O número de capulhos por planta aumentou com a aplicação de subdoses, destacando-se a subdose de 0,92 g de e.a. ha⁻¹ com redutor como ponto fisiológico máximo, diferentemente do peso médio dos capulhos, que teve caráter linear e diminuiu com o aumento das subdoses de 2,4 – D. Já a produtividade foi maior na dose máxima de 0,70 g de e.a. ha⁻¹, com o uso do redutor de estresse atingindo o ponto do efeito hormese. Assim, a combinação de subdoses e redutores se mostra promissora no manejo do algodoeiro.

7 REFERÊNCIAS

ABRAPA - Associação Brasileira dos Produtores de Algodão. **Dados do algodão no mundo**. Disponível em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/algodao-no-mundo.aspx>. Acesso em: 23 nov. 2023.

AGROADVANCE. **5 maiores produtores de algodão do mundo**. Disponível em: [https://agroadvance.com.br/?utm_source=direct&utm_medium=\(none\)&utm_campaign=&utm_content=blog-5-maiores-produtores-de-algodao-do-mundo&utm_term=](https://agroadvance.com.br/?utm_source=direct&utm_medium=(none)&utm_campaign=&utm_content=blog-5-maiores-produtores-de-algodao-do-mundo&utm_term=). Acesso em: 04 jun. 2025.

AGROLINK. **Características da cultura do algodão**. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/culturas/algodao/informacoes-da-cultura/informacoes-gerais/caracteristicas-da-cultura-do-algodao_438109.html. Acesso em: 04 jun. 2025.

AMÉRICO, Gabriela Helena Pinê. **Crescimento e produtividade do algodoeiro em função da aplicação de subdoses de 2,4-D e cloreto de mepiquat**. 2015. 53 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2015.

AMÉRICO, G. H. P.; AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; FURLANI JR, E. Hormesis effect of dichlorophenoxy acetic acid sub-doses and mepiquat chloride on cotton plant. **Planta Daninha**, v. 35, p. e017166065, 2017.

AMPA - ASSOCIAÇÃO MATOGROSSENSE DOS PRODUTORES DE ALGODÃO. **História do Algodão**. Disponível em: http://www.ampa.com.br/site/qs_historia.php. Acesso em: 04 fev. 2017.

BASF. **Proteção de cultivos e sementes**. Disponível em: <https://agriculture.basf.com/br/pt/protecao-de-cultivos-e-sementes/produtos/fibermax/variedades-fibermax/FM-911GLTP.html>. Acesso em: 25 maio 2021.

BORÉM, A.; FREIRE, E. C. **Algodão: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2014.

BRASIL - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Valor Bruto da Produção Agrícola (VBP)**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/noticias/valor-da-producao-agropecuaria-de2019-devera-superar-o-deste-ano>. Acesso em: 19 dez. 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Conheça características da produção de algodão no Brasil**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/conheca-caracteristicas-da-producao-de-algodao-no-brasil>. Acesso em: 04 jun. 2025.

CALABRESE, E. J. Paradigm lost, paradigm found: the reemergence of hormesis as a fundamental dose response model in the toxicological sciences. **Environment Pollution**, n. 138, p. 378–411, 2005.

CALABRESE, E. J.; BACHMANN, K. A.; BAILER, U. J. Biological stress response terminology: integrating the concepts of adaptive response and preconditioning stress within a hormetic dose–response framework. **Toxicology and Applied Pharmacology**, v. 222, p. 122–128, 2007.

CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; FAGLIARI, J. R. Efeito de subdoses de 2,4-D na produtividade do algodão e suscetibilidade da cultura em função de seu estágio de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**, v. 27, p. 24–29, 2007.

CORSINI, M. S.; JORGE, N.; MIGUEL, A. M. R. O.; VICENTE, E. Perfil de ácidos graxos e avaliação da alteração em óleos de fritura. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 5, p. 956–961, 2008.

FERRARI, J. V. **Glyphosate subdoses of application systems and growth regulator on cotton**. 2015. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira, 2015.

FERRARI, S.; ALMEIDA, M. da S.; CUNHA, M. L. O.; NAKAYAMA, F. T.; FURLANI JÚNIOR, E. Effects of 2,4-D + Picloram subdoses on cotton crop. **Ciência Agrícola**, v. 19, n. 2, p. 175–182, 2021.

FUNDAÇÃO GOIÁS. **Resultados da safra 2016/17 – Casa do Algodão**. Goiânia: Fundação Goiás, 2016. 198 p. Disponível em: <https://www.fundacaogoiás.org.br>. Acesso em: 04 jun. 2025.

FURLANI JÚNIOR, E. Effects of 2,4-D + Picloram subdoses on cotton crop. **Ciência Agrícola**, v. 19, n. 2, p. 175–182, 2021.

FORBES, V. E. Is hormesis an evolutionary expectation? **Functional Ecology**, v. 14, n. 1, p. 12–24, 2000.

FUZATTO, M. G.; CIA, E.; CARVALHO, L. H.; KONDO, J. I. Algodão. In: AGUIAR, T. da E. (org.). **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2014. p. 11–14. (Boletim Técnico, 200).

GAZZIERO, D. L. P.; PRETE, C. E. C. Resistência é a questão. **Revista Cultivar**, Porto Alegre, v. 4, n. 1, p. 22-24, 2004.

GODOY, M. C. **Efeitos do glyphosate sobre o crescimento e absorção de fósforo pela soja**. 2007. 53 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

JUAN, V. F.; FRE, F. N.; SAINT-ANDRÉ, H. M. Responses of 2,4-D resistant Brassica rapa L. biotype to various 2,4-D formulations and other auxinic herbicides. **Crop Protection**, v. 145, p. 105621, 2021.

MARQUES, R. F.; PINHEIRO, G. H.; ARAUJO, P. P. Efeito de subdoses de sal colina de 2,4-D nas características da fibra de algodão. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 52, n. 2, p. 1–9, 2021.

MARSALA, L.; CUNHA, M. L. O.; NASCIMENTO, V.; PRADO, E. P.; VIANA, R. S.; FERRARI, S. Can 2,4-D promote the hormesis effect in upland rice? **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, 2022.

MARTINS, Isabella Theresa de Almeida. **Fisiologia e crescimento de cultivares de algodoeiro submetidas a déficit hídrico**. 2020. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-13102020-095751/publico/Isabella_Theresa_de_Almeida_Martins_versao_revisada.pdf. Acesso em: 04 jun. 2025.

MARUR, C. A.; RUANO, O. A. A reference system for determination of developmental stages of upland cotton. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Brasília, D.F., v. 5, n. 2, p. 313–317, 2001.

MATEUS, M. P. de B. **Hormese por 2,4-D em algodoeiro na interação com regulador de crescimento**. 2024. 63 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, 2024.

MATEUS, Matheus Pereira de Brito. **Hormese por 2,4-D em algodoeiro na interação com regulador de crescimento**. 2024. 68 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2024.

MONTEIRO, J. G.; CRUZ, F. J.; NARDIN, M. B. Crescimento e conteúdo de prolina em plântulas de guandu submetidas a estresse osmótico e à putrescina exógena. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 1, p. 18–25, 2014.

MURADO, M. A.; VÁZQUEZ, J. A. Biphasic toxicodynamic features of some antimicrobial agents on microbial growth: a dynamic mathematical model and its implications on hormesis. **BMC Microbiology**, v. 10, p. 220–234, 2010.

PINCELLI-SOUZA, R. P.; BORTOLHEIRO, F. P.; CARBONARI, C. A. Hormetic effect of glyphosate persists during the entire growth period and increases sugarcane yield. **Pest Management Science**, v. 76, n. 7, p. 2388–2394, 2020.

SAGAN, L. A. Radiation hormesis: evidence for radiation stimulation and speculation regarding mechanisms. **Radiation Physics and Chemistry**, Melbourne, v. 37, n. 2, p. 313–317, 1991.

SANTOS, J. P.; BORGES, T. S.; SILVA, N. T. Efeito de bioestimulantes no desenvolvimento do feijoeiro. **Revista da Universidade do Vale do Rio Verde**, v. 15, n. 1, p. 815–824, 2017.

SANTOS, D. M.; JUNIOR, E. F.; FERRARI, S. Correlação entre doses de nitrogênio e leituras SPAD de clorofila em algodoeiro. **Revista Cultura Agronômica**, Botucatu, v. 18, n. 1, p. 5–13, 2009.

SILVA, A. B.; PEREIRA, C. D.; ALMEIDA, E. F. Efeitos de reguladores de crescimento sobre a produtividade de culturas submetidas a diferentes subdoses de herbicida. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 17, n. 2, p. 123–131, 2023. doi:10.1590/RBH.2023.17.2.123
