

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

Brendon de Alcântara Santos

**MANEJO DE BIOESTIMULANTE À BASE DE AMINOÁCIDOS
E SUBSTÂNCIAS HÚMICAS NO CRESCIMENTO E
PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA**

Dracena

2024

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

Brendon de Alcântara Santos

**Manejo de bioestimulante à base de aminoácidos e
substâncias húmicas no crescimento e produtividade da
cultura da soja**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à
Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas
– Unesp, Câmpus de Dracena como parte das
exigências para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Shintate Galindo

Dracena

2024



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: Manejo de bioestimulante à base de aminoácidos e substâncias húmicas no crescimento e produtividade da cultura da soja

Modalidade: Trabalho de Atividades de pesquisa

Autor: Brendon de Alcântara Santos

Orientador (a): Prof. Dr. Fernando Shintate Galindo

Número de Créditos: 12

Data da aprovação e correção de acordo com as sugestões da Banca: 08/11/2024

Prof. Dr. Fernando S. Galindo
UNESP/FCAT - DRACENA
(18) 96120-8054
fernando.galindo@unesp.br

Fernando Shintate
Galindo

Carolina dos Santos
Batista Bonini

Guilherme Carlos
Fernandes

DEDICATÓRIA

Ao meu pai Adriano de Santana Santos e minha mãe Cleonice Santos de Alcântara, que me educaram e me possibilitaram mais essa conquista, que me deram apoio incondicional em todos os momentos difíceis da minha trajetória, pelo carinho, afeto e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Agradecer primeiro a Deus que sem ele nada seria possível, que sempre esteve ali protegendo e abençoando cada passo, dando forças quando tudo ficava difícil e o único pensamento era desistir por que estava difícil, mas nada é tão complicado que uma conversa com ele não possa inspirar e dar novos motivos e novas forças pra lutar a batalha novamente.

Agradecer ao homem que me trouxe pra esse mundo da agropecuária que amo tanto, o homem que me inspira todo dia ser uma pessoal e um profissional melhor o herói da minha vida meu pai Adriano, que sempre me deu apoio e forças pra fazer tudo que sempre quis e a correr atrás dos meus sonhos e nunca me deixou fraquejar ou se quer pensar em parar, e minha mãe Cleonice que com seu amor e proteção incondicional sempre me fazendo ver as coisas da melhor forma sempre me dando conselhos e ensinamentos que me levaram a este momento.

Agradecer os meus dois motivos de ter feito uma faculdade meu irmão e minha irmã, que sempre quis ser alguém que os dois tivessem orgulho e alguém pra se inspirar pra fazer um curso superior e crescer profissionalmente.

A minha casa em Dracena, a república Boi Gordo onde tive momentos bom e momentos ruins, mas sempre levando tudo da melhor maneira, onde sempre aprendia uma coisa nova e muitos ensinamentos que aprendi com cada morador, e amizades que levo da faculdade pra vida.

Aos meus amigos Ângelo, Felipe, Joao Paulo e Jose Vitor, que desde que entraram na minha vida sempre estiveram comigo independente de tudo dando apoio, conselhos e uma amizade que quero levar pra sempre na minha vida.

Meu orientador, Prof. Dr. Fernando Shintate Galindo que viu algo em mim que ninguém mais via, que acreditou em mim me deu oportunidade e a única coisa que eu podia fazer era responder as expectativas dele, agradecer pelas oportunidades pelos conselhos pelos puxões de orelha que se não fosse a ajuda dele também não estaria conseguindo realizar meu sonho.

Ao Grupo de ensino, Pesquisa e Extensão em Sistemas Agrícolas Sustentáveis – GEPESAS, que me introduziram nesse mundo da pesquisa que peguei muita afeição em relação a isso, que fizeram de mim uma pessoa melhor e um profissional mais adequado.

“Por isso não tema, pois estou com você;
não tenha medo, pois sou o seu Deus.
Eu o fortalecerei e o ajudarei;
eu o segurarei
com a minha mão direita vitoriosa.”
(Isaías 41:10).

RESUMO

A busca por estratégias para mitigar os efeitos negativos de condições de estresse abiótico relacionados às adversidades climáticas, aliados à solos de baixa fertilidade e matéria orgânica, comuns nas condições tropicais, como exemplo a região da Nova Alta Paulista, tem resultado no desenvolvimento de produtos que atuam no manejo fisiológico das plantas, incrementando a absorção de água e nutrientes, a fim de se promover maior tolerância e crescimento das plantas em condições adversas.

Os bioestimulantes empregados na agricultura visam o aumento no crescimento e desenvolvimento vegetal, e podem ser uma opção viável para mitigar os efeitos negativos do estresse hídrico e térmico na cultura da soja. A adoção de tecnologias e produtos que tenham efeito bioestimulante, biopromotor ou atenuadores de efeitos de estresses abióticos são promissoras, principalmente em função do potencial efeito promotor de crescimento de raízes e parte aérea, com potenciais benefícios à cultura da soja. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de formas e épocas de aplicação de um biostimulante à base de aminoácidos e substâncias húmicas no crescimento, desenvolvimento e produtividade da soja. O projeto de pesquisa foi desenvolvido no município de Dracena – SP na safra 2022/23, em um Argissolo Vermelho distrófico típico de textura arenosa. O experimento foi realizado em delineamento experimental em blocos casualizados com quatro repetições, contendo 6 tratamentos: 1) controle – sem aplicação de bioestimulante; 2) 200 mL ha⁻¹ do produto comercial bioestimulante nas sementes + 300 mL ha⁻¹ pulverizado via foliar em V4 (3 trifólios completamente desenvolvidos) + 300 mL ha⁻¹ via foliar em R1 (início do florescimento); 3) 800 mL ha⁻¹ em V2; 4) 800 mL ha⁻¹ em V4; 5) 400 mL ha⁻¹ em V4 + 400 mL ha⁻¹ em R1; 6) 800 mL ha⁻¹ em R1. A aplicação do bioestimulante beneficiou o crescimento e desenvolvimento da soja, com aumento no ICF, fotossíntese líquida e principais componentes produtivos como número de grãos por planta e massa de grãos, refletindo em maior produção de massa seca e produtividade de grãos de soja. Os tratamentos constituídos da aplicação do bioestimulante totalmente em V2, V4 e em V4 + R1 propiciaram maior desenvolvimento e crescimento da soja comparativamente aos demais tratamentos, em especial ao tratamento controle. A aplicação em V2 apresentou incremento na massa seca de parte aérea de 43,7% (1819 kg ha⁻¹), 8,3% (459 kg ha⁻¹) e 11,6% (622 kg ha⁻¹) comparativamente aos tratamentos controle, aplicação total em V4 e V4 + R1, respectivamente. Ainda, a aplicação em V2 apresentou incremento na produtividade de grãos de 30,7% (791 kg ha⁻¹, equivalente à 13,2 sacas ha⁻¹ de soja), 7,2% (221 kg ha⁻¹ equivalente à 3,7 sacas ha⁻¹ de soja) e 7,8% (245 kg ha⁻¹ equivalente à 4,1 sacas ha⁻¹ de soja) comparativamente aos tratamentos controle, aplicação total em V4 e V4 + R1, respectivamente. A aplicação do bioestimulante à base de aminoácidos e substâncias húmicas em momentos de déficit hídrico apresentam melhores resultados comparativamente à aplicação nos estádios no qual ocorreram disponibilidade hídrica adequada, sendo um fator importante para a tomada de decisão quanto ao melhor momento de aplicação.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill, efeito bioestimulante na cultura da soja, bioestimulantes na agricultura tropical.

ABSTRACT

The search for strategies to mitigate the negative effects of abiotic stress conditions related to climatic adversities, combined with low fertility soils and low organic matter, which are common in tropical conditions, such as the Nova Alta Paulista region, has led to the development of products that act on the physiological management of plants, enhancing water and nutrient uptake to promote greater tolerance and growth under adverse conditions. Biostimulants used in agriculture aim to enhance plant growth and development and may offer a viable option to mitigate the negative effects of water and thermal stress in soybean crops. The adoption of technologies and products with biostimulant, biopromoter, or stress-attenuating effects is promising, especially due to their potential to promote root and shoot growth, with potential benefits for soybean cultivation. The objective of this study was to evaluate the effect of different application methods and timing of a biostimulant based on amino acids and humic substances on the growth, development, and yield of soybean. The research project was conducted in the municipality of Dracena, São Paulo, during the 2022/23 growing season, in a typical sandy-textured Ultisol. The experiment was set up in a randomized block design with four replications, comprising six treatments: 1) control – no biostimulant application; 2) 200 mL ha⁻¹ of the commercial biostimulant applied to seeds + 300 mL ha⁻¹ sprayed foliar at V4 (3 fully developed trifoliolate leaves) + 300 mL ha⁻¹ foliar at R1 (beginning of flowering); 3) 800 mL ha⁻¹ at V2; 4) 800 mL ha⁻¹ at V4; 5) 400 mL ha⁻¹ at V4 + 400 mL ha⁻¹ at R1; 6) 800 mL ha⁻¹ at R1. The application of the biostimulant improved soybean growth and development, increasing the leaf chlorophyll index (SPAD), net photosynthetic rate (A) and key yield components such as the number of grains per plant and grain weight, resulting in higher dry mass production and soybean grain yield. The treatments with biostimulant applications at V2, V4, and V4 + R1 stages showed greater soybean development and growth compared to the other treatments, especially the control. The application at V2 resulted in an increase in shoot dry mass of 43.7% (1819 kg ha⁻¹), 8.3% (459 kg ha⁻¹), and 11.6% (622 kg ha⁻¹) compared to the control, full V4 application, and V4 + R1 application, respectively. Additionally, the V2 application increased grain yield by 30.7% (791 kg ha⁻¹, equivalent to 13.2 sacks ha⁻¹ of soybeans), 7.2% (221 kg ha⁻¹, equivalent to 3.7 sacks ha⁻¹), and 7.8% (245 kg ha⁻¹, equivalent to 4.1 sacks ha⁻¹) compared to the control, full V4 application, and V4 + R1 application, respectively. The application of the biostimulant based on amino acids and humic substances during periods of water deficit showed better results compared to applications during stages with adequate water availability, which is an important factor in decision-making regarding the best application timing.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merrill, biostimulant effect on soybean crops, biostimulants in tropical agriculture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Foto aérea retirada do Google Earth com a área experimental (localizada junto à Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas da UNESP de Dracena - SP) em evidência.....	22
Figura 2 - Bioestimulante à base de aminoácidos e substâncias húmicas utilizado.....	25
Figura 3 - Foto comparativa dos tratamentos em florescimento pleno (R2). Dracena – SP, 2022/2023... ..	30
Figura 4 - Chuva, temperatura mínima, média e máxima na área experimental durante a condução do experimento. Dracena - SP.....	34

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Atributos químicos e granulométricos do solo nas camadas 0-0,20m e 0,20-0,40m antes do início do experimento.....23
- Tabela 2** - Resumo dos tratamentos aplicados no estudo.....24
- Tabela 3** - Índice de clorofila foliar (SPAD), fotossíntese líquida (A), massa seca de parte aérea, raiz e total da soja em função de formas e épocas de aplicação de bioestimulante à base de aminoácidos e substâncias húmicas. Dracena – SP, 2022/2023.....29
- Tabela 4** - Altura de plantas, número de vagens por planta, grãos por vagem, grãos por planta, massa de 100 grãos, massa seca de palhada e produtividade de grãos de soja em função de formas e épocas de aplicação de bioestimulante à base de aminoácidos e substâncias húmicas. Dracena – SP, 2022/2023.....31

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.1 Objetivos Específicos	16
3 REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1 A soja no Brasil	17
3.2 O cultivo da soja.....	19
3.3 Cultivo em solo arenoso	20
3.4 Bioestimulante à base de aminoácidos e substâncias húmicas.....	20
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
4.1 Caracterização da área experimental	22
4.2 Delineamento experimental e tratamentos	23
4.3 Caracterização do bioestimulante	24
4.4 Manejo cultural da soja	26
4.5 Avaliações realizadas.....	27
4.6 Análise estatística	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
6 CONCLUSÕES	34
7 REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merr.) é uma das mais importantes culturas agrícolas de interesse econômico do mundo, sendo a maior fonte de proteína de origem vegetal e uma das mais importantes fontes de óleo vegetal do planeta (ZHANG et al., 2018). O Brasil é o maior produtor e exportador de soja do mundo, apresentando produtividade média de 3.539 kg ha⁻¹ (CONAB, 2022). A fim de se atender à crescente necessidade de produção de alimentos, fibras e energia resultante de uma população em rápida expansão, aliado à escassez de novas áreas agricultáveis e mudanças climáticas, a produtividade e a qualidade da soja devem ser crescentes em uma velocidade maior do que em outras épocas da humanidade.

No entanto, na agricultura moderna, a redução do impacto ambiental, garantindo elevadas produtividades de grãos aliadas à alta qualidade do produto é um objetivo primordial (GALINDO et al., 2022a). Para evitar o uso excessivo de insumos externos, sem comprometer o desempenho das culturas, é fundamental a busca pelo aumento da disponibilidade de nutrientes no solo e maior eficiência de uso de água e nutrientes para uma produção agrícola sustentável (GALINDO et al., 2022b). Diversas estratégias de pesquisa podem ser exploradas para atingir esse objetivo, como melhorar a eficiência fotossintética das plantas, otimizar a utilização de carbono (C), aumentar a eficiência da fixação de nitrogênio (N) e produção e manutenção de aminoácidos e proteínas, além de ajustar o processo de crescimento e desenvolvimento da cultura frente às condições de estresse abiótico, como temperatura elevada, déficit hídrico e solos de baixa fertilidade natural, condição recorrente em regiões tropicais (NATARAJAN et al., 2013; KOESTER et al., 2014; ZHANG et al., 2018).

A busca por estratégias para mitigar os efeitos negativos das mudanças climáticas, como redução na quantidade e distribuição de chuvas e aumento das temperaturas globais, tem resultado no desenvolvimento de produtos que atuam no manejo fisiológico das culturas, a fim de se promover maior tolerância e crescimento das plantas em condições adversas de estresse abiótico e biótico (PACUTA et al., 2021). No que se refere ao estresse abiótico, o déficit hídrico e temperaturas elevadas são os principais fatores na diminuição da produtividade e qualidade do grão de soja, problemática essa agravada nas condições tropicais e em solos

arenosos e de baixa fertilidade, em função da baixa capacidade de retenção de águas e isolamento térmico propiciado por cobertura vegetal, muitas vezes inexistente ou insatisfatória. Uma das soluções mais inovadoras e promissoras para enfrentar esses importantes desafios consiste no uso de bioestimulantes na agricultura (ANITHA, 2020).

Os bioestimulantes são definidos como substâncias naturais ou sintéticas, oriundos da mistura de dois ou mais substâncias microrganismos ou destes com outras substâncias (aminoácidos, nutrientes, vitaminas, extratos vegetais e fitohormônios), que podem ser aplicados diretamente nas plantas ou em tratamento de sementes (KOCIRA et al., 2020a; CARADONIA et al., 2022).

Essas substâncias favorecem a expressão do potencial genético das plantas mediante alterações nos processos vitais e estruturais, promovem o equilíbrio hormonal e estimulam o desenvolvimento do sistema radicular (GALINDO et al., 2015). Muitos desses produtos aumentam a absorção de água e de nutrientes pelas plantas, bem como sua resistência aos estresses hídricos e aos efeitos residuais de herbicidas no solo, fazendo com que seu uso na agricultura seja crescente (KOCIRA et al., 2020b; OTHIBENG et al., 2021). Os aminoácidos têm sido empregados na agricultura há décadas nas mais diversas culturas e podem provocar efeitos diretos relacionados com a assimilação de N, de enzimas do ciclo do ácido tricarbóxico (TCA), atividades hormonais, efeitos quelantes e antioxidantes, atuando ainda como fator de sinalização para diferentes processos fisiológicos, como os receptores de glutamato (GRL) e bem como efeitos indiretos, relacionados com a nutrição e crescimento vegetal, por meio do aumento da biomassa e atividade de microrganismos, fertilidade, respiração do solo e regulação do metabolismo antioxidante das plantas (POPKO et al., 2018; ALFOSEA-SIMÓN et al., 2020; KOCIRA et al., 2020a; POORGADIR et al., 2020).

As substâncias húmicas (SH) são compostos orgânicos produzidos pela decomposição de resíduos vegetais e animais e pelo metabolismo microbiano e podem ser divididas com base em propriedades químicas em humina, ácido húmico e ácido fúlvico (SEYEDBAGHERI 2010; CANELLAS et al. 2015; CARADONIA et al., 2022). Esses compostos estimulam a produção de hormônios vegetais naturais (auxinas, citocininas e giberelinas) que podem afetar positivamente os mecanismos fisiológicos do desenvolvimento vegetal. Os ácidos húmicos presentes nas SH, podem promover o aumento da síntese de H⁺-ATPase de membrana, o que

favoreceria a ativação das bombas de H⁺, responsáveis pelo desenvolvimento de raízes laterais, com otimização na absorção de água e nutrientes do solo por maior exploração do volume de solo pelo sistema radicular (FAÇANHA et al., 2002; CANELLAS, 2005). Além disso, devido às suas propriedades químicas, como quelação, mineralização, tamponamento, interação argilomineral-orgânica e capacidade de troca catiônica, o HS pode desempenhar um papel fundamental em sistemas agrícolas com menor utilização de insumos e de baixo impacto ambiental (SEYEDBAGHERRI 2010; CARADONIA et al., 2022).

Considerando que a cultura da soja é extremamente suscetível às mudanças climáticas, principalmente relacionadas ao déficit hídrico e elevadas temperaturas, e com base no exposto, a adoção de tecnologias e produtos que tenham efeito bioestimulante, biopromotor ou atenuadores de efeitos de estresses abióticos são promissoras, principalmente em função do potencial efeito promotor de crescimento de raízes e parte aérea, com potenciais benefícios à cultura da soja nas condições tropicais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de formas e épocas de aplicação de um bioestimulante à base de aminoácidos e substâncias húmicas no crescimento, desenvolvimento e produtividade da soja na região da Nova Alta Paulista.

2.1 Objetivos Específicos

- Avaliar a influência da aplicação do biostimulante à base de aminoácidos e substâncias húmicas no desenvolvimento vegetativo da cultura da soja, analisando o índice de clorofila foliar, massa seca de parte aérea e raízes em ocasião de florescimento pleno;
- Avaliar o crescimento e desenvolvimento reprodutivo da cultura da soja, analisando os principais componentes produtivos e produtividade de grãos por vagem da soja;

- Analisar a viabilidade e resposta de aplicação do bioestimulante à base de aminoácidos e substâncias húmicas na cultura da soja através de manejo cultural sustentável em condições de estresse abiótico;

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A soja no Brasil

A soja desempenha um papel fundamental no agronegócio brasileiro, consolidando-se como uma das principais culturas do país e posicionando o Brasil como o maior produtor e exportador mundial dessa commodity. Esse crescimento está associado a diversos fatores, como a expansão agrícola nas regiões do Cerrado, avanços tecnológicos, políticas de incentivo e o aumento da demanda global por alimentos e biocombustíveis (FAO, 2021). A trajetória da soja no Brasil reflete uma história de inovação e adaptação às condições locais, ao mesmo tempo em que enfrenta desafios relacionados à sustentabilidade e ao impacto ambiental.

A introdução da soja no Brasil ocorreu no início do século XX, inicialmente como uma cultura secundária para forragem e adubo verde. Foi apenas nas décadas de 1960 e 1970, com o apoio de programas governamentais e o avanço da modernização agrícola, que a soja começou a se destacar como cultura comercial, especialmente no sul do país (GASSEN; KOVALESKI, 2012). O papel da Embrapa foi crucial nesse processo, ao desenvolver cultivares de soja adaptadas às condições tropicais, possibilitando a expansão da produção para o Cerrado, uma região antes considerada inadequada para o cultivo de soja (MACEDO et al., 2020).

Nos anos subsequentes, as inovações tecnológicas foram decisivas para o aumento da produção de soja no Brasil. O desenvolvimento de sementes mais resistentes, o uso de fertilizantes específicos, a correção de solo e a adoção do plantio direto ajudaram a melhorar a eficiência produtiva. Além disso, a biotecnologia trouxe avanços significativos, com a introdução da soja geneticamente modificada (GM), resistente a herbicidas, permitindo um manejo mais eficaz de plantas daninhas e aumentando a competitividade dos agricultores brasileiros. Atualmente, mais de 90% da área plantada com soja no Brasil é composta por variedades transgênicas, o que reduziu os custos de produção e aumentou a produtividade (CARVALHO; WANDER, 2016).

O rápido crescimento da produção de soja no Brasil também trouxe preocupações ambientais, especialmente no que diz respeito à preservação de biomas sensíveis como a Amazônia e o Cerrado. A expansão agrícola nessas áreas contribuiu para o desmatamento e a perda de biodiversidade, alimentando debates sobre a sustentabilidade da produção de soja. Para mitigar esses impactos, diversas iniciativas foram implementadas. A Moratória da Soja, por exemplo, impede a comercialização de soja cultivada em áreas desmatadas ilegalmente na Amazônia, e o Código Florestal Brasileiro exige que os produtores mantenham uma porcentagem de áreas de reserva legal em suas propriedades (GIBBS et al., 2015).

Além dessas medidas, o Brasil tem investido em práticas agrícolas sustentáveis, como a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), um sistema que combina diferentes atividades produtivas, promovendo o uso eficiente da terra e a recuperação de áreas degradadas. O ILPF tem mostrado resultados positivos no aumento da produtividade, melhora da qualidade do solo e redução das emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para a sustentabilidade da agricultura no país (MARTHA JUNIOR et al., 2012).

As perspectivas futuras para a soja no Brasil indicam que a demanda global por essa cultura continuará crescendo, especialmente pela demanda da China, maior importador da soja brasileira (SILVA et al., 2021). Entretanto, para manter sua liderança na produção global, o Brasil precisa enfrentar desafios relacionados à sustentabilidade e ao uso eficiente de recursos naturais. A adoção de tecnologias de precisão, como o monitoramento por drones e sensores, já está sendo implementada para aumentar a eficiência e reduzir o impacto ambiental, além de aprimorar o manejo das culturas frente às mudanças climáticas.

O melhoramento genético também continuará sendo um fator-chave para o futuro da soja no Brasil. Com o desenvolvimento de novas variedades mais resistentes a pragas, doenças e condições climáticas adversas, o país poderá aumentar sua produção sem expandir significativamente a área cultivada, contribuindo para a preservação dos ecossistemas. Assim, o Brasil tem a oportunidade de se consolidar como líder global na produção de soja sustentável, equilibrando crescimento econômico com responsabilidade ambiental.

3.2 O cultivo da soja

O cultivo da soja (*Glycine max*) é uma das principais atividades agrícolas do mundo, tendo grande relevância econômica e social devido ao seu uso como fonte de proteína vegetal, óleo comestível e matéria-prima para biocombustíveis. Países como Brasil, Estados Unidos e Argentina estão entre os maiores produtores. O desenvolvimento da soja, as práticas agrônômicas, o manejo de pragas e doenças, além das questões ambientais, são temas amplamente discutidos na literatura.

O ciclo de crescimento da soja é composto por três fases: vegetativa, reprodutiva e senescência. A fase vegetativa envolve o crescimento inicial da planta, desde a germinação até o desenvolvimento das folhas. A fase reprodutiva ocorre com a floração e a formação dos grãos, sendo seguida pela senescência, quando a planta amadurece e atinge o ponto de colheita. O ciclo da soja pode durar entre 90 e 160 dias, dependendo da cultivar e das condições climáticas (SEDIYAMA, 2009).

Um dos principais fatores que influenciam a produtividade da soja é o solo. A planta se desenvolve melhor em solos bem drenados, com pH entre 6,0 e 6,8, e ricos em matéria orgânica (EMBRAPA, 2013). O plantio direto é uma prática amplamente utilizada no manejo da soja, visando a conservação do solo, redução da erosão e manutenção da umidade. Essa técnica contribui para a diminuição da dependência de insumos agrícolas e, portanto, aumenta a sustentabilidade da produção (ALVES et al., 2020).

No que diz respeito ao manejo de pragas e doenças, a soja enfrenta desafios significativos. Entre as principais pragas estão o percevejo marrom (*Euschistus heros*) e a lagarta da soja (*Anticarsia gemmatalis*). Para lidar com essas ameaças, o Manejo Integrado de Pragas (MIP) é uma abordagem recomendada, pois combina o controle biológico, químico e cultural (CORRÊA-FERREIRA & AZEVEDO, 2002). Em relação às doenças, a ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) é uma das mais graves, causando grandes perdas na produção. Seu controle envolve o uso de fungicidas e monitoramento constante (GODOY et al., 2016).

Portanto, o cultivo da soja envolve uma série de práticas que, quando bem manejadas, podem resultar em altas produtividades e menor impacto ambiental. O uso de tecnologias sustentáveis, manejo integrado e inovação no campo são

elementos essenciais para garantir a viabilidade dessa cultura frente às crescentes demandas globais por alimentos e energia

3.3 Cultivo em solo arenoso

O cultivo em solos arenosos apresenta desafios específicos devido às suas características físicas, como baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, e estrutura solta. Esses solos, predominantemente compostos por partículas grandes, possuem alta permeabilidade à água e ao ar, mas são menos eficazes em armazenar umidade e fertilizantes, o que impacta diretamente o desenvolvimento das plantas (SANTOS et al., 2018). De acordo com Cunha et al. (2012), um dos principais obstáculos ao cultivo em solos arenosos é a rápida perda de umidade, que exige maior frequência de irrigação, além da necessidade de aplicação de adubos para compensar a baixa fertilidade. Adicionalmente, esses solos são mais suscetíveis à erosão e à compactação, especialmente em sistemas de cultivo intensivo.

Para contornar essas limitações, diversas práticas de manejo têm sido recomendadas. A adição de matéria orgânica, como esterco e compostagem, é uma prática amplamente utilizada para melhorar a retenção de água e aumentar a capacidade de troca catiônica do solo, o que resulta em maior disponibilidade de nutrientes para as plantas (LAL, 2003). Além disso, a cobertura do solo com materiais vegetais, como a palha, ajuda a reduzir a evaporação e proteger o solo contra a erosão.

Outra estratégia eficaz é a rotação de culturas e o uso de plantas de cobertura. Leguminosas, por exemplo, contribuem para a fixação de nitrogênio, além de aumentar a matéria orgânica no solo, o que melhora sua estrutura. As técnicas de irrigação eficientes, como o gotejamento, são recomendadas para minimizar a perda de água por percolação, garantindo que as plantas recebam a quantidade adequada de umidade (CUNHA et al., 2012).

3.4 Bioestimulante à base de aminoácidos e substâncias húmicas

Os bioestimulantes são compostos que têm ganhado destaque na agricultura devido à sua capacidade de melhorar o desenvolvimento das plantas, a absorção de nutrientes e a tolerância a condições adversas. Entre eles, os à base de aminoácidos e substâncias húmicas têm recebido particular atenção por seus efeitos positivos no crescimento vegetal e na qualidade das culturas.

Os aminoácidos são fundamentais para diversas funções fisiológicas das plantas, atuando diretamente na síntese de proteínas e na produção de hormônios vegetais como auxinas e citocininas. De acordo com Colla et al. (2017), quando aplicados diretamente às plantas, os aminoácidos promovem o crescimento das raízes, aumentam a fotossíntese e a resistência ao estresse. Além disso, ajudam a melhorar a retenção de água e facilitam a absorção de micronutrientes por meio da quelação, o que aumenta a eficiência nutricional das plantas (ERTANI et al., 2013).

Por outro lado, as substâncias húmicas, compostas principalmente por ácidos húmicos e fúlvicos, são formadas pela decomposição de matéria orgânica no solo. Elas têm um papel crucial na melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, estimulando o crescimento radicular e aumentando a capacidade de absorção de nutrientes. Segundo Canellas e Olivares (2014), as substâncias húmicas promovem a atividade microbiana no solo e ajudam a melhorar a estrutura do solo, aumentando sua capacidade de retenção de água e, conseqüentemente, beneficiando o desenvolvimento das plantas.

Os mecanismos de ação dos bioestimulantes à base de aminoácidos e substâncias húmicas são diversos. Os aminoácidos atuam diretamente no metabolismo das plantas, participando da síntese de proteínas e de compostos bioativos essenciais ao crescimento vegetal (COLLA et al., 2017). Já as substâncias húmicas agem no solo, melhorando sua estrutura e aumentando a disponibilidade de nutrientes, além de interagir com hormônios vegetais, como as auxinas, potencializando seus efeitos no desenvolvimento das plantas (CANELLAS et al., 2015).

Os benefícios agronômicos do uso desses bioestimulantes têm sido amplamente documentados. Em condições de estresse abiótico, como seca e salinidade, o uso de aminoácidos e substâncias húmicas mostrou ser eficiente na restauração do crescimento normal das plantas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área experimental

O estudo foi realizado em condições de campo, no município de Dracena - SP, em um Argissolo Vermelho distrófico textura arenosa (Santos et al. (2018) na safra 2022/2023 (Figura 1). A caracterização dos atributos químicos e físicos do solo foi realizada antes da implantação do experimento de acordo com Van Raij et al. (2001) e Teixeira et al. (2017) (Tabela 1). A área experimental apresentava histórico de cultivo com *Urochloa decumbens* não pastejada e manejada apenas com roçadeira há mais de 12 anos, sendo uma área de cultivo de cana-de-açúcar antes da implantação da área de pastagem. Dessa forma, a presente pesquisa pode ser considerada como área de abertura de cultivo agrícola.

Figura 1. Foto aérea retirada do Google Earth com a área experimental (localizada junto à Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas da UNESP de Dracena - SP) em evidência.



Fonte: Próprio Autor

Tabela 1. Atributos químicos e granulométricos do solo nas camadas 0-0,20m e 0,20-0,40m antes do início do experimento. Dracena, SP.

Atributos químicos do solo	Unidade	0-0,20m	0,20-0,40m
N total	g kg ⁻¹	0,51	0,42
P (resina)	mg dm ⁻³	4	2
S (SO ₄)	mg dm ⁻³	4	4
Matéria orgânica	g dm ⁻³	14	11
pH (CaCl ₂)		5,1	4,4
K (resina)	mmol _c dm ⁻³	3	1,2
Ca (resina)	mmol _c dm ⁻³	11	8
Mg (resina)	mmol _c dm ⁻³	7	3
H+Al	mmol _c dm ⁻³	18	25
Al	mmol _c dm ⁻³	1	6
B (água quente)	mg dm ⁻³	0,07	0,17
Cu (DTPA)	mg dm ⁻³	1,2	1,1
Fe (DTPA)	mg dm ⁻³	23	19
Mn (DTPA)	mg dm ⁻³	15,9	23,8
Zn (DTPA)	mg dm ⁻³	0,9	0,4
Capacidade de troca catiônica (pH 7.0)	mmol _c dm ⁻³	39	37,2
Saturação por bases	%	54	33
Granulometria			
Argila	g kg ⁻¹	91	125
Areia	g kg ⁻¹	870	829
Silte	g kg ⁻¹	39	46

n = 20.

4.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições, contendo 6 tratamentos: 1) controle – sem aplicação de bioestimulante; 2) 200 mL ha⁻¹ do bioestimulante nas sementes + 300 mL ha⁻¹ pulverizado via foliar em V4 (3 trifólios completamente desenvolvidos) + 300 mL ha⁻¹ via foliar em R1 (início do florescimento); 3) 800 mL ha⁻¹ em V2V2; 4) 800 mL ha⁻¹ em V4; 5) 400 mL ha⁻¹ em V4 + 400 mL ha⁻¹ em R1; 6) 800 mL ha⁻¹ em R1. Um resumo dos tratamentos é apresentado na Tabela 2. Onde estes tratamentos foram aplicados via foliar através de bomba costal com as dosagens recomendadas do produto para a cultura da soja, mas divididas através dos tratamentos especificados anteriormente. As parcelas experimentais foram compostas por 5 linhas de 5 m de comprimento, com espaçamento entrelinhas de 0,45 m, tendo como área útil as 3 linhas centrais, excluindo-se 0,50 m de cada extremidade.

Tabela 2. Resumo dos tratamentos aplicados no estudo.

Tratamento	Fonte	Forma de aplicação
T1 – Controle	Controle (nenhuma fonte)	Sem aplicação
T2 – Semente + V4 + R1	New deal Agrosience Star Plus	200 mL ha ⁻¹ do produto comercial aplicado na semente + 300 mL ha ⁻¹ via foliar em V4 + 300 mL ha ⁻¹ via foliar em R1
T3 – V2	New deal Agrosience Star Plus	800 mL ha ⁻¹ do produto comercial via foliar em V2
T4 – V4	New deal Agrosience Star Plus	800 mL ha ⁻¹ do produto comercial via foliar em V4
T5 – V4 + R1	New deal Agrosience Star Plus	400 mL ha ⁻¹ do produto comercial via foliar em V4 + 400 mL ha ⁻¹ via foliar em R1
T6 – R1	New deal Agrosience Star Plus	800 mL ha ⁻¹ do produto comercial via foliar em R1

4.3 Caracterização do bioestimulante

O produto utilizado foi o Bioestimulante New Deal Star Agrosience Start Plus®, que contém macro e micro nutrientes em sua composição com as garantias especificadas via rótulo separadas em peso/peso (p/p) e peso/volume (p/v): Carbono

Orgânico – 6,0% (p/p) e 76,20 g/L (p/v), Zinco (Zn) solúvel em água – 2,5% (p/p) e 31,75 g/L (p/v), Nitrogênio (N) solúvel em água – 3,5% (p/p) e 44,45 g/L (p/v), Manganês (Mn) solúvel em água – 3,0% (p/p) e 38,10 g/L (p/v), Ferro (Fe) solúvel em água – 0,2% (p/p) e 2,54 g/L (p/v), Enxofre (S) solúvel em água – 3,7% (p/p) e 46,99 g/L (p/v).

Figura 2. Bioestimulante à base de aminoácidos e substâncias húmicas utilizado.



Fonte: Próprio autor

Por se tratar de um produto à base de aminoácidos, foi realizado a caracterização (aminograma) do produto, com as seguintes garantias, em porcentagem (%): Proteína bruta: 3,59, ácido glutâmico: 0,72, ácido aspártico: 0,47, prolina: 0,46, arginina: 0,29, leucina: 0,26, serina: 0,19, alanina: 0,19, fenilalanina: 0,19, glicina: 0,17, lisina: 0,17, histidina: 0,16, treonina: 0,11, valina: 0,1, isoleucina: 0,08, tirosina: 0,03, metionina: 0,03, cisteína: 0,01. De maneira análoga, as substâncias húmicas, em porcentagem (%): Ácidos Húmicos: 0,91, Ácidos Fúlvicos: 9,64, EHT (Solução de extratos húmicos totais): 10,55.

4.4 Manejo cultural da soja

Sessenta dias antes da semeadura da soja, 1,0 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 86%, CaO 31% e MgO 21%) foi aplicado sem incorporação, com o intuito de elevar a saturação por bases para 70% (CANTARELLA et al., 2022). Trinta dias antes da semeadura da soja, 0,75 t ha⁻¹ de gesso agrícola foi aplicado sem incorporação, seguindo recomendação de Cantarella et al. (2022). A dessecação do capim-braquiária foi realizada quinze dias antes da semeadura da soja (final de outubro), com Glifosato (2 L ha⁻¹ do produto comercial) e Cletodim (0,5 L ha⁻¹ do produto comercial). Juntamente com a dessecação do capim-braquiária, foi realizada aplicação de 2 kg ha⁻¹ de Boro na forma de ácido bórico (17% B).

A cultivar de soja Pioneer 97Y91 IPRO (GMR 7.6) foi utilizada na safra 2022/2023, com semeadura realizada no dia 10/11/2023, com densidade de semeadura de 13 sementes viáveis por m⁻², em sistema de semeadura direta. As sementes foram previamente tratadas com Cobalto e Molibdênio (CoMo, na dose recomendada do produto comercial – 150 mL ha⁻¹, 1,5% de Co e 15% de Mo) e após secas à sombra, foi realizada inoculação com *Bradyrhizobium* sp. (estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080, recomendadas para a cultura da soja) na dose de 600 mL ha⁻¹ (seis vezes a dose recomendada do produto comercial, em função de tratar-se de uma área de abertura de agricultura). Logo após semeadura, foi realizada a correção da dessecação com Diquat (2 L ha⁻¹ do produto comercial).

A adubação de base foi realizada, para todos os tratamentos, com aplicação de 750 kg ha⁻¹ do formulado 04-14-08, no sulco de semeadura, ao lado e abaixo das sementes. Plantas daninhas foram controladas ao longo do ciclo utilizando-se controle pós-emergente. Insetos-praga e doenças foram controladas utilizando-se recomendações técnicas para a cultura da soja adaptados de Galindo et al. (2018). Por fim, foi realizada a dessecação para colheita da soja no estágio R7.3 (75% da soja amarelada), no dia 11/03/2023, uma semana antes da colheita, utilizando-se Diquat (2 L ha⁻¹ do produto comercial). A soja foi cultivada do dia 10/11/2022 até 18/03/2023, totalizando 128 dias da semeadura até colheita e 123 dias da emergência até colheita, respectivamente. Vale ressaltar que o cultivo da soja foi realizado em condição de sequeiro, com irrigação suplementar emergencial apenas para salvamento.

4.5 Avaliações realizadas

As avaliações foram divididas em 2 estádio fenológicos da soja: em R2 (florescimento pleno e R8 (ocasião da colheita) (FEHR; CAVINESS, 1977).

Em R2:

Índice de clorofila foliar (SPAD): O índice de clorofila foliar foi determinado no florescimento pleno da cultura da soja (época da diagnose nutricional da cultura), de maneira indireta e não destrutiva, utilizando-se um clorofilômetro portátil SPAD-502 (Minolta corp; Spectrum Technologies, Plainfield, III). Foram realizadas dez leituras aleatórias no terceiro trifólio completamente expandido (folha diagnose nutricional da cultura), do ápice para base da planta, de cada parcela experimental, seguindo recomendação de Cantarella et al. (2022).

Taxa fotossintética líquida (A): A taxa fotossintética líquida (A) foi determinada com o IRGA - analisador de gases a infravermelho (LI- 6400XT; LI-COR Inc., Lincoln, NE, EUA). As leituras foram realizadas no período da manhã (9 as 11h), na folha diagnose nutricional, previamente citada.

Massa seca de parte aérea e raízes + nódulos: A massa seca de parte aérea de soja foi considerada como toda parte aérea da planta (hastes, flores e folhas), enquanto a massa seca de raízes foi considerada como toda raiz com nódulos, sem separação. Cinco plantas por parcela foram coletadas, com abertura de trincheiras de cerca de 0,50 m de profundidade para coleta de raízes, tomando-se o máximo cuidado para retirada de raízes com nódulos das plantas. Após a coleta, as amostras (separadamente, parte aérea e raízes com nódulos) foram acondicionadas em sacos de papel. As amostras de raízes com nódulos foram lavadas em água corrente e por fim imersas em água deionizada, e armazenadas em novos sacos de papel após retirada do excesso de umidade. As amostras foram mantidas em estufa de ventilação forçada na temperatura de 65 °C até massa constante, posteriormente pesadas em balança analítica para obtenção da massa seca de parte aérea e raízes com nódulos, com os dados extrapolados para kg ha⁻¹. A massa seca total foi calculada somando-se a massa seca de parte aérea + raízes e nódulos.

Em R8:

Altura de plantas: Considerada como altura da base até o ápice da haste principal, mensurado em dez plantas por parcela experimental;

Número de vagens por planta: Obtida pela média da contagem manual do número de vagens de dez plantas por parcela experimental;

Número de grãos por vagem: Obtida pela média da contagem manual do número de grãos de dez vagens aleatórias por parcela experimental;

Número de grãos por planta: Obtida pela multiplicação do número médio de vagens por plantas e grãos por vagens;

Massa de 100 grãos: Determinado em balança analítica de precisão (0,01 g), corrigida à 13% de umidade (bulbo úmido);

Massa seca de palhada: A massa seca de palhada de soja foi considerada como toda parte aérea da planta (hastes e folhas ainda presas), retirando-se as vagens com grãos, isto é, não foi considerado como massa seca de parte aérea a massa das vagens e grãos. Dessa forma, cinco plantas por parcela foram coletadas, e acondicionadas em estufa (65° C) com circulação de ar por 72 horas. Após esse período, o material vegetal foi pesado em balança de precisão e os dados extrapolados para kg ha⁻¹.

Produtividade de grãos: Determinado pela colheita das plantas nas três linhas centrais da parcela. Após trilha mecânica, a produtividade de grãos de soja foi quantificada em balança de precisão e os dados extrapolados para kg ha⁻¹ corrigida à 13% de umidade (bulbo úmido).

4.6 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA, teste F), para avaliação dos efeitos dos fatores nas variáveis respostas estudadas. O efeito dos tratamentos, quando significativo ($p \leq 0,05$), foram analisados por teste de médias (teste de Tukey) utilizando o pacote ExpDes do software R (R Development Core Team, 2015).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O índice de clorofila foliar e taxa de fotossíntese líquida foram superiores com a aplicação do bioestimulante à base de aminoácidos e substâncias húmicas em V2 (Tabela 3). A melhoria nos parâmetros fotossintéticos em ocasião de florescimento pleno refletiu parcialmente em maior produção de biomassa (Tabela 3). A massa seca de parte aérea foi superior com a aplicação do bioestimulante em V2 comparativamente aos demais tratamentos, exceto à aplicação em V4 + R1 (Tabela 3). Para a massa seca de raiz, a aplicação em V2 propiciou maiores valores comparativamente ao tratamento controle e sem + V4 + R1, não diferindo das aplicações em V4, V4 + R1 e R1 (Tabela 3). Analisando a produção total de biomassa (parte aérea + raiz), a aplicação do bioestimulante em V2 propiciou maior produção, não diferindo apenas do tratamento com aplicação em V4 + R1 (Tabela 3). Um comparativo visual dos tratamentos é apresentado na Figura 3.

Tabela 3. Índice de clorofila foliar (SPAD), fotossíntese líquida (A), massa seca de parte aérea, raiz e total da soja em função de formas e épocas de aplicação de bioestimulante à base de aminoácidos e substâncias húmicas. Dracena – SP, 2022/2023.

Avaliações em florescimento pleno da soja (R2)					
Tratamentos	ICF (SPAD)	A	Massa seca de parte aérea (kg ha ⁻¹)	Massa seca de raiz (kg ha ⁻¹)	Massa seca total (kg ha ⁻¹)
Controle	22.85 d	21.74 c	2378 c	438.1 b	2816 c
Sem + V4 + R1	23.37 cd	22.47 bc	2494 bc	476.6 b	2970 bc
V2	25.22 a	24.65 a	2802 a	558 a	3360 a
V4	23.89 bc	22.92 b	2609 b	501 ab	3110 b
V4 + R1	24.40 b	24.46 ab	2638 ab	507 ab	3146 ab
R1	23.57 cd	23.01 bc	2513 bc	505 ab	3018 bc
D.M.S.	0.79	1.46	183.4	76.40	240.1

D.M.S. = diferença mínima significativa. * Foi adotado o seguinte critério para apresentação dos números pós casas da vírgula: Valores de 0 até 100: 2 casas depois da vírgula; Valores de 100 até 500: 1 casa depois da vírgula; Valores acima de 500: sem nenhuma casa depois da vírgula.

Figura 3. Foto comparativa dos tratamentos em florescimento pleno (R2). Dracena – SP, 2022/2023.



Fonte: Próprio autor

O maior crescimento e desenvolvimento vegetativo propiciado pela aplicação de bioestimulante, notadamente em V2, refletiu em melhor desenvolvimento de vagens e enchimento de grãos, refletindo em maior produção de massa seca de parte aérea e produtividade de grãos (Tabela 4). A aplicação em V2 propiciou maior número de vagens e grãos por vagens comparativamente ao tratamento controle, não diferindo dos demais tratamentos (Tabela 4). Para o número de grãos por planta, a aplicação em V2 propiciou maior valor desta variável, não diferindo da aplicação em V4 + R1 (Tabela 4). A massa de 100 grãos foi superior com a aplicação do bioestimulante em V2 (Tabela 4). De maneira similar, a aplicação isolada em V2 e em V4 propiciou maior massa seca de palhada comparativamente ao tratamento controle (Tabela 4). No que refere à produtividade de grãos, a aplicação do bioestimulante à base de aminoácidos e substâncias húmicas em V2 propiciou maiores valores comparativamente ao tratamento controle e Sem + V4 + R1, não diferindo das aplicações em V4, V4 + R1 e R1 (Tabela 4).

Tabela 4. Altura de plantas, número de vagens por planta, grãos por vagem, grãos por planta, massa de 100 grãos, massa seca de palhada e produtividade de grãos de soja em função de formas e épocas de aplicação de bioestimulante à base de

Avaliações em ocasião de colheita da soja (R8)				
Tratamentos	Altura de plantas (cm)	Número de vagens por planta	Número de grãos por vagem	Número de grãos por planta
Controle	74.33 a	46.00 b	2.40 c	110.4 c
Sem + V4 + R1	74.83 a	48.33 ab	2.46 ab	119.0 bc
V2	75.66 a	53.16 a	2.66 a	141.7 a
V4	75.33 a	49.66 ab	2.46 ab	122.7 bc
V4 + R1	75.50 a	50.83 ab	2.60 ab	131.8 ab
R1	75.66 a	48.50 ab	2.53 ab	122.9 bc
D.M.S.	5.25	5.57	0.25	17.4
Tratamentos	Massa de 100 grãos (g)	Massa seca de parte aérea (kg ha⁻¹)	Produtividade de grãos (kg ha⁻¹)	
Controle	15.42 d	4165 b	2577 c	
Sem + V4 + R1	15.63 cd	5060 ab	2837 bc	
V2	17.00 a	5984 a	3368 a	
V4	16.41 bc	5524 a	3143 ab	
V4 + R1	16.64 b	5362 ab	3123 ab	
R1	16.38 bc	5215 ab	3067 ab	
D.M.S.	0.82	1282	486	

D.M.S. = diferença mínima significativa. * Foi adotado o seguinte critério para apresentação dos números pós casas da vírgula: Valores de 0 até 100: 2 casas depois da vírgula; Valores de 100 até 500: 1 casa depois da vírgula; Valores acima de 500: sem nenhuma casa depois da vírgula.

O tratamento com aplicação do bioestimulante nas sementes + V4 + R1 não diferiu estaticamente do tratamento controle (ausência de aplicação) em todas as variáveis resposta estudadas (Tabelas 3 e 4), que pode ter sido consequência de um possível efeito salino da aplicação do produto nas sementes associado à aplicação de Co e Mo. No entanto, numericamente, propiciou aumento na produtividade de grãos de soja de 260 kg ha⁻¹ (aumento de 10%, equivalente à 4,3 sacas ha⁻¹ de soja) (Tabela 4). De maneira análoga, o tratamento com aplicação do bioestimulante totalmente em R1 não diferiu estaticamente do tratamento controle no ICF, fotossíntese líquida, massa seca de parte aérea, raiz e total, altura de plantas, número de vagens por plantas, número de grãos por planta e massa seca de parte

aérea (Tabela 4). Entretanto, a aplicação total do bioestimulante em R1 propiciou maior número de grãos por vagem, massa de 100 grãos e produtividade de grãos, com aumento em 490 kg ha^{-1} (aumento de 19%, equivalente à 8,2 sacas de soja ha^{-1}) (Tabela 4).

Os tratamentos constituídos da aplicação do bioestimulante totalmente em V2, V4 e em V4 + R1 propiciaram maior desenvolvimento e crescimento da soja comparativamente aos demais tratamentos, em especial ao tratamento controle (Tabela 4). Embora tenha apresentado maior ICF, fotossíntese líquida, massa seca de parte aérea, raiz e total, número de vagens por plantas, grãos por vagem, grãos por planta, massa de 100 grãos, massa seca de parte aérea e produtividade de grãos comparativamente ao tratamento controle, o tratamento V2 não diferiu significativamente dos tratamentos com aplicação total em V4 e em V4 + R1 no que se refere à massa seca de parte aérea e produtividade de grãos (Tabela 4).

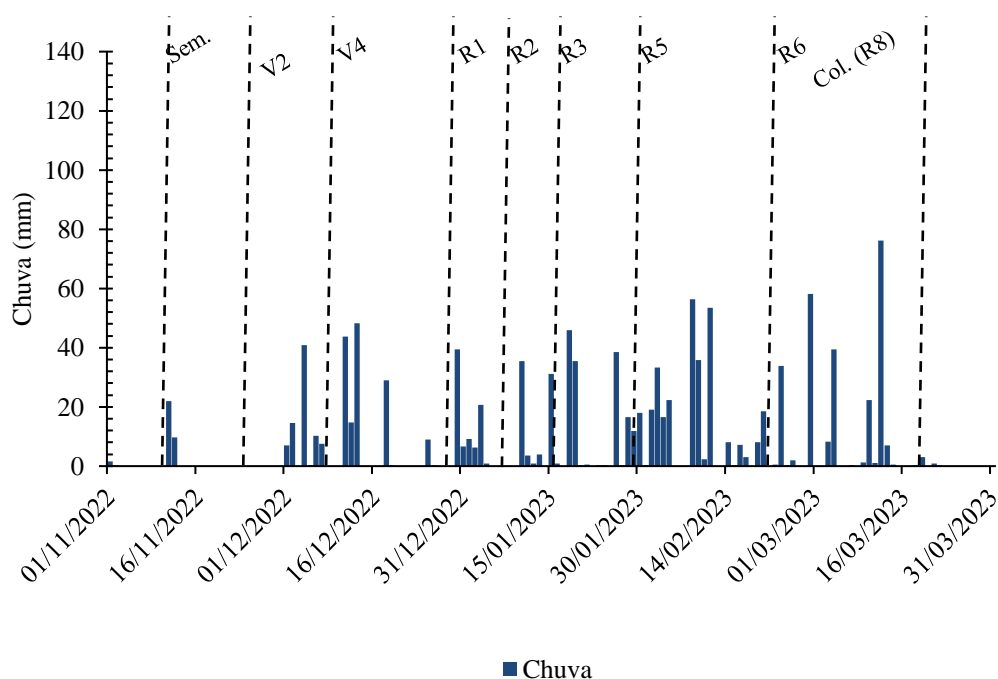
No entanto, é válido ressaltar que, numericamente, o tratamento V2 apresentou incremento na massa seca de parte aérea de 43,7% (1819 kg ha^{-1}), 8,3% (459 kg ha^{-1}) e 11,6% (622 kg ha^{-1}) comparativamente aos tratamentos controle, aplicação total em V4 e V4 + R1, respectivamente (Tabela 4). Ainda, numericamente, o tratamento V2 apresentou incremento na produtividade de grãos de 30,7% (791 kg ha^{-1} , equivalente à 13,2 sacas ha^{-1} de soja), 7,2% (221 kg ha^{-1} equivalente à 3,7 sacas ha^{-1} de soja) e 7,8% (245 kg ha^{-1} equivalente à 4,1 sacas ha^{-1} de soja) comparativamente aos tratamentos controle, aplicação total em V4 e V4 + R1, respectivamente (Tabela 4).

Analisando os dados climáticos obtidos na área experimental associados à fenologia da cultura da soja ao longo do experimento (Figura 4), é possível verificar que os períodos nos quais ocorreram déficit hídrico, notadamente ocorreram pós-semeadura e antes da emergência da cultura até V3 (13 até 30 de novembro de 2022, 17 dias seguidos) e em alguns momentos em menor intensidade, entre V4 e R1 (como exemplo, 8 a 12 e 14 a 17 de novembro de 2022, 19 a 24 e 26 a 29 de dezembro de 2022). No entanto, após R1 até R6, as chuvas foram bem distribuídas e volumosas, em especial no enchimento de grãos da soja, entre R5 e R6. Tais informações elucidam a questão de que a aplicação do bioestimulante à base de aminoácidos e substâncias húmicas em momentos de déficit hídrico apresentam melhores resultados comparativamente à aplicação nos estádios no qual ocorreram disponibilidade hídrica adequada. Dessa forma, justificando os resultados positivos

principalmente quando o posicionamento do produto comercial foi realizado em V2 e em V4 (na totalidade ou V4 + R1). É válido ressaltar que os resultados verificados corroboram com outras pesquisas realizadas em condições de estresse abiótico (seca e temperatura elevada), recorrentes na agricultura tropical brasileira, que concluíram que a utilização de bioestimulantes à base de aminoácidos beneficia o crescimento e produtividade da soja (JUMRANI; BATHIA, 2019; TEIXEIRA et al., 2020; REPKE et al., 2022).

Com base nestas informações podemos ver como a utilização de bioestimulantes a base de aminoácidos e substâncias húmicas são capazes de propiciar um aumento na produção sem ter um aumento de área cultivada, tendo em vista que a utilização do mesmo leva a cultura atingir certos patamares produtivos, tanto na produção de grãos quanto na produção de biomassa. No entanto cada cultura apresenta certa resposta ao biopromotor que pode variar de acordo com o tipo do bioestimulante, a forma e época de aplicação escolhida. Em Galindo et al. (2015) onde se utilizou um biopromotor a base de extrato de algas na cultura do milho, onde as aplicações não levaram a um resultado significativo no âmbito produtivo, mas quando comparado a produção de massa seca se torna viável por aumentar a quantidade de nutrientes nas folhas. Devido a isso é de extrema importância levar em consideração estes produtos bioestimulantes e de como eles podem auxiliar a cultura tornando o manejo mais sustentável.

Figura 4. Chuva, temperatura mínima, média e máxima na área experimental durante a condução do experimento. Dracena - SP, 2022/2023.



Evidentemente, cada safra agrícola apresenta uma distribuição de chuva e incidência de temperatura elevada diferente, dessa forma, a repetição do estudo em condições similares, mantendo-se os mesmos tratamentos e em outros anos agrícolas é de extrema importância para um adequado posicionamento do bioestimulante à base de aminoácidos e substâncias húmicas na região da Nova Alta Paulista.

6 CONCLUSÕES

A aplicação do bioestimulante à base de aminoácidos e substâncias húmicas beneficiou o crescimento e desenvolvimento da soja, com aumento no índice de clorofila foliar e taxa fotossintética, refletindo em produção de massa seca de raízes e nódulos e parte aérea ainda no desenvolvimento vegetativo. O benefício na fisiologia da planta de soja verificado em R2 refletiu na melhoria dos principais componentes produtivos, como número de vagens por planta, grãos por vagem,

grãos por planta no enchimento de grãos, na massa de 100 grãos refletindo em maior produção de massa seca de palhada e produtividade de grãos de soja.

Os tratamentos constituídos da aplicação do fertilizante organomineral totalmente em V2, V4 e em V4 + R1 propiciaram maior desenvolvimento e crescimento da soja comparativamente aos demais tratamentos, em especial ao tratamento controle. O tratamento V2 apresentou incremento na massa seca de parte aérea de 43,7% (1819 kg ha⁻¹), 8,3% (459 kg ha⁻¹) e 11,6% (622 kg ha⁻¹) comparativamente aos tratamentos controle, aplicação total em V4 e V4 + R1, respectivamente. Ainda, o tratamento V2 apresentou incremento na produtividade de grãos de 30,7% (791 kg ha⁻¹, equivalente à 13,2 sacas ha⁻¹ de soja), 7,2% (221 kg ha⁻¹ equivalente à 3,7 sacas ha⁻¹ de soja) e 7,8% (245 kg ha⁻¹ equivalente à 4,1 sacas ha⁻¹ de soja) comparativamente aos tratamentos controle, aplicação total em V4 e V4 + R1, respectivamente.

O tratamento com aplicação do bioestimulante nas sementes + V4 + R1 não diferiu estaticamente do tratamento controle (ausência de aplicação) nas principais avaliações e produtividade de grãos de soja, que pode ter sido consequência de um possível efeito salino da aplicação do produto nas sementes associado à aplicação de cobalto e molibdênio.

A aplicação do bioestimulante à base de aminoácidos e substâncias húmicas em momentos de déficit hídrico apresentam melhores resultados comparativamente à aplicação nos estádios no qual ocorreram disponibilidade hídrica adequada.

7 REFERÊNCIAS

Alves, C. L. Plantio direto e seus benefícios para a cultura da soja. **Revista Brasileira de Agricultura Sustentável**, 2020.

Balastreire, L. A.; Santos, M. Tecnologia de precisão no cultivo da soja. **Engenharia Agrícola**, 2018.

Canellas, L. P.; Olivares, F. L.; Aguiar, N. O.; Jones, D. L.; Nebbioso, A.; Mazzei, P.; Piccolol, A. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae** 30:15-27, 2015.

Canellas, L. P.; Santos, G. A. Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. Campos dos Goytacazes, **CCTA / UENF**, 309, 2005.

Canellas, L. P.; Olivares, F. L. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. **Chemical and Biological Techrutegies in Agriculture**, v. 1, p. 1-11, 2014.

Caradonia, F.; Ronga, D.; Tava, A.; Francia, E. Plant biostimulants in sustainable potato production: an overview. **Potato Research** 65:83-104, 2022.

Carvalho, M.; Wander, A. E. Produção de soja transgênica no Brasil: evolução e impactos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 2016.

Colla, G. Biostimulant action of protein hydrolysates: Unraveling their effects on plant physiology and microbiome. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 2202, 2017.

Correa-Ferreira, B. S.; Azevedo, J. **Manejo integrado de pragas na cultura da soja Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2002.

Cunha, E. Q. Erosão hídrica em sistemas de cultivo de grãos em solos arenosos no noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1573-1584, 2012.

Teixeira. Sistema de produção de soja. **Manual técnico**, 2013.

Ertani, A. Biostimulant activity of protein hydrolysates: Influence on the growth and nitrogen metabolism of lettuce (*Lactuca sativa* L.) plants. **Journal of Plant Growth Regulation**, v 32, n. 3, p. 454-458, 2013.

Façanha, A. R. Bioatividade de ácidos húmicos: efeito sobre o desenvolvimento radicular e sobre a bomba de prótons da membrana plasmática. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 37:1301-1310, 2002.

Fao. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAO Yearbook of Statistics**, 2021.

Fehr, W.R.; Caviness, C. E. Stages of soybean development. **Ames: Iowa State University of Science and Technology**, 1977, 11 p. (Special report, 80).

Galindo, F. S.; Nogueira, L. M.; Bellote, J. L. M.; Gazola, R. N.; Alves, C. J.; Teixeira Filho, M. C. M. Desempenho agrônômico de milho em função da aplicação de bioestimulantes a base de extrato de algas. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, 9:13-19, 2015.

Galindo, F. S.; Pagliari, P. H.; Buztti, S.; Rodrigues, W. L.; Fernandes, G. C.; Biagini, A. L. C.; Marega, E. M. R. Tavanti, R. F. R.; Jalal, A.; Teixeira Filho, M. C. M. Corn shoot and grain nutrient uptake affected by silicon application combined with *Azospirillum brasilense* inoculation and nitrogen rates. **Journal of Plant Nutrition**, 45:168-184, 2022b.

Galindo, F. S.; Pagliari, P. H.; Buztti, S.; Rodrigues, W. L.; Fernandes, G. C.; Biagini, A. L. C.; Marega, E. M. R. Tavanti, R. F. R.; Jalal, A.; Teixeira Filho, M. C. M. Enhancing agronomic efficiency and maize grain yield with *Azospirillum brasilense* inoculation under Brazilian savannah conditions. **European Journal of Agronomy**, 134:126471, 2022a.

Galindo, F. S., Teixeira Filho, M. C. M., Buzetti, S., Ludkiewicz, M. G. Z., Rosa, P. A. L., Tritapepe, C. A. Technical and economic viability of co-inoculation with *Azospirillum brasilense* in soybean cultivars in the Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 51-56, 2018.

Gassem, D. N.; Kovalski, S. Soja no Brasil: Passado, presente e futuro. **Cultura e Agricultura Brasileira**, 2012.

Gibbs, H. K. Brazil's Soy Moratorium: Supply chain governance is needed to avoid deforestation. **Science**, 2015.

Godoy, C. V. Ferrugem asiática da soja: Epidemiologia e controle. **Summa Phytopathologica**, 2016.

Hungria, M.; Mendes, I. B. Fixação biológica de nitrogênio na soja: impacto e avanços. **Agricultura Brasileira Sustentável**, 2015.

Jumrani, K.; Bathia, V. S. Interactive effect of temperature and water stress on physiological and biochemical processes in soybean. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, 25:667-681, 2019.

Kocira, S.; Szparaga, A.; Findura, P.; Treder, K. Modification of yield and fiber fractions biosynthesis in phaseolus vulgaris L. by treatment with biostimulants containing amino acids and seaweed extract. **Agronomy** 10:1338, 2020b.

Kocira, S.; Szparaga, A.; Findura, P.; Treder, K.; Bartos, P.; Filip, M. Biochemical and economical effect of application biostimulants containing seaweed extracts and amino acids as an element of agroecological management of bean cultivation. **Scientific Reports**, 10:17759, 2020a.

Koester, R. P.; Skoneczka, J. A.; Cary, T. R.; Diers, B.; Ainsworth, E. A. Historical gains in soybean (*Glycine max Merr.*) seed yield are driven by linear increases in light interception, energy conversion, and partitioning efficiencies. **Journal of Experimental Botany**, 65:3311-3321, 2014.

LAL, R. Soil erosion and the global carbon budget. **Environment International**, v. 29, n. 4, p. 437- 450, 2003.

Macedo, M. C. M. A história da soja no Cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Estudos Agropecuários**, 2020.

Martha Junior, G. B. Integração Lavoura Pecuária-Floresta: uma estratégia sustentável para o Cerrado. **Revista Brasileira de Pecuária Sustentável**, 2012.

Nardi, S. Biological activities of humic substances. In: *Soil Biology*, v. 40. **Heidelberg: Springer**, p. 305-339. 2016.

Natarajan, S.; Luthria, D.; Bae, H.; Lakshman, D.; Mitra, A. Transgenic soybeans and soybean protein analysis: an overview. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 61:1736-1743, 2013.

Nepstad, D. C. Desmatamento e expansão agrícola no Brasil: O impacto da soja. **Science Advances**, 2014.

Pereira, E. S. Impacto das inovações tecnológicas na produção de soja no Brasil. **Revista de Inovações Tecnológicas na Agricultura**, 2017.

Poorghadir, M.; Torkashvand, A. M.; Mirjalili, S. A.; Moradi, P. Interactions of amino acids (proline and phenylalanine) and biostimulants (salicylic acid and chitosan) on the growth and essential oil components of savory (*Satureja hortensis* L.). **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, 30:101815, 2020.

Popko, M.; Michalak, I.; Wilk, R.; Gramza, M.; Chojnacka, K.; Górecki, H. Effect of the new plant growth biostimulants based on amino acids on yield and grain quality of winter wheat. **Molecules**, 23:470, 2018.

Repke, R. A.; Silva, D. M. R.; Dos Santos, J. C. C.; Almeida Silva, M. Alleviation of drought stress in soybean by applying a biostimulant based on amino acids and macro- and micronutrients. **Agronomy**, 12:2244, 2022.

Santos, H. G. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ª ed. Brasília: **Embrapa**, 2018.

Sediyama, T. **Tecnologia de Produção de soja Viçosa: UFV**. 2009.

Seyedbagheri, M. Influence of humic products on soil health and potato production. **Potato Research**, 53:341-349, 2010.

Silva, R. G. Expansão da soja e comércio internacional: O papel da China. **Revista Econômica Internacional**, 2021.

Soterroni, A. C. Future environmental and agricultural impacts of Brazil's Forest Code. **Nature Sustainability**, 2019.

Teixeira, W. F.; Soares, L. H.; Fagan, E. B.; Mello, S. C.; Reichardt, K.; Dourado-Neto, D. Amino acids as stress reducers in soybean plant growth under different water-deficit conditions. **Journal of Plant Growth Regulation** 39:905-919, 2020.

Van Raij, B.; Andrade, J. C.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. **Campinas, Instituto Agronômico**, 285p, 2001.

Zhang, D.; Chang, E.; Yu, X.; Chen, Y.; Yang, Q.; Cao, Y.; Li, X.; Wang, Y.; Fu, A.; Xu, M. Molecular characterization of magnesium chelatase in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. **Frontiers in Plant Science**, 9:720, 2018.