

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

Fábio Augusto Sotocorno Bosisio

**FORMAS E ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE
BIOESTIMULANTE À BASE DE AMINOÁCIDOS E
SUBSTÂNCIAS HÚMICAS NO CRESCIMENTO,
DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DO SORGO
GRANÍFERO**

Dracena

2024

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

Fábio Augusto Sotocorno Bosisio

**FORMAS E ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE
BIOESTIMULANTE À BASE DE AMINOÁCIDOS E
SUBSTÂNCIAS HÚMICAS NO CRESCIMENTO,
DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DO SORGO
GRANÍFERO**

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

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: Formas e épocas de aplicação de bioestimulante à base de aminoácidos e substâncias húmicas no crescimento, desenvolvimento e produtividade do sorgo granífero

Modalidade: Trabalho de Atividades de pesquisa

Autor: Fábio Augusto Sotocorno Bosisio

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

Número de Créditos: 12

Data da aprovação e correção de acordo com as sugestões da Banca: 14/05/2024


Fernando S. Galindo


Ronaldo Cirina Lima


Evandro Pereira Prado

DEDICATÓRIA

Ao meu pai Marcos Ernesto Bosisio e minha mãe Tânia Luciana Sotocorno Bosisio, que me educaram, e sempre estiveram do meu lado, me incentivando e me apoiando em todas as decisões da minha vida, e com isso me possibilitaram essa conquista. Agradeço por todo o esforço, todo o amor e todo apoio que vocês me deram, sendo exemplos de vida fundamentais para a minha vida pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ser minha base e por sua presença em minha vida, por ser minha inspiração e por me dar sustento em toda a caminhada. Agradeço por não ter me deixado desistir, e por me iluminar na árdua caminhada da graduação.

Aos meus pais Marcos e Tânia, a minha irmã Natalia que mesmo com todas as dificuldades sempre me apoiaram a continuar os estudos e sempre me deram força apesar de todas as desanimações. Por todos os ensinamentos de vida, e por me fazer ter persistência nos meus sonhos. Por seu meu exemplo e meu molde de pessoa que eu quero me tornar em um futuro próximo.

Aos meus avós maternos Anésia e Lídio, que mesmo com todas as provações que passaram, nunca deixaram de me apoiar e de se preocupar com meu estudo.

Aos meus avós paternos Adelaide e Osvaldo, que mesmo não acompanhando toda a graduação e mesmo não estando mais comigo pessoalmente, seguem me dando forças e totalmente presentes no meu coração.

Aos meus familiares, que sempre me apoiaram e me deram força para continuar e para meu crescimento pessoal.

A Ana Cecília Capelari que mesmo chegando recentemente na minha vida se tornou minha força, minha inspiração, a pessoa que me reapproximou de Deus e que neste final de jornada me ajudou a sempre pensar no futuro e a acreditar mais em mim.

Aos meus amigos, em especial ao Ângelo Lunhani Severino, ao Miguel Eduardo Câmara Dias, ao Matheus Rafael do Nascimento, que dès do começo da graduação estiveram comigo, dando força não somente na graduação, mas na vida pessoal também.

A República Rã K Saia por toda a parceria, por toda ajuda, por todos esses anos em que morei e que me fizeram crescer como pessoa, com todas as experiências vividas, principalmente as pessoas de Roberth Wicleff Rodrigues e Matheus Rafael do Nascimento, que dès do primeiro dia em Dracena me ajudaram e me incluíram em tudo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando Shintate Galindo, que com sua orientação, parceria, incentivo, paciência, conselhos e expertise, foram fundamentais em minha formação e para o desenvolvimento deste estudo. Agradeço pelas

oportunidades e enriquecimentos vividos que foram fundamentais para o meu crescimento tanto no pessoal, quanto no profissional.

Ao Grupo de ensino, Pesquisa e Extensão em Sistemas Agrícolas Sustentáveis – GEPESAS, por toda ajuda, comprometimento com a pesquisa e responsabilidade com o estudo. Agradeço por cada momento vivido, que de alguma forma pôde contribuir com minha formação e crescimento.

A Associação Atlética Acadêmica Ricardo da Fonseca – AAARF, que dê da minha participação foi importante para o meu crescimento e desenvolvimento principalmente na Oratória e relacionamentos interpessoais.

A Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas – FCAT- Campus de Dracena por proporcionar ótimo ambiente para meu desenvolvimento e para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço aos professores e funcionários por transmitir todo o conhecimento para os alunos. Agradeço de forma especial ao Prof. Dr. Ronaldo Cintra Lima, ao Prof. Dr. Evandro Pereira Prado, ao Prof. Dr. Diego Cunha Zied e ao Prof. Dr. Vitor Côrrea de Matos Barreto por toda amizade, ensinamentos e companheirismo que mesmo com pouco contato sempre me aconselharam e me incentivaram.

Aos meus amigos Gleison e Mayara que dê do começo estiveram comigo e me ajudaram nas dificuldades, seja dando conselhos ou compartilhando experiências para meu aprendizado.

Agradeço ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) por financiar a pesquisa, cujo número da proposta sendo 8954 e o título da Iniciação científica sendo Formas e épocas de aplicação de bioestimulantes à base de aminoácidos e substâncias húmicas no crescimento, desenvolvimento e produtividade do sorgo granífero.

“Seja forte e corajoso! Mãos ao trabalho! Não tenha medo nem desanime, pois Deus, o Senhor, o meu Deus está com você. Ele não o deixará nem o abandonará”
(1 Crônicas 28:20)

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, 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 moderna são compostos por substâncias organominerais e/ou microrganismos que 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 do sorgo granífero. Produtos à base de aminoácidos podem desempenhar um papel na regulação da sinalização no processo de aquisição de nutrientes e aumento da biomassa. Enquanto produtos à base de substâncias húmicas (SH) podem afetar diretamente a fisiologia das plantas, principalmente beneficiando o sistema radicular. 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 do sorgo granífero. O projeto de pesquisa foi desenvolvido em um Argissolo Vermelho distrófico típico de textura arenosa. O índice de clorofila foliar (SPAD), massa seca de parte aérea e raízes no florescimento pleno e a altura de plantas, diâmetro do colmo, número de panículas por metro, massa de 100 grãos, massa seca de palhada e produtividade de grãos de sorgo no final do ciclo (ocasião de colheita) foram avaliados. Os tratamentos constituídos da aplicação do bioestimulante parcelado em V4 e no emborrachamento (pré-florescimento) (V4+EMBO), totalmente em V4 (V4) e totalmente no emborrachamento (EMBO) do sorgo propiciaram maior desenvolvimento e crescimento da cultura comparativamente aos demais tratamentos, em especial ao tratamento controle. Os melhores tratamentos em produtividade de grãos foram: V4+EMBO (5992 kg ha⁻¹), V4 (5852 kg ha⁻¹) seguido de EMBO (5352 kg ha⁻¹), que apresentaram aumento em produtividade de grãos comparativamente ao tratamento controle (4504 kg ha⁻¹) de: 33%, 30% e 10%, respectivamente. O tratamento com aplicação do bioestimulante nas sementes + V4 + emborrachamento embora não tenha diferido estaticamente do tratamento controle nas principais avaliações e produtividade de grãos, numericamente prejudicou o desenvolvimento e produtividade da cultura. Tal resultado pode estar relacionado à um possível efeito salino da aplicação do produto nas sementes, não sendo recomendado sua aplicação nessa modalidade. A aplicação do bioestimulante à base de aminoácidos e substâncias húmicas apresenta-se como uma alternativa de manejo à cultura do sorgo, em momentos de déficit hídrico e maior demanda nutricional da cultura.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor* (L.) Moench, efeito bioestimulante na cultura do sorgo, estresse abiótico, bioestimulantes na agricultura tropical.

ABSTRACT

The pursuit of strategies to mitigate the negative effects of abiotic stress conditions related to climate adversities, coupled with low fertility soils and organic matter, common in tropical conditions, has resulted in the development of products that act on the physiological management of plants. These products aim to enhance water and nutrient absorption, promoting greater tolerance and growth of plants under adverse conditions. Biostimulants used in modern agriculture consist of organomineral substances and/or microorganisms designed to increase plant growth and development. They can be a viable option to mitigate the negative effects of water and heat stress on grain sorghum crops. Amino acid-based products may play a role in regulating signaling during nutrient acquisition and biomass increase. Meanwhile, products containing humic substances (HS) can directly impact plant physiology, particularly benefiting the root system. The objective of this study was to evaluate the effect of different forms and timings of application of a bio-stimulant based on amino acids and humic substances on the growth, development, and productivity of grain sorghum. The research project was conducted in a Ultisol with sandy texture. Leaf chlorophyll content (SPAD index), dry weight of shoot and roots at full flowering, plant height, stem diameter, number of panicles per meter, 100-grain weight, straw dry weight, and grain yield of sorghum at the end of the cycle (harvest time) were evaluated. The treatments involving split application of the biostimulant at V4 (4 fully developed leaves) and booting (pre-flowering) stages (V4+EMBO), solely at V4 (V4), and solely at booting (EMBO) stages for sorghum resulted in enhanced crop development and growth compared to other treatments, especially the control treatment. The best treatments in terms of grain yield were V4+EMBO (5992 kg ha⁻¹), V4 (5852 kg ha⁻¹), followed by EMBO (5352 kg ha⁻¹), showing increases in grain yield compared to the control treatment (4504 kg ha⁻¹) of 33%, 30%, and 10%, respectively. The treatment involving seed application of the bio-stimulant + V4 + booting, although not statistically different from the control treatment in the main evaluations and grain yield, numerically affected the crop development and yield negatively. This result may be attributed to a possible saline effect of the product applied to the seeds, indicating that this application method is not recommended. The application of the bio-stimulant based on amino acids and humic substances emerges as a management alternative for sorghum cultivation during periods of water deficit and increased nutritional demand by the crop.

Keywords: *Sorghum bicolor* (L.) Moench, bioestimulant effect in sorghum crop, abiotic stress, bioestimulants 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	23
Figura 2 - Produto utilizado e suas respectivas garantias. Dracena 2023.....	24
Figura 3 - Chuva, temperatura mínima, média e máxima na área experimental durante a condução do experimento. Dracena - SP, 2022/2023	26
Figura 4 - Foto comparativa dos tratamentos em florescimento pleno. Dracena – SP, 2023.....	29.

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. Dracena, SP.....22

Tabela 2 - Índice de clorofila foliar (SPAD), massa seca de parte aérea e raízes do sorgo granífero no florescimento pleno e altura de plantas, diâmetro do colmo, número de panículas por metro, massa seca de palhada, massa de 100 grãos e produtividade de grãos do sorgo granífero em ocasião de colheita. Dracena – SP, 2023.....28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivo Geral	17
2.1 Objetivos Específicos	17
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	18
3.1 Origem do Sorgo	18
3.2 Importância econômica e social do Sorgo	18
3.3 Vantagens do cultivo do Sorgo.....	20
3.4 Bioestimulante à base de aminoácidos e Substâncias Húmicas.....	20
3.5 Épocas de aplicação de bioestimulantes.....	21
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
4.1 Caracterização da área experimental.....	28
4.2 Caracterização do bioestimulante.....	23
4.3 Delineamento experimental e tratamentos.....	24
4.4 Manejo cultural do sorgo.....	25
4.5 Avaliações realizadas.....	26
4.6 Análise estatística.....	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
6 CONCLUSÃO	32
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

O sorgo é o quinto cereal mais produzido no mundo, depois do milho, trigo (*Triticum aestivum* L.), arroz (*Oryza sativa* L.) e cevada (*Hordeum vulgare* L.), visando à produção de feno, silagem, grãos ou pasto (Przybylska-Balcerek et al., 2020). A cultura tem sido uma excelente opção para situações em que o déficit hídrico e as condições de baixa fertilidade dos solos oferecem maiores riscos para outras culturas de segunda safra, como o cultivo de milho em regiões de alto risco, como o Oeste Paulista. Desta forma, sua expansão é favorecida em regiões com chuvas irregulares e, inclusive propício para uso em sucessão às culturas de verão (Yahaya and Shimelis, 2022). O cultivo de sorgo tem colaborado para oferta de múltiplos propósitos de uso como alimentação humana, animal e produção de bioenergia (Stamenković et al., 2020). 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 do sorgo 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 atuem no

manejo fisiológico das culturas, a fim de se promover maior tolerância e crescimento das plantas em condições adversas de estresse abiótico e biótico (Pačuta 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 cereais, 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 organominerais e/ou 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 tolerância 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 tricarboxílico (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; Poorgadhir 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 (Seyedbagheri 2010; Caradonia et al., 2022).

Considerando que a cultura do sorgo, embora resiliente, é cultivada principalmente em um período recorrente de déficit hídrico e aliado a solos tropicais de baixa fertilidade e matéria orgânica, 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 nas condições tropicais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo do presente estudo 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 do sorgo granífero.

2.1 Objetivos Específicos

- Avaliar a influência da aplicação do bioestimulante à base de aminoácidos e substâncias húmicas no desenvolvimento vegetativo da cultura do sorgo, analisando o índice de clorofila foliar, massa seca de parte aérea e raízes em ocasião de florescimento pleno;
- Avaliar a influência da aplicação do bioestimulante à base de aminoácidos e substâncias húmicas no crescimento e desenvolvimento reprodutivo da cultura do sorgo, analisando os principais componentes produtivos e produtividade de grãos de sorgo;
- Analisar a viabilidade e resposta de aplicação do bioestimulante à base de aminoácidos e substâncias húmicas no sorgo granífero cultivado em segunda safra como ferramenta sustentável de manejo cultural em condições de estresse abiótico;

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Origem do Sorgo

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) está entre os cinco principais cereais do mundo, sendo utilizado como alimento para milhares de pessoas principalmente na África e Ásia (ALBUQUERQUE et al, 2021). Segundo Ribas (2004) a cultura provavelmente tem sua Origem na África, embora algumas evidências indiquem duas regiões independentes, a África e a Ásia, onde segundo arqueólogos a domesticação para a moderna planta de sorgo tenha começado em 3000 AC.

A introdução da cultura nas Américas é bem mais recente, onde o registro das primeiras introduções é no Caribe, sendo implantada por escravos africanos, e depois dessa região, o sorgo atingiu o Sudoeste dos Estados Unidos da América (EUA), onde a primeira lavoura plantada foi por volta de 1853, em Nova Iorque. Em 1857, quatro anos mais tarde, o Departamento de Agricultura lançou a primeira cultivar “moderna”, fruto da manipulação genética realizada pelo homem (RIBAS, 2004).

De acordo com Ribas (2004), o sorgo foi muito cultivado no século XX, nos EUA para a produção de xarope ou melaço, porém, com algumas diferenças, as cultivares eram tardias e de portes maiores, sendo parecidas fenotipicamente com os atuais sorgos forrageiros, não permitindo assim a colheita dos grãos, pois, mesmo que manual, este processo era muito difícil. No século XX, com o avanço de novas tecnologias e mecanização, novas seleções foram feitas, acrescentando maior valor as cultivares, por porte mais baixo e precocidade.

No Brasil, onde a cultura é recente implantada, só começou a ser intensificada a partir da década de 70, onde sua área alcançou uma proporção de cerca de 80 mil hectares (ha), sendo principalmente implantada no Rio Grande do Sul e São Paulo (Lira, 1981 apud Tabosa et al, 2019).

3.2 Importância econômica e social do Sorgo

O sorgo granífero é versátil, podendo ser empregado tanto na alimentação humana quanto na fabricação de alimentos para animais. Na dieta humana, pode-se utilizar para produzir farinha para pães, mingaus fermentados e não fermentados, bebidas

alcoólicas e não alcoólicas, cuscuz, grãos inteiros e alimentos destinados à transição infantil (Borges, 2013). Por exemplo, o grão é uma excelente escolha para a produção de farinha utilizada na panificação, assim como para a obtenção de amido industrial, que é empregado como componente em biscoitos. Além de seu potencial nutricional e baixo custo, o sorgo também possui a capacidade de substituir o trigo na fabricação de certos alimentos. Além disso, é uma opção viável para pessoas com doença celíaca ou intolerância ao trigo (Vallin, 2022).

De acordo com o levantamento de safras da Conab (2024) (Companhia Nacional de Abastecimento), o Brasil registrou uma produção de sorgo de 4.357 milhões de toneladas na safra de 2023/2024. Isso ocorreu em uma área plantada de 1,4 milhões de hectares, o que significa uma redução de 9% quando comparado com o ano anterior. A produtividade média, conforme os dados da instituição, alcançou 3,4 quilos por hectare.

A área total dedicada ao cultivo de sorgo granífero no mundo abrange aproximadamente 37 milhões de hectares, sendo que a Ásia e a África contribuem com 82% desse montante. No entanto, apesar disso, a maior produção e produtividade são observadas na América do Norte, com os Estados Unidos e o México juntos responsáveis por 34% da produção mundial. Entre os principais produtores de grãos de sorgo do mundo, a Índia se destaca pela maior área plantada, abrangendo cerca de 11 milhões de hectares. No entanto, é nos Estados Unidos que encontramos a liderança em termos de produção mundial, com quase 14 milhões de toneladas produzidas em uma área de pouco mais de 3 milhões de hectares. Na América do Sul, a Argentina é o principal produtor, seguido pelo Brasil, que está prestes a integrar o grupo dos dez maiores produtores. A produção brasileira está em ascensão rápida e poderá alcançar ou até superar a posição da Argentina no continente ainda nesta década. Em escala global, o sorgo é um alimento fundamental para mais de 500 milhões de pessoas em mais de 30 países, colocando-o em destaque ao lado do arroz, trigo, milho e batata em termos de quantidade de alimento consumido (Ribas, 2008).

3.3 Vantagens do cultivo do Sorgo

O sorgo demanda menos água para crescer do que outros cereais, com seu estágio mais sensível à escassez de água sendo o período de florescimento. Em comparação com o milho, o sorgo demonstra maior produtividade sob estresse hídrico, graças à sua capacidade de explorar mais eficientemente o perfil do solo com suas raízes, reduzindo o murchamento e apresentando uma melhor capacidade de recuperação após períodos prolongados de seca, porém quando comparado ao milho em relação à temperaturas, quando esta é alta, o sorgo se mostra mais tolerante, e em relação a temperaturas baixas este é menos tolerante. A temperatura quando baixa afeta diretamente a esterilidade das espiguetas, tendo ação direta na panícula (Magalhães, 2003).

O sorgo é semeado em regiões e condições ambientais secas e/ou quentes, onde a produtividade de outros cereais seria economicamente inviável. Apesar de ser de origem tropical, o sorgo tem sido cultivado em latitudes de até 45° norte ou 45° sul, graças aos esforços dos melhoristas de plantas, que desenvolveram variedades adaptadas a áreas além da zona tropical. Ele é cultivado principalmente em regiões onde a precipitação anual varia entre 375 e 625 mm, ou onde há disponibilidade de irrigação suplementar (Ribas, 2008).

3.4 Bioestimulante à base de aminoácidos e Substâncias Húmicas

Na agricultura, os cultivos enfrentam desafios significativos devido a condições adversas, que podem ser causadas por diversos fatores. Entre os fatores abióticos estão o estresse hídrico, variações de temperatura, radiação e disponibilidade de nutrientes. Além disso, há também os fatores bióticos, como pragas e doenças. Esses elementos atuam como obstáculos ao crescimento e à expansão do sistema radicular das plantas, afetando sua atividade biológica e capacidade de defesa. Essas condições comprometem tanto o estabelecimento quanto o desenvolvimento das culturas (TAIZ et al., 2017).

Na agricultura contemporânea, os estimulantes biológicos utilizados para tratar sementes consistem em misturas de substâncias orgânicas e minerais, assim como microrganismos, com o intuito de promover o crescimento das plantas. Produtos que contenham substâncias húmicas têm o potencial de influenciar diretamente o

funcionamento das plantas, especialmente o desenvolvimento do sistema radicular. Por outro lado, os produtos à base de aminoácidos podem desempenhar um papel crucial na regulação da comunicação celular durante o processo de absorção de nutrientes e no aumento da massa vegetal (Izidório et al., 2015; Vendruscolo et al., 2018).

A assimilação dos aminoácidos é feita pela sua incorporação ao metabolismo vegetal, sendo sintetizadas como se não tivessem gasto energético para tal, melhorando assim a nutrição das culturas, principalmente em fases importantes e críticas no desenvolvimento das culturas (TEJADA et al, 2016).

De acordo com Arejano et al, (2022), os bioestimulantes estão sendo cada vez mais utilizados em extensão no setor agrícola do Brasil, como é mostrado em diversas pesquisas, para o crescimento e o desenvolvimento vegetal das culturas. Os dados encontrados dizem que o uso de bioestimulantes na agricultura é promissor e deve cada vez mais ser explorado, sendo estes produtos à base de aminoácidos ou a base de substâncias húmicas, apresentando inúmeros benefícios, sendo destacados o aumento do crescimento, massa das plantas, aumento da produtividade e aumento do crescimento das raízes.

3.5 Épocas de Aplicação de Bioestimulantes

A aplicação de produtos tecnológicos como bioestimulantes, vem sendo amplamente estudada com a finalidade de aumentar a taxa de germinação e produzir assim plantas fortes e resistentes a estresses abióticos e bióticos, resultando assim, no aumento da produtividade (Silva et al., 2016). Se considerarmos que estes produtos podem melhorar muito mais que o crescimento das plantas, podem melhorar o seu sistema de defesa, o uso de bioestimulantes é considerado uma estratégia importante na busca de uma agricultura sustentável (PERUCHINI, 2020). A aplicação de bioestimulantes no sorgo pode ocorrer em diferentes estágios do desenvolvimento da planta. A utilização de bioestimulante em semeadura pode melhorar o vigor e o percentual de germinação das plantas, podendo resultar em aumento da resistência a estresses abióticos do sorgo (Calvo, 2014). De acordo com Du Jardin (2015), durante os estádios vegetativos, a aplicação desses produtos pode estimular o crescimento das raízes e a absorção de nutrientes, resultando em incrementos vegetativos como a altura de plantas. A aplicação de bioestimulantes na fase de

emborrachamento pode promover a eficiência fotossintética e resultando em acréscimo de produtividade (Rouphael, 2020).

Abrantes et al. (2011), avaliando o efeito da aplicação de biostimulante em duas cultivares de feijão de inverno, observaram que a aplicação do produto no estágio vegetativo proporcionou maior altura de plantas. Segundo os autores, na fase vegetativa, a planta deve possuir maior quantidade de regulador de crescimento em relação à fase reprodutiva e, com a aplicação das doses do bioestimulante no estágio vegetativo, aumentou-se a quantidade destes reguladores nas plantas. Como consequência, houve maior crescimento vegetativo. Resultados semelhantes foram encontrados no trabalho de Dos Santos et al (2013), em que os tratamentos estudados que apresentaram maior taxa de crescimento foram os que tiveram a utilização de bioestimulantes na fase vegetativa do milho.

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 típico de textura arenosa na safra 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 Embrapa, (2017) (Tabela 1). A área experimental apresentava histórico de cultivo com soja de primeiro ciclo, antecedido por *Urochloa decumbens* não pastejada e manejada apenas com roçadeira há mais de 8 anos, sendo uma área de cultivo de cana-de-açúcar antes da implantação da área de pastagem.

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	0-0,40m
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

$n = 20$.

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.

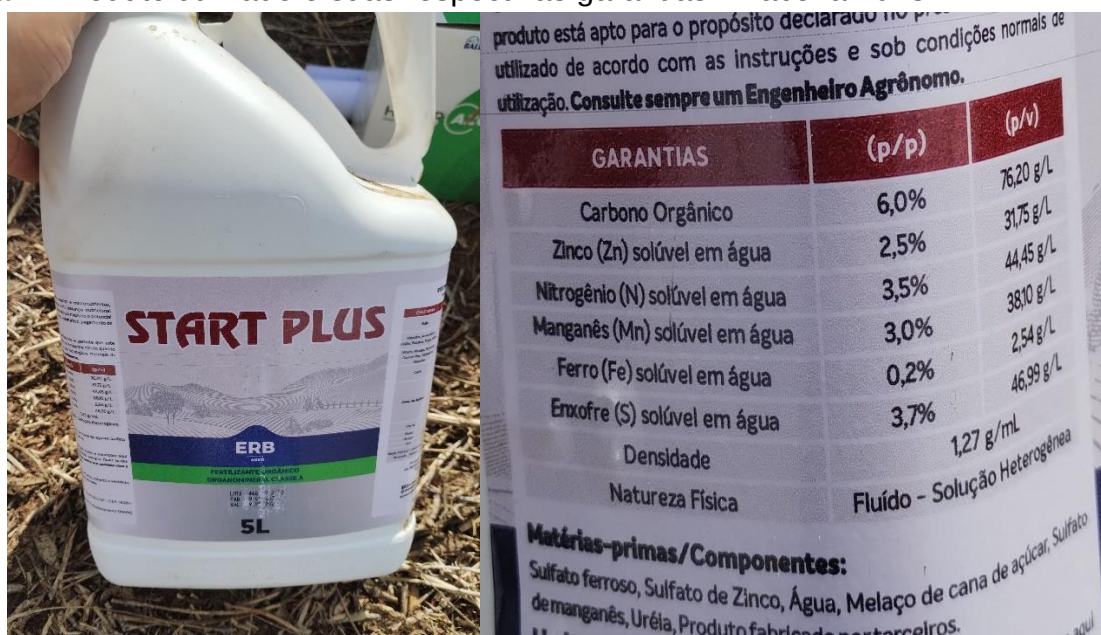


4.2 Caracterização do bioestimulante

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. Produto utilizado e suas respectivas garantias. Dracena 2023.



Por se tratar de um produto à base de aminoácidos, foi realizado o aminograma visando a caracterização 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, fenilalamina: 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.

4.3 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 produto comercial bioestimulante New Deal Star Agrosience Start Plus® nas sementes + 300 mL ha⁻¹ pulverizado via foliar em V4 (4 folhas completamente desenvolvidos) + 300 mL ha⁻¹ via foliar no emborrachamento (pré-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 no emborrachamento; **6)** 800 mL ha⁻¹ no emborrachamento. Um resumo

dos tratamentos é apresentado na Tabela 2. 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 4 linhas centrais, excluindo-se 0,50 m de cada extremidade.

4.4 Manejo cultural do sorgo

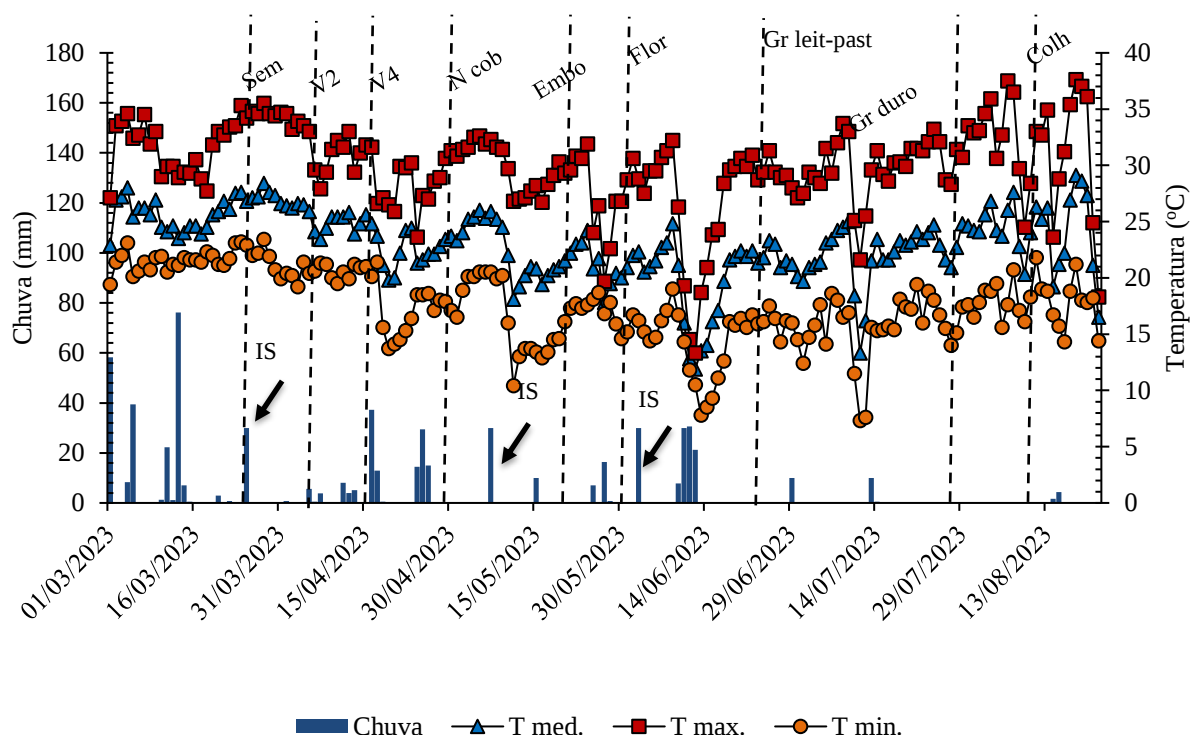
A cultura antecessora ao sorgo granífero foi a soja cultivar de soja Pioneer 97Y91 IPRO (GMR 7.6). A dessecação para colheita da soja foi realizada no estágio R7.3 (75% da soja amarelada), no dia 11/03/2023, uma semana antes da colheita, utilizando-se Diquat (2 L ha^{-1} do produto comercial) e Clethodim ($0,5 \text{ L ha}^{-1}$ do produto comercial), sendo então colhida no dia 18/03/2023.

O híbrido de sorgo granífero FS 66SG foi utilizado na safra 2023, com semeadura realizada no dia 24/03/2023, com densidade de semeadura de 8 sementes viáveis por m^{-1} , em sistema de semeadura direta. As sementes foram previamente tratadas (Tratamento de semente industrial - TSI) com Tiametoxam, Metalaxil-M, Tiabendazol, Fludioxonil (CRUISER® e MAXIM® Advanced). Logo após semeadura, foi realizada a correção da dessecação com Diquat (2 L ha^{-1} do produto comercial). A emergência das plântulas ocorreu 4 dias após semeadura, em 28/03/2023. A colheita foi realizada no dia 12/08/2023, 135 dias após emergência (DAE).

A adubação de base foi realizada, para todos os tratamentos, com aplicação de 300 kg ha^{-1} do formulado 08-28-16, no sulco de semeadura, ao lado e abaixo das sementes. Plantas daninhas foram controladas ao longo do ciclo utilizando-se controle com herbicidas pós-emergente. Insetos-praga e doenças foram controladas utilizando-se recomendações técnicas para a cultura do sorgo. Aos 31 DAE (29/04/2023), foi realizada a adubação nitrogenada de cobertura, na dose de 100 kg N ha^{-1} com a fonte ureia (46% de N), à lanço em superfície, na entrelinha do sorgo.

Para o desenvolvimento do sorgo e devido ao clima, foi necessário realizar irrigações suplementares durante o ciclo da cultura. Durante o ciclo foram realizadas 3 irrigações: dia 24/03/2023 em ocasião de semeadura; dia 07/05/2023 uma semana após adubação nitrogenada, devida a falta de chuva e visando o melhor aproveitamento do fertilizante; e no dia 02/06/2023 na semana do florescimento, devido a alta demanda hídrica neste período, e devido à falta de chuva. O sistema de irrigação utilizado foi por aspersão e a lâmina aplicada foi ao entorno de 30 milímetros.

Figura 3. Chuva, temperatura mínima, média e máxima na área experimental durante a condução do experimento. Dracena - SP, 2022/2023.



4.5 Avaliações realizadas

Avaliações em ocasião do florescimento da cultura (florescimento pleno - estágio 6) (Vanderlip e Reeves, 1972):

- Índice de clorofila foliar (SPAD): O índice de clorofila foliar (SPAD) foi determinado no florescimento pleno da cultura do sorgo (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 na folha +4 (quarta folha com a bainha visível do ápice para base da planta, folha diagnose nutricional da cultura), de cada parcela experimental, seguindo recomendação de Cantarella et al. (2022).

- Ainda no florescimento, foram coletadas 5 plantas por parcela para avaliação da biomassa de parte aérea e raízes. Foram abertas trincheiras de cerca de 0,50 m de profundidade, tomando-se o máximo cuidado para retirada de raízes das plantas. Após a coleta, as amostras (foram separadas, parte aérea, e raízes) foram

aconditionadas em sacos de papel. As amostras de raízes foram lavadas em água corrente e por fim imersas em água deionizada, e então armazenadas em novos sacos de papel após retirada do excesso de umidade. As amostras foram então mantidas em estufa de ventilação forçada na temperatura de 65 °C até massa constante, posteriormente foram pesadas em balança analítica para obtenção da biomassa de parte aérea e raízes.

Avaliações em ocasião de colheita da cultura (ocasião de colheita - estágio 9) (Vanderlip e Reeves, 1972):

- Altura de plantas: Considerada como altura da base até o ápice da panícula, mensurado em dez plantas por parcela experimental;
- Diâmetro do colmo: Obtida pela medição no segundo internódio inferior do colmo do sorgo, por meio de um paquímetro digital, avaliado em dez plantas por parcela experimental;
- Número de panículas por metro: Obtida pela média da contagem manual do número de panículas em 1 metro de linha de sorgo cultivado, avaliando-se duas linhas por parcela experimental;
- Massa de 100 grãos: Determinado em balança analítica de precisão (0,01 g), corrigida à 13% de umidade (base úmida);
- Massa seca de palhada: A massa seca de palhada foi considerada como toda parte aérea da planta (colmos e folhas ainda presos), retirando-se as panículas com grãos, isto é, não foi considerado como massa seca de parte aérea a massa das panículas 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 panículas das plantas nas quatro linhas centrais da parcela. Após trilha mecânica, a produtividade de grãos de sorgo foi quantificada em balança de precisão e os dados extrapolados para kg ha⁻¹ corrigida à 13% de umidade (base úmida).

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 (combinações de épocas e doses de aplicação do bioestimulante). 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

A aplicação do Bioestimulante New Deal Agrosience Start Plus® beneficiou o crescimento e desenvolvimento do sorgo, com aumento no Índice de Clorofila Foliar (ICF) e produção de massa seca e raízes no florescimento pleno da cultura (Tabela 3, Figura 2). Notadamente, os tratamentos que constaram da aplicação do produto parcelado em V4 + Emborrachamento (V4+EMBO) seguido da aplicação total em V4 e total em Emborrachamento (EMBO) propiciaram maiores valores das variáveis supramencionadas (Tabela 3). Estatisticamente, o tratamento V4+EMBO propiciou maior ICF, massa seca de parte aérea e raízes, com aumento comparativo ao tratamento controle de: 15% no ICF, 44% na massa seca de parte aérea e 39% na massa seca de raízes (Tabela 3).

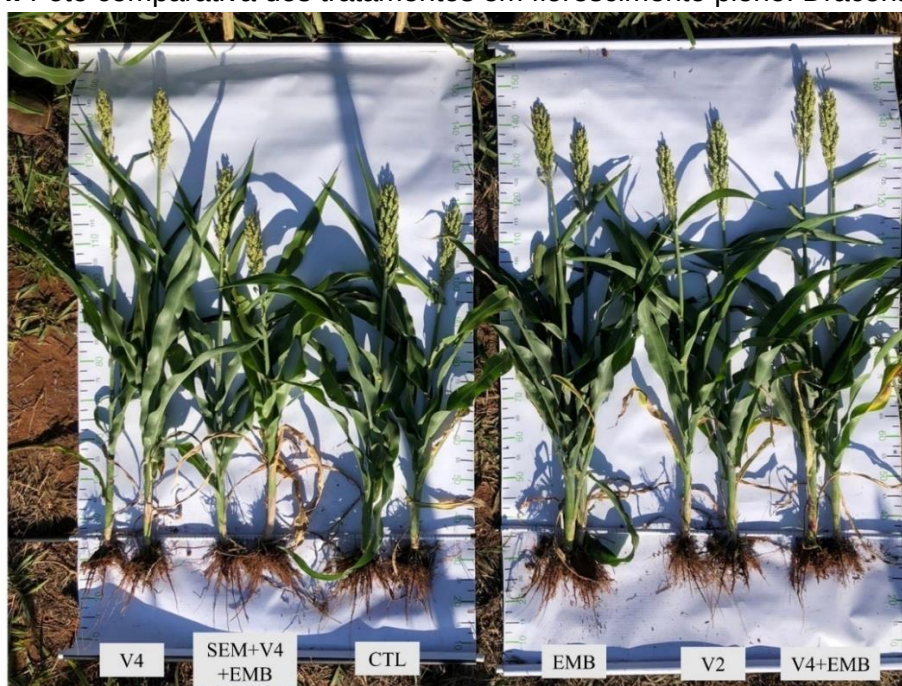
Tabela 2. Índice de clorofila foliar (SPAD), massa seca de parte aérea e raízes do sorgo granífero no florescimento pleno e altura de plantas, diâmetro do colmo, número de panículas por metro, massa seca de palhada, massa de 100 grãos e produtividade de grãos do sorgo granífero em ocasião de colheita. Dracena – SP, 2023.

Tratamentos	ICF (SPAD)	Massa seca de parte aérea (kg ha ⁻¹)	Massa seca de raízes (kg ha ⁻¹)	Altura de plantas (cm)	Diâmetro do colmo (mm)
Controle	42.6 bc	4711 c	1362 c	103 a	16.49 b
SEM+V4+EMBO	41.9 c	4385 c	1392 bc	102 a	17.70 ab
V2	42.4 c	4503 c	1214 c	98.6 a	16.41 b
V4	48.0 a	5629 b	1748 ab	103 a	18.22 ab
V4+EMBO	49.0 a	6814 a	1896 a	105 a	19.85 a
EMBO	46.9 ab	5155 bc	1540 abc	103 a	17.61 ab
D.M.S. (5%)	4.45	863	364	21.4	2.43
C.V. (%)	4.30	7.23	10.38	9.09	5.98
Média Geral	45.1	5200	1525	102.7	17.71

Tratamentos	Número de panículas m ⁻¹	Massa seca de palhada (kg ha ⁻¹)	Massa de 100 grãos (g)	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)
Controle	10.66 b	4562 b	3.14 c	4504 cd
SEM+V4+EMBO	7.66 b	4977 bc	3.22 c	3872 d
V2	14.66 a	4503 b	3.25 c	4856 bc
V4	15.33 a	5511ab	3.50 b	5852 a
V4+EMBO	17.33 a	6044 a	3.73 a	5992 a
EMBO	17.00 a	5392 ab	3.47 b	5352 ab
D.M.S. (5%)	3.09	710	0.22	799
C.V. (%)	9.78	5.99	2.83	6.86
Média Geral	13.77	5165	3.38	5071

D.M.S. = diferença mínima significativa; C.V. = coeficiente de variação. Médias seguidas de letra diferente, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Figura 4. Foto comparativa dos tratamentos em florescimento pleno. Dracena – SP, 2023.



Tais resultados positivos no ICF, e massa seca de parte aérea e raízes refletiram em melhor crescimento e desenvolvimento da cultura do sorgo granífero no final do ciclo, propiciando incrementos em produtividade de grãos (Tabela 3). Cavalcante et al. (2020), relata que o teor de clorofila reflete diretamente na qualidade foliar das plantas, tendo maior taxa de fotossíntese, portanto o crescimento e a produtividade das plantas estão relacionados com o aumento desta característica.

Foi observado, de maneira geral, um aumento no diâmetro do colmo do tratamento V4+EMBO comparativamente ao controle, número de panículas por metro, massa seca de palhada, massa de 100 grãos e produtividade de grãos (Tabela 3). Estatisticamente, os melhores tratamentos em produtividade de grãos foram:

V4+EMBO (5992 kg ha⁻¹), V4 (5852 kg ha⁻¹) seguido de EMBO (5352 kg ha⁻¹), que apresentaram aumento em produtividade de grãos comparativamente ao tratamento controle (4504 kg ha⁻¹) de: 33%, 30% e 10%, respectivamente para V4+EMBO, V4 e EMBO (Tabela 3). Entretanto Martins et al (2016), em estudos com milho relata que o uso de bioestimulantes não influenciou na altura de plantas e diâmetro do colmo. Araújo et al. (2020), relataram que embora os bioestimulantes promovam o crescimento e aumento da produtividade de diferentes culturas, estudos ainda são necessários para se obter confirmações sobre os efeitos dos bioestimulantes a base de aminoácidos com relação à altura de plantas e diâmetro do colmo.

O tratamento com aplicação do bioestimulante nas sementes + V4 + Emborrachamento (SEM+V4+EMBO) e totalmente em V2 (V2) não diferiram estaticamente do tratamento controle (CTL) no ICF, massa seca de parte aérea e raízes no florescimento, altura de plantas, diâmetro do colmo, massa seca de palhada, de massa de 100 grãos e produtividade grãos em ocasião de colheita (Tabela 3). Apenas para o número de panículas por metro, o tratamento V2 foi superior ao controle, com aumento no número de panículas em 37%, o que justifica o aumento numérico na produtividade de grãos do tratamento V2 (4856 kg ha⁻¹) comparativamente ao controle (4504 kg ha⁻¹), equivalente a 8% (Tabela 3). Assim como os resultados observados por Araújo et al. (2020), principalmente na aplicação nos tratamentos de semente e na pulverização foliar até os 15 dias após a emergência, que não proporcionaram ganhos significativos quando comparados com o controle.

De maneira geral, o tratamento SEM+V4+EMBO performou comparativamente ao tratamento controle para a maioria das variáveis analisadas, refletindo em, numericamente, menor produtividade de grãos comparativamente ao tratamento controle (3872 kg ha⁻¹ no tratamento SEM+V4+EMBO e 4504 kg ha⁻¹ no tratamento controle – redução de 16%) (Tabela 3). Os principais componentes produtivos avaliados que justificam esses resultados são a massa seca de parte aérea no florescimento e número de panículas por metro em ocasião de colheita, com redução de 7% e 39% respectivamente, para massa seca e panículas, comparando os tratamentos SEM+V4+EMBO e CTL (Tabela 3). Assim o estande de plantas e o desenvolvimento desde a fase inicial foi prejudicado pelo tratamento que apresentaram aplicação nas sementes, que possivelmente pode ser atribuído à um

efeito salino do produto, não sendo recomendada sua aplicação junto ao tratamento de sementes.

Analisando os dados climáticos obtidos na área experimental associados à fenologia da cultura do sorgo ao longo do experimento, é possível verificar que embora praticamente em todo ciclo da cultura foi verificado baixa disponibilidade hídrica (precipitação total ao longo do ciclo da cultura do sorgo de apenas 292,8 mm) os períodos nos quais ocorreram maior déficit hídrico, ocorreram pós-adubação nitrogenada em cobertura e pós-florescimento, antecedendo o início do enchimento de grãos (30/04 até 08/06) e no período de enchimento de grãos (grãos leitosos/pastosos até grãos duros – de 20/06 até 26/07) (Figura 3). Esses períodos coincidem com um momento de maior demanda por água e nutrientes na cultura do sorgo, que apresenta um aumento acelerado do crescimento vegetativo pós V4/V5 e resposta à adubação nitrogenada usualmente realizada próximo de V6/V7. O pico de demanda de água e nutrientes ocorre a partir do florescimento da cultura, com a emissão e desenvolvimento da panícula e continua ao longo dos estádios de enchimento de grãos. Dessa forma, a aplicação do bioestimulante entre os estádios V4 e emborrachamento poderiam de fato propiciar melhores resultados à cultura do sorgo, frente à maior demanda por nutrientes e água e associado ao déficit hídrico verificado ao longo do ciclo. O fornecimento do bioestimulante de maneira parcelada em V4 e no emborrachamento possivelmente supriu melhor a demanda da cultura nessa fase de escassez de água, o que justificaria os resultados obtidos. Long (2006), verificaram que o uso de diferentes bioestimulantes apresentam melhor resposta quando são aplicados em condições de estresse, onde as plantas cultivadas em condições mínimas ou ausentes de estresse abiótico possivelmente não respondam de maneira satisfatória ao manejo com bioestimulantes. No entanto, entendendo que a agricultura tropical é praticada quase sempre em ambientes produtivos com alguma adversidade climática, como temperatura elevada e déficit hídrico, associado à baixa fertilidade natural e matéria orgânica do solo, a utilização de bioestimulantes pode ser uma ferramenta importante de manejo cultural, principalmente em culturas anuais cultivadas em segunda safra (fevereiro-agosto), meses onde o déficit hídrico possivelmente será mais acentuado.

Em função da menor demanda por água e nutrientes e menor crescimento vegetativo nos estádios iniciais de desenvolvimento, aliado à disponibilidade de água entre V2 e V4 (23,4 mm de chuva entre 05/04 e 15/04), a resposta à aplicação do

bioestimulante em V2 foi menos evidente (Figura 3). Tais informações elucidam a questão de que a aplicação do bioestimulante à base de aminoácidos em momentos de déficit hídrico apresentam melhores resultados comparativamente à aplicação nos estádios no qual ocorreram disponibilidade hídrica mais adequada. Em complemento, fornecer o bioestimulante em momentos próximos aos picos de demanda nutricional e hídrica da cultura favorecem o crescimento e desenvolvimento da cultura do sorgo. Dessa forma, justificando os resultados positivos principalmente quando o posicionamento do bioestimulante foi realizado de maneira parcelada em V4 e no emborrachamento (V4+EMBO). 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 de grandes culturas (Jumrani e Bathia, 2019; Teixeira et al., 2020; Repke et al., 2022).

Evidentemente, cada safra 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 para a cultura do sorgo na região da Nova Alta Paulista.

6 CONCLUSÕES

A utilização do bioestimulante à base de aminoácidos e substâncias húmicas é eficiente para o desenvolvimento e produtividade do sorgo granífero, com aumento no índice de clorofila foliar e melhoria dos principais componentes produtivos, refletindo em maior produção de massa seca e produtividade de grãos. Os tratamentos com aplicação parcelada em V4 e no emborrachamento, e totalmente em V4 propiciaram maior desenvolvimento quando comparado aos demais tratamentos.

Os melhores tratamentos em produtividade de grãos foram: V4+EMBO (5992 kg ha⁻¹), V4 (5852 kg ha⁻¹) seguido de EMBO (5352 kg ha⁻¹), que apresentaram aumento em produtividade de grãos comparativamente ao tratamento controle (4504 kg ha⁻¹) de: 33%, 30% e 10%, respectivamente para V4+EMBO, V4 e EMBO. O tratamento com o bioestimulante nas sementes + V4 + emborrachamento não diferiu

estatisticamente do tratamento controle nas principais avaliações, onde tal resultado pode estar relacionado a um possível efeito salino nas sementes.

A aplicação de bioestimulante à base de aminoácidos e substâncias húmicas em momentos de déficit hídrico, temperaturas elevadas e maior demanda nutricional apresentam melhores resultados para fins de posicionamento e manejo cultural do sorgo cultivado em segunda safra.

REFERÊNCIAS

- ABRANTES, F.L.; SÁ, M.E.; SOUZA, L.C.D.; SILVA, M.P.; SIMIDU, H.M.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; VALÉRIO FILHO, W. V.; ARRUDA, N. Uso de regulador de crescimento em cultivares de feijão de inverno. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 148-154, 2011.
- ALBUQUERQUE, C.J.B.; DE MENEZES, C.B.; DE FREITAS, R.S. Origem, evolução e domesticação do sorgo. **MENEZES, Cicero Beserra de (Ed.). Melhoramento genético de sorgo. Brasília, DF: Embrapa, p. 59-79, 2021.**
- ALFOSEA-SIMÓN, M.; SIMÓN-GRAO, S.; ZAVALA-GONZALEZ, E.A.; CÁMARA-ZAPATA, J.M.; SIMÓN, I.; MARTÍNEZ-NICOLÁS, J.J.; LIDÓN, V.; RODRÍGUEZ-ORTEGA, W.M.; GARCÍA-SÁNCHEZ, F. Application of biostimulants containing amino acids to tomatoes could favor sustainable cultivation: implications for tyrosine, lysine, and methionine. **Sustainability**, v.12, p. 9729, 2020.
- ANITHA, K.V. Role of biostimulants in uptake of nutrients by plants. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 9, n. 563-567, 2020.
- ARAÚJO, G.P.; BATISTA, P.S.C.; CANGUSSU, L.V.S.; CANGUSSU, LVS.; DE OLIVEIRA, R.E.V.; SANTIAGO, W.E. Crescimento do sorgo sob diferentes formas de aplicação de bioestimulantes. **Acta Iguazu**, v. 9, n. 3, p. 87-90, 2020.
- AREJANO, L.M.; BARTZ, R.M.; DOS SANTOS, T.S.; RAMOS, G.H.; GADOTTI, G.I.; QUADRO, M.S. Uso de bioestimulantes na produção agrícola. **Aspectos da biotecnologia agrícola aplicada**, p. 57-64, 2022.
- BORGES, T.P. **Classificação e métodos de cozimento de sorgo (Sorghum bicolor L. Moench) em grãos**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa - MG, 78p., 2013.
- BROWN, P.; SAA, S. Biostimulants in agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v, 6, p, 1-3, 2015.
- CALVO, P.; NELSON, L.; KLOEPPER, J.W. Agricultural uses of plant biostimulants. **Plant and Soil**, v, 383, p.3-41, 2014.
- CANELLAS L.P.; OLIVARES, F.L.; AGUIAR, N.O.; JONES, D.L.; NEBBIOSO, A.; MAZZEI P.; PICCOLO A. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae** v, 30, p.15-27, 2015.
- CANELLAS L.P.; SANTOS, G.A. **Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. Campos dos Goytacazes, CCTA / UENF, 2005, 309p.
- CANTARELLA, H.; ZAMBROSI, F.C.B.; QUAGGIO, J.A.; DUARTE, A.P. Cereais. In: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; MATTOS, J.R.D.; BOARETTO, R.M.; VAN RAIJ, B. **Boletim 100: Recomendações técnicas de adubação e calagem para o estado**

de São Paulo. 3. ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas. p. 213-238, 2022. (Boletim Técnico 100).

CARADONIA F.; RONGA D.; TAVA A.; FRANCA E. Plant biostimulants in sustainable potato production: an overview. **Potato Research** v. 65, p. 83-104, 2022.

CAVALCANTE, W. S. Da S.; DA SILVA, N. F.; TEIXEIRA, M. B.; CABRAL FILHO, F. R.; NASCIMENTO, P. E. R.; CORRÊA, F. R. Eficiência dos bioestimulantes no manejo do déficit hídrico na cultura da soja. **Irriga**, v. 25, p. 754-763, 2020.

CALVACANTE, W.S.S.; SILVA, N.F.; TEIXEIRA, M.B.; CABRAL, F.R.; CORRÊA, F.R.; CUNHA, F.N. Comportamento de diferentes doses de bioestimulantes na cultura do sorgo. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.11, p.45-54, 2021.

DOS SANTOS, V.M.; DE MELO, A.V.; CARDOSO, D.P.; GONÇALVES, A.H.; VARANDA, M.A.F.; TAUBINGER, M. Uso dos bioestimulantes no crescimento de plantas de *Zea mays* L.. **Revista Brasileira de milho e sorgo**, v. 12, n.3, p.307-318, 2014.

DOS SANTOS SOUSA, W.; DE OLIVEIRA, V.J.D.; CAMPOS, T.S. Uso de bioestimulantes no incremento da produtividade de grãos. **Revista Agrotecnologia**. V.11, n.1, p. 11-13, 2020.

DU JARDIN, P. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, v, 196, p. 3-14, 2015.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2017. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. 3.ed. rev. Rio de Janeiro, 2017, 574p.

FAÇANHA, A.R.; FAÇANHA, A.R.O.; OLIVARES, F.L.; GURIDI, F.; SANTOS, G.A.; VELLOSO, A.C.X.; RUMJANEK, V.M.; BRASIL, F.; SCHRIPSEMA, J.; BRAZ-FILHO, R.; DE OLIVEIRA, M.A.; CANELLAS, L.P. Bioatividade de ácidos húmicos: efeito sobre o desenvolvimento radicular e sobre a bomba de prótons da membrana plasmática. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.37, n. 9, p.1302, 2002.

GALINDO, F.S.; NOGUEIRA, L.M.; BELLOTE, J.L.M.; GAZOLA, R.N.; ALVES, C.J.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M. Desempenho agrônomo de milho em função da aplicação de bioestimulantes a base de extrato de algas. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**. V.9, n.1, p.16, 2015.

GALINDO, F.S.; PAGLIARI, P.H.; BUZETTI, 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** v. 45, p.168-184, 2022b.

GALINDO, F.S.; RODRIGUES, W.L.; FERNANDES, G.C.; BOLETA, E.H.M.; JALAL, A.; ROSA, P.A.L.; BUZETTI, S.; LAVRES JUNIOR, J.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M. Enhancing agronomic efficiency and maize grain yield with *Azospirillum brasilense*

inoculation under Brazilian savannah conditions. **European Journal of Agronomy** v. 134, p. 126471, 2022a.

GONZAGA, B.A.; DE ANDRADE, C.L.L.; CABRAL FILHO, F.R. Tratamento de sementes de milho com bioestimulante. **Brazilian Journal of Science**, v. 2, n. 3, p. 46-53, 2023.

IZIDÓRIO, T.H.C.; LIMA, S.F.; VENDRUSCOLO, E.P.; ÁVILA, J.; ALVAREZ, R.C.F. Bioestimulante via foliar em alface após o transplântio das mudas. **Revista de Agricultura Neotropical**, p.49-56, 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** v.25, p.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**, v. 10, p. 1338, 2020.

KOCIRA, S.; SZPARAGA, A.; HARA, P.; TREDER, K.; FINDURA, P.; BARTOŠ, 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** v.10, p. 17759, 2020.

KOESTER, R.P.; SKONECZKA, J.A.; CARY, T.R.; DIERS, B.W.; 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** v.65, p. 3311-3321, 2014.

LONG, E. **The importance of biostimulants in turfgrass management**. 2006. Disponível em: <http://www.golfenviro.com/article%20Archive/Bioestimulants-Roots.htm>. Acesso em: 29 abr. 2024.

MAGALHAES, P.C.; DURAES, F.O.M. Ecofisiologia da produção de sorgo. **Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento**, Comunicado técnico 87, 1º ed. 2003, 4p.

NATARAJAN, S.; LUTHRIA, D.; BAE, H.; LAKSHMAN, D.; MITRA, A. Transgenic soybeans and soybean protein analysis: an overview. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** v. 61, p. 11736-11743, 2013.

OTHIBENG, K.; NEPHALI, L.; RAMABULANA, A.T.; STEENKAMP, P.; PETRAS, D.; KANG, K.B.; OPPERMAN, H.; HUYSER, J.; TUGIZIMANA, F. A metabolic choreography of maize plants treated with a humic substance-based biostimulant under normal and starved conditions. **Metabolites** v.11, p. 403, 2021.

PAČUTA, V.; RAŠOVSKÝ, M.; MICHALSKA-KLIMCZAK, B.; WYSZYŃSKI, Z. Grain yield and quality Traits of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) treated with seaweed- and humic acid-based biostimulants. **Agronomy** v. 11, p. 1270, 2021.

PERUCHINI, M.; RUPOLLO, C. Uso de Bioestimulantes na cultura da Soja. *Anais de Agronomia*, v.1, n.1, p. 203-215, 2020.

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** v. 30, p. 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** v. 23, p. 470, 2018.

PRZYBYLSKA-BALCEREK, A.; FRANKOWSKI, J.; STUPER-SZABLEWSKA, K. The influence of weather conditions on bioactive compound content in sorghum grain. **European Food Research and Technology** v. 246, p. 13-20, 2020.

R CORE Team. R: a Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible in: <https://www.R-project.org/>. 2015.

REPKE, R.A.; SILVA, D.M.R.; DOS SANTOS, J.C.C.; DE ALMEIDA SILVA, M. Alleviation of drought stress in soybean by applying a biostimulant based on amino acids and macro- and micronutrients. **Agronomy** v.12, p. 2244, 2022.

RIBAS, P.M. **Sorgo: introdução e importância econômica**. Embrapa – Centro de Pesquisa de Milho e Sorgo, p.7-14, 2003.

RIBAS, P.M. **Cultivo do Sorgo**. Embrapa Milho e Sorgo. Brasília, p.1-2, Set. 2008.

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Bioestimulantes na Agricultura. **Frontiers in Plant Science**, v.11, p.1-7, 2020.

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

STAMENKOVIĆ, O.S.; SILIVERU, K.; VELJKOVIĆ, V.B.; BANKOVIĆ-ILIĆ, I.B.; TASIĆ, M.B.; CIAMPITTI, I.A.; ĐALOVIĆ, I.G.; MITROVIĆ, P.M.; SIKORA, V.Š.; PRASAD, P.V.V. Production of biofuels from sorghum. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** v. 124, p. 109769, 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6.ed. Artmed Ed., 2017. p. 858.

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**, p.905-917, 2020.

TEJADA, M.; RODRÍGUES-MORGADO, B.; GOMEZ, I.; FRANCO-ANDREU, L.; BENITEZ, C.; PARRADO, J. Use of biofertilizers obtained from sewage sludges on maize yield. **European Journal of Agronomy**, v. 1, n. 78, p. 13-19, 2016.

VALLIN, G. **Conheça o Sorgo, um dos cereais mais cultivados no mundo.** Syngenta Digital, 13 abr. 2022. Disponível em: <https://blog.syngentadigital.ag/sorgo/>. Acesso em: 17 abr. 2024.

VANDERLIP, R.L.; REEVES, H.E. Growth stages of sorghum [*Sorghum bicolor*, (L.) Moench]. **Agronomy Journal**, v.64, p.13-16.

VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. **Instituto Agrônomo de Campinas**, 285p, 2001.

VENDRUSCOLO, E.P.; SIQUEIRA, A.P.S.; FURTADO, J.P.M.; CAMPOS, L.F.C.; SELEGUINI, A. Development and quality of sweet maize inoculated with diazotrophic bacteria and treated thiamine. **Revista de Agricultura Neotropical**, p.46-49, 2018.

VIANA, G. Produção de sorgo no Brasil sobe mais de 36% em apenas uma safra. **Embrapa – busca de notícias**, 19 set. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/73811127/producao-de-sorgo-no-brasil-sobe-mais-de-36-em-apenas-uma-safra>. Acesso em: 17 abr. 2024.

XIMENES, L.F.; SILVA, M.S.L.; BRITO, L.T. **Tecnologias de convivência com o semiárido brasileiro.** Série Ciência e Tecnologia, 1aed., Banco do Nordeste do Brasil-Fortaleza-CE, p. 515 – 528, 2019.

YAHAYA, M.A.; SHIMELIS, H. Drought stress in sorghum: mitigation strategies, breeding methods and technologies—a review. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.208, p.127-142, 2022.

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**, v.9, p. 720, 2018.