

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes

Tese



**EFICÁCIA NA UTILIZAÇÃO DE BIOESTIMULANTES NO DESENVOLVIMENTO DA
SOJA EM DIFERENTES SAFRAS E AMBIENTES**

Thomas Altmann

Pelotas-RS, 2024

Thomas Altmann

**EFICÁCIA NA UTILIZAÇÃO DE BIOESTIMULANTES NO DESENVOLVIMENTO DA
SOJA EM DIFERENTES SAFRAS E AMBIENTES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Pedó

Coorientador: Prof. Dr. Tiago Zanatta Aumonde

Pelotas-RS, 2024

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

A463e Altmann, Thomas

Eficácia na utilização de bioestimulantes no desenvolvimento da soja em diferentes safras e ambientes [recurso eletrônico] / Thomas Altmann; Tiago Pedó, orientador ; Tiago Zanatta Aumonde, coorientador. — Pelotas, 2024.

95 f. : il.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2024.

1. Glycine max. 2. Número de vagens. 3. Número de sementes. 4. Regimes hídricos. 5. Produtividade. I. Pedó, Tiago, orient. II. Aumonde, Tiago Zanatta, coorient. III. Título.

CDD 633.3458

Elaborada por Ubirajara Buddin Cruz CRB: 10/901

Thomas Altmann

EFICÁCIA NA UTILIZAÇÃO DE BIOESTIMULANTES NO DESENVOLVIMENTO DA SOJA EM DIFERENTES SAFRAS E AMBIENTES

Tese aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutor em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 27/12/2024

Banca examinadora:

Prof. Dr. Tiago Pedó (Orientador)
Doutor em Ciência e Tecnologia de Sementes pela Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Tiago Zanatta Aumonde
Doutor em Ciência e Tecnologia de Sementes pela Universidade Federal de Pelotas

Profa. Dra. Lilian Vanussa Madruga de Tunes
Doutora em Agronomia pela Universidade Federal de Santa Maria

Profa. Dra. Angelita Celente Martins
Doutora em Fisiologia Vegetal pela Universidade Federal de Pelotas

Profa. Dra. Danielle Almeida
Doutora em Fitotecnia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Lista de Figuras

- Figura 1** Dados meteorológicos durante a condução do experimento (24/11/21 a 14/04/22). Sendo: (a) temperaturas máximas e mínimas ($^{\circ}\text{C}$), (b) precipitação (mm), (c) umidade relativa do ar (%) e (d) insolação diária (h). Fonte: Banco de Dados Meteorológicos – Estação de Pelotas (INMET). 31
- Figura 2** Dados meteorológicos durante a condução do experimento (01/12/22 a 16/04/23). Sendo: (a) temperaturas máximas e mínimas ($^{\circ}\text{C}$), (b) precipitação (mm), (c) umidade relativa do ar (%) e (d) insolação diária (h). Fonte: Banco de Dados Meteorológicos – Estação de Pelotas (INMET). 32
- Figura 3** Gráficos boxplot representando a distribuição dos valores das variáveis diâmetro da haste (DIAM), número de vagens com 1 semente (1SEM) e número de vagens com 3 sementes (3SEM) em função dos tratamentos aplicados no experimento. Capão do Leão-RS, 2022..... 36
- Figura 4** Gráficos boxplot representando a distribuição dos valores das variáveis e número total de sementes (NRSEM) e número total de vagens (NRVG) em função dos tratamentos aplicados no experimento. Capão do Leão-RS, 2022..... 36
- Figura 5** Gráficos boxplot representando a distribuição dos valores das variáveis diâmetro da haste (DIAM), inserção da primeira vagem (IN1VG), número de vagens com 3 sementes (3SEM) e número total de sementes (NRSEM) em função dos tratamentos aplicados no experimento. Capão do Leão-RS, 2023. 41
- Figura 6** Gráficos boxplot representando a distribuição dos valores das variáveis teor de amido (AMID), proteína (PROT) e lipídeo (LIPID), em função dos tratamentos aplicados no experimento. Capão do Leão-RS, 2022..... 44
- Figura 7** Gráficos boxplot representando a distribuição dos valores das variáveis fibra (FIBR) e cinza (CINZ), em função dos tratamentos aplicados no experimento. Capão do Leão-RS, 2022..... 44
- Figura 8** Gráfico Biplot para os experimentos conduzidos em duas safras diferentes (ANO 1 e ANO 2) considerando as variáveis diâmetro da haste principal (DIAM), inserção da primeira vagem (IN1VG), altura de plantas (ALTU), número de ramificações (NRAM), número de vagens com 1, 2, 3 e 4 sementes (1SEM, 2SEM, 3SEM, 4SEM), número total de vagens (NRVG) e número total de sementes (NRSEM). Capão do Leão-RS, 2022 e 2023. 46
- Figura 9** Dados meteorológicos durante a condução do experimento de Londrina-PR (30/11/23 a 06/04/24). Sendo: (a) temperaturas máximas e mínimas ($^{\circ}\text{C}$), (b) precipitação (mm), (c) umidade relativa do ar (%) e (d) insolação diária (h). Fonte: Banco de Dados Meteorológicos – Estação de Londrina (INMET). 54
- Figura 10** Dados meteorológicos durante a condução do experimento de Piracicaba-SP (03/11/23 a 06/03/24). Sendo: (a) temperaturas máximas e mínimas ($^{\circ}\text{C}$), (b) precipitação (mm), (c) umidade relativa do ar (%) e (d) insolação diária (h). Fonte: Banco de Dados Meteorológicos – Estação de Piracicaba (INMET). 55

Figura 11 Gráficos boxplot representando a distribuição dos valores das variáveis fechamento de entrelinhas aos 30 DAE (FCH30) e 45 DAE (FCH45), número total de sementes (NRSEM) e número total de vagens (NRVG), em função dos tratamentos aplicados no experimento. Londrina-PR, 2024.....	61
Figura 12 Gráficos boxplot representando a distribuição dos valores das variáveis número médio de sementes por vagem (SEMG), número de vagens com 1 semente (1SEM), número de vagens com 2 sementes (2SEM) e número de vagens com 3 sementes (3SEM), em função dos tratamentos aplicados no experimento.....	62
Figura 13 Gráficos boxplot representando a distribuição dos valores das variáveis peso de mil sementes (PMS) e rendimento de colheita (YIELD), em função dos tratamentos aplicados no experimento. Londrina-PR, 2024.....	63
Figura 14 Gráficos boxplot representando a distribuição dos valores das variáveis fechamento de entrelinhas aos 30 DAE (FCH30) e 45 DAE (FCH45), peso de mil sementes (PMS) e rendimento de colheita (YIELD), em função dos tratamentos aplicados no experimento. Piracicaba-SP, 2024.....	67
Figura 15 Gráfico Biplot para os experimentos conduzidos em dois locais diferentes (LONDRINA e PIRACICABA) e considerando-se as variáveis fechamento de entre linhas aos 30 DAE (FCH30) e 45 DAE (FCH45), número total de vagens por planta (NRVG), peso de mil sementes (PMS) e rendimento de colheita (YIELD). Londrina-PR e Piracicaba-SP, 2024.....	69
Figura 16 Altura de plantas aos 37 DAE (ALTU37), área foliar aos 37 DAE (ARFO37) e área abaixo da curva de progresso da altura de plantas (AACP_ALTU) para o FATOR A (tratamentos) em casa de vegetação. Piracicaba-SP, 2024.....	78
Figura 17 Área foliar aos 37 DAE (ARFO37), massa seca de parte área (MSPA) e área abaixo da curva de progresso da área foliar (AACP_ARFO) para o FATOR B (regimes hídricos) em casa de vegetação. Piracicaba-SP, 2024.....	79
Figura 18 Índice SPAD aos 37 DAE (SPAD37), massa seca de raiz (MSR) e área abaixo da curva de progresso do índice SPAD (AACP_SPAD) para a interação entre o FATOR A (tratamentos) em relação ao FATOR B (regimes hídricos) em casa de vegetação. Piracicaba-SP, 2024.....	81
Figura 19 Índice SPAD aos 37 DAE (SPAD37), massa seca de raiz (MSR) e área abaixo da curva de progresso do índice SPAD (AACP_SPAD) para a interação entre o FATOR B (regimes hídricos) em relação ao FATOR A (tratamentos) em casa de vegetação. Piracicaba-SP, 2024.....	82

Lista de Tabelas

Tabela 1 Tratamentos utilizados nos experimentos de campo no ANO 1 (safra 2021/22) e ANO 2 (safra 2022/23). Capão do Leão-RS, 2022 e 2023.....	30
Tabela 2 Resumo da análise de variância para as variáveis diâmetro da haste principal (DIAM), inserção da primeira vagem (IN1VG), altura de plantas (ALTU), número de ramificações (NRAM), número total de vagens (NRVG), número de vagens com 1, 2, 3 e 4 sementes (1SEM, 2SEM, 3SEM, 4SEM) e número total de sementes (NRSEM), no ANO 1. Capão do Leão-RS, 2022 ..	35
Tabela 3 Resultados da razão da taxa de incidência (IRR) no ANO 1 para as variáveis quantitativas número de ramificações (NRAM), número de vagens com 1, 2 e 3 sementes (1SEM, 2SEM, 3SEM), número total de sementes (NRSEM) e número total de vagens (NRVG), obtidos pelo modelo Quasi-Poisson. Capão do Leão-RS, 2022..	38
Tabela 4 Resumo da análise de variância para as variáveis diâmetro da haste principal (DIAM), inserção da primeira vagem (IN1VG), altura de plantas (ALTU), número de ramificações (NRAM), número total de vagens (NRVG), número de vagens com 1, 2, 3 e 4 sementes (1SEM, 2SEM, 3SEM, 4SEM) e número total de sementes (NRSEM), no ANO 2. Capão do Leão-RS, 2023.	39
Tabela 5 Resultados da razão da taxa de incidência (IRR) no ANO 2 para as variáveis quantitativas número de ramificações (NRAM), número de vagens com 1, 2 e 3 sementes (1SEM, 2SEM, 3SEM), número total de sementes (NRSEM) e número total de vagens (NRVG), obtidos pelo modelo Quasi-Poisson. Capão do Leão-RS, 2023..	42
Tabela 6 Resumo da análise de variância para as variáveis teor de proteína (PROT), umidade (UMID), lipídeos (LIPID), fibras (FIBR), cinzas (CINZ) e amido (AMID), no ANO 1 e ANO 2. Capão do Leão-RS, 2022 e 2023.....	43
Tabela 7 Tratamentos utilizados nos experimentos de campo da safra 2023/24 realizados em duas localidades. Londrina-PR e Piracicaba-SP, 2024.....	53
Tabela 8 Resumo da análise de variância para as variáveis contagem de número de plantas por metro (STAND), porcentagem de fechamento de entre linhas aos 30 DAE (FCH30) e 45 DAE (FCH45), número total de sementes por planta (NRSEM), número total de vagens por planta (NRVG), número médio de sementes por vagem (SEMVG), número de vagens com 1, 2, 3 e 4 sementes (1SEM, 2SEM, 3SEM, 4SEM), peso de mil sementes (PMS) e rendimento de colheita (YIELD). Londrina-PR, 2024.	59
Tabela 9 Resultados da razão da taxa de incidência (IRR) para as variáveis quantitativas número de vagens com 1, 2 e 3 sementes (1SEM, 2SEM, 3SEM) número total de sementes por planta (NRSEM), número total de vagens por planta (NRVG) e número médio de sementes por vagem (SEMVG), obtidos pelo modelo Quasi-Poisson. Londrina-PR, 2024.....	64

Tabela 10 Resumo da análise de variância para as variáveis contagem de estande (STAND), porcentagem de fechamento de entre linhas aos 30 DAE (FCH30) e 45 DAE (FCH45), índice SPAD, altura de plantas (ALTU), diâmetro da haste principal (DIAM), número de ramificações (NRAM), número total de vagens (NRVG), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR), peso de mil sementes (PMS) e rendimento de colheita (YIELD). Piracicaba-SP, 2024	66
Tabela 11 Resultados da razão da taxa de incidência (IRR) para as variáveis quantitativas número de ramificações (NRAM) e número total de vagens (NRVG), obtidos pelo modelo Quasi-Poisson. Piracicaba-SP, 2024	68
Tabela 12 Tratamentos utilizados no experimento de casa de vegetação. Piracicaba-SP, 2024.....	74
Tabela 13 Resumo da análise de variância para as variáveis altura de plantas aos 37 DAE (ALTU37), área foliar aos 37 DAE (ARFO37), índice SPAD aos 37 DAE (SPAD37), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR) e área abaixo da curva de progresso da altura, área foliar e índice SPAD (AACP_ALTU, AACP_ARFO e AACP_SPAD). Piracicaba-RS, 2024	77
Tabela 14 Resultado das interações entre o FATOR A (Tratamentos) e o FATOR B (Regimes Hídricos) para índice SPAD aos 37 DAE (SPAD37), massa seca de raiz (MSR) e área abaixo da curva de progresso do índice SPAD (AACP_SPAD) no experimento de casa de vegetação. Piracicaba-SP, 2024.....	80

Dedico este trabalho à minha esposa, Ana Cristina, pelo amor, cuidado e apoio incondicional em todos os momentos de nossas vidas, especialmente durante o doutorado. Sem ela, eu não teria chegado até aqui. Dedico também aos meus filhos, Bruno e Laura, com a esperança de que este título seja uma inspiração para suas vidas no futuro.

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador, professor Tiago Pedó, por acreditar em meu potencial desde o início e por oferecer suporte em todas as etapas deste trabalho. Sua motivação e incentivo foram fundamentais para que eu superasse os desafios e seguisse adiante, mesmo nos momentos mais difíceis.

Agradeço à UFPEL, especialmente aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, pela excelência na produção acadêmica e dedicação à causa das sementes no Brasil.

Agradeço aos meus colegas de pós-graduação da UFPEL, especialmente a Benhur Schwartz Barbosa, Bruno Balbino Altmann e Vitor Kolesny, pelo suporte e apoio na condução e avaliação dos experimentos realizados em Pelotas, que fazem parte desta tese como se fossem deles próprios.

Agradeço aos colegas engenheiros agrônomos: Matheus Parenti, da empresa Syngenta Proteção de Cultivos; Vitor Hugo Cardoso, da empresa Fornarolli Ciência Agrícola; e Iuri Dario, da empresa Campo Verde Pesquisas Agronômicas, pelo apoio na condução dos experimentos realizados fora de Pelotas, os quais fazem parte desta tese.

Por fim, agradeço ao professor Lucas Cunha, da UEL, pela colaboração na realização e interpretação das análises estatísticas que fazem parte deste trabalho.

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 TRATAMENTO DE SEMENTES.....	17
2.2 ASPECTOS GERAIS DE BIOESTIMULANTES	19
2.3 HORMÔNIOS VEGETAIS.....	22
2.4 ESTRESSE HÍDRICO	24
3 CAPITULO I.....	28
3.1 INTRODUÇÃO.....	28
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.2.1 Caracterização dos experimentos de campo: ANO 1 e ANO 2	29
3.2.2 Variáveis resposta avaliadas: ANO 1 e ANO 2	32
3.2.3 Procedimentos estatísticos: ANO 1 e ANO 2	33
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
3.3.1 ANO 1 (safra 2021/22)	34
3.3.2 ANO 2 (safra 2022/23)	38
3.3.3 Análise da composição das sementes.....	42
3.3.4 Análise comparativa do ANO 1 e ANO 2 pelo gráfico Biplot.....	45
3.4 CONCLUSÕES	46
3.4.1 ANO 1	46
3.4.2 ANO 2	47
3.4.3 COMPOSIÇÃO DAS SEMENTES	47
3.4.4 COMPARAÇÃO ENTRE O ANO 1 X ANO 2	48
4 . CAPITULO II.....	49
4.1 INTRODUÇÃO.....	49
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	51
4.2.1 Caracterização dos experimentos de campo: LONDRINA-PR e PIRACICABA-SP	51
4.2.2 Variáveis resposta avaliadas no experimento de LONDRINA-PR:	55
4.2.3 Variáveis resposta avaliadas no experimento de PIRACICABA-SP:	56
4.2.4 Procedimentos estatísticos: LONDRINA-PR e PIRACICABA-SP	57
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4.3.1 LONDRINA-PR	58
4.3.2 PIRACICABA-SP	65
4.3.3 Análise comparativa dos locais LONDRINA e PIRACICABA pelo gráfico Biplot	68
4.4 CONCLUSÕES	69
4.4.1 LONDRINA-PR	69
4.4.2 PIRACICABA-SP	70

4.4.3 COMPARAÇÃO ENTRE LONDRINA-PR X PIRACICABA-SP.....	70
5 CAPITULO III.....	71
5.1 INTRODUÇÃO.....	71
5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	72
5.2.1 Caracterização dos experimentos em casa de vegetação	72
5.2.2 Variáveis resposta avaliadas no experimento em casa de vegetação:.....	74
5.2.3 Procedimentos estatísticos:	76
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
5.4 CONCLUSÕES	83
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85

Resumo

ALTMANN, Thomas. **Eficácia na utilização de bioestimulantes no desenvolvimento da soja em diferentes safras e ambientes.** 2024. Orientador: Prof. Dr. Tiago Pedó. 95 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2024.

A produção de sementes de soja (*Glycine max*) tem como desafio superar a variabilidade que ocorre entre as safras e diferentes regiões produtoras, bem como os estresses abióticos que podem ocorrer durante o ciclo produtivo. Nesse sentido, os bioestimulantes podem representar uma alternativa tecnológica viável para reduzir fatores limitantes à maximização do potencial produtivo, por melhorarem a capacidade das plantas de enfrentar condições ambientais adversas, atuando no seu metabolismo primário ou secundário. Por essa razão, foram instalados cinco experimentos com objetivo de avaliar a performance de bioestimulantes, aplicados em tratamento de sementes e via foliar, em safras, regiões e regimes hídricos diversos, sendo dois experimentos a campo em anos diferentes na localidade de Capão do Leão-RS, dois experimentos a campo na mesma safra, mas localizados em duas regiões diferentes, Londrina-PR e Piracicaba-SP, e um experimento em casa de vegetação simulando condição de alagamento e déficit hídrico. Foram avaliados os efeitos na estrutura e desenvolvimento inicial das plantas, composição das sementes e produtividade. Foi possível concluir que os bioestimulantes alteram significativamente os parâmetros estruturais das plantas, de produtividade e de composição das sementes, atendendo a padrões diferentes de acordo com o método de aplicação, localidade e condição ambiental. Houve aumento do diâmetro da haste, altura de plantas, área foliar, fechamento de entrelinhas, índice de clorofila, número total de sementes e vagens, peso de mil sementes, teor de proteína e fibras, além da produtividade na cultura da soja. Bioestimulantes aumentam o número médio de sementes por vagem, reduzindo vagens com poucas sementes. Bioestimulantes melhoram o desempenho da soja em situação de seca temporária, porém não são capazes de mitigar os efeitos deletérios do alagamento temporário. Além disso, não é possível afirmar que, numa mesma geografia, o efeito dos bioestimulantes sofra influência de uma safra para outra, mas é possível afirmar que existe um padrão de resposta diferente para o uso de bioestimulantes em diferentes geografias, dentro de uma mesma safra.

Palavras-chave: *Glycine max*; estrutura de plantas; número de vagens; número de sementes; composição de sementes; índice de clorofila; regimes hídricos; produtividade.

Abstract

ALTMANN, Thomas. **Effectiveness of using biostimulants in soybean development across different growing seasons and environments.** 2024. Advisor: Prof. Dr. Tiago Pedó. 95 p. Thesis (PhD in Seed Science and Technology) – Graduate Program in Seed Science and Technology, Faculty of Agronomy Eliseu Maciel, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2024.

The soybean seed production (*Glycine max*) has a challenge to overcome the variability that happens between different growing seasons and different regions, as well as the abiotic stresses that may occur during the production cycle. In this sense, biostimulants may represent a viable technology to reduce limiting factors to maximizing production and yield potential, by improving the plants' ability to cope with adverse environmental conditions, acting on their primary or secondary metabolism. For this reason, five experiments were conducted with the objective of evaluating the performance of biostimulants, applied in seed treatment and via foliar application, in different years, regions and water regimes. Two field experiments were conducted in different years in Capão do Leão-RS, two field experiments in the same season, but located in two different regions, Londrina-PR and Piracicaba-SP, and one greenhouse experiment, simulating flooding and water deficit conditions. The effects on the structure and initial development of the plants, seed composition and productivity were evaluated. It was concluded that biostimulants significantly modify the structural parameters of soybean plants, productivity and seed composition, meeting different standards according to the application method, location and environmental conditions. There was an increase in stem diameter, plant height, leaf area, inter-row closure, chlorophyll index, total number of seeds and pods, weight of a thousand seeds, protein and fiber content, as well as soybean productivity. Biostimulants increase the average number of seeds per pod, reducing pods with fewer seeds. Biostimulants improve soybean performance in temporary drought situations but are not capable of mitigating the deleterious effects of temporary flooding. Furthermore, it is not possible to state that, in the same geography, the effect of biostimulants is influenced from one season to another, but it is possible to state that there is a different response pattern to the use of biostimulants in different geographies, within the same growing season.

Keywords: *Glycine max*; structure of plants; number of pods; number of seeds; seed composition; chlorophyll index; water regimes; yield.

1 INTRODUÇÃO

Na última década, a CNM (Confederação Nacional dos Municípios) registrou mais de 14 mil decretos de emergência devido a eventos climáticos extremos, que resultaram em mais de R\$ 280 bilhões de prejuízo para a agricultura e pecuária, sendo que o déficit hídrico corresponde a 87% desses prejuízos (CONAB, 2024). Somente em 2022 as perdas somaram R\$ 62 bilhões na agricultura, sendo que os danos causados pelo déficit hídrico não se limitam à região Nordeste, mas também são sentidos no Sudeste e Sul do país. O Rio Grande do Sul foi o estado mais afetado em 2022, com perdas de R\$ 39 bilhões na sua agropecuária (CONAB, 2023).

A evolução na produtividade da soja brasileira está diretamente relacionada à utilização de tecnologias no setor produtivo e aos avanços científicos. Dentre essas, tecnologias tem se destacado a aplicação de fertilizantes e bioestimulantes foliares, entre outros (BALEN et al., 2015). Para o entendimento destas tecnologias é importante saber que, para que ocorra a absorção de íons e moléculas, estes devem romper duas barreiras: a cuticular, para entrarem no apoplasto, e o plasmalema, para passarem do apoplasto para o simiplasto (CASTRO; CARVALHO, 2014).

Em acordo com a absorção radicular, a absorção foliar também ocorre em duas fases, uma ativa e a outra passiva. Na fase passiva, o elemento aplicado atravessa a cutícula, a parede celular e os espaços intercelulares, chegando até a superfície externa do plasmalema, se movimentando através do ectodesmata. Já na fase ativa, o elemento atravessa o plasmalema, atingindo o citoplasma, podendo se acumular no vacúolo ou ser transportado para outras partes da planta (ROSOLEM, 2002). Após atravessar o mesófilo, os solutos entram no apoplasto e em seguida são transferidos ao floema por um processo ativo (FRANCESCHI; GIAQUINTA, 1983).

Sendo assim, na busca por maiores produtividades e proteção contra estresses abióticos, torna-se necessário o desenvolvimento de inovações tecnológicas com objetivo de promover o incremento da produtividade com maior sustentabilidade. O uso de bioestimulantes vem sendo indicado nos sistemas agrícolas como uma alternativa tecnológica viável em reduzir possíveis limitações à maximização do potencial produtivo (LIMA, 2017). Além de proporcionar aumento da produtividade eles contribuem para maior competição das plantas a fatores

adversos, dessa forma os bioestimulantes, também podem ser denominados de estimulantes, bioreguladores ou simplesmente reguladores (ECCO, 2019).

Os bioestimulantes melhoram a capacidade das plantas de enfrentar condições ambientais adversas, atuando no metabolismo primário ou secundário (FRANZONI et al., 2019). Quando submetidas ao estresse hídrico, as plantas têm suas células danificadas por radicais livres, mas o uso desse tipo de produto pode auxiliar o seu sistema de defesa (VASCONCELOS, 2019), sendo particularmente interessante na produção de sementes de soja, quando a restrição hídrica pode reduzir a seletividade das membranas celulares, prejudicando a sua qualidade (HENNING et al., 2010).

É importante salientar que a aplicação de bioestimulantes via tratamento de sementes visa favorecer a germinação e emergência das plântulas, o que consequentemente irá permitir um adequado estande final de plantas, um dos fatores essenciais quando se busca altas produtividades. Além disso, quando aplicado por esta via, espera-se um maior crescimento e desenvolvimento radicular, podendo-se obter um maior aproveitamento da água e nutrientes. Além disso, essa técnica tende a promover um maior enraizamento da soja, auxiliando a absorção de água e nutrientes de maneira que, ao passarem por estresses hídricos, essas plantas poderão superá-lo da melhor forma e com menores impactos na produtividade (SEIXAS et al., 2020).

Já, a aplicação via foliar pode ser feita tanto no período vegetativo, quanto reprodutivo, portanto, deve-se analisar quais são os objetivos da aplicação para definir o melhor momento de realizá-la. Esse método pode definir estatura de planta, número de vagens, qualidade de grãos, entre outros inúmeros fatores.

Diante do exposto, conhecendo as inúmeras possibilidades de melhorias nos cultivos agrícolas pela utilização de bioestimulantes, observa-se necessário realizar pesquisas com esses produtos na produção de sementes de soja, considerando-se as variabilidades advindas de diferentes safras e condições edafoclimáticas.

Logo, partindo da hipótese de que bioestimulantes promovem efeitos positivos no desenvolvimento da cultura da soja, podendo esse benefício variar de acordo com o ano e o local, esse trabalho objetiva avaliar a eficácia na utilização de bioestimulantes a base de aminoácidos, extratos vegetais e outras substâncias, na aplicação foliar e via tratamento de sementes, em diferentes épocas e regiões agrícolas, no desenvolvimento e produtividade da soja.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Tratamento de sementes

A erradicação de qualquer fungo nas sementes de soja é a principal razão para o tratamento destas. Ao proteger sementes e plântulas de infecções fúngicas no solo, cria-se condições uniformes para germinação e emergência. Também ajuda a prevenir surtos de doenças na cultura já instalada a campo, por meio de residual dos produtos, proporcionando maior sustentabilidade a longo prazo à planta, reduzindo os riscos durante a fase de implementação da cultura. Proporcionando uma população ideal de plantas inicialmente estabelecida, com o auxílio deste método (FRANÇA NETO, 2009).

De acordo com Henning (2005), além desta prática, o controle dos patógenos transmitidos via semente, é uma prática eficiente em garantir uma população adequada de plantas na semeadura diante de condições edafoclimáticas prejudiciais para a germinação e a emergência de plantas, que permitem que a semente fique exposta a patógenos presentes no solo, que causam a deterioração das sementes ou a morte de plântulas.

O tratamento de sementes é realizado com produtos químicos ou biológicos nas sementes promovendo o controle de doenças e pragas nos estágios iniciais da cultura, permitindo um melhor desenvolvimento da plântula. Além disso, é possível obter benefícios como a menor exposição a fungos e insetos, melhor desenvolvimento do sistema radicular e aproveitamento de água e nutrientes. Os inseticidas utilizados no tratamento de sementes funcionam como controle de pragas que afetam a cultura nos estádios vegetativos iniciais, possibilitando a planta se desenvolver com maior segurança e os inoculantes auxiliam as bactérias fixadoras de nitrogênio e na produção de hormônios reguladores de crescimento, como auxinas e citocininas (OLIVEIRA, 2016).

Ainda, o autor evidencia que essa técnica tem como principal característica proteger a semente desde a semeadura até a emergência da plântula, melhorando a qualidade sanitária da semente, controlando possíveis pragas iniciais, doenças e alterações climáticas, permitindo um crescimento mais vigoroso, com germinação uniforme e melhor enraizamento nos estádios iniciais da cultura, possibilitando a produção de mudas sadias, evitando a entrada de possíveis patógenos nas áreas de cultivo, aumentando a sua produtividade e proporcionando melhores condições para

cada planta responder de forma positiva ao ambiente e às práticas de manejo (OLIVEIRA, 2016).

O Brasil tem sido considerado um país modelo na aplicação dos benefícios da fixação biológica do N₂ (FBN), especialmente pela utilização de estírpes elite de *Bradyrhizobium* com a cultura da soja, em simbiose capazes de suprir totalmente a demanda da planta por nitrogênio (HUNGRIA et al., 2013). Estimativas apontam para contribuições da FBN da ordem de mais de 300 kg ha⁻¹ de N, além da liberação de 20 - 30 kg ha⁻¹ do nutriente para a cultura seguinte (HUNGRIA et al., 2007).

Outro grupo de microrganismos benéficos é representado por bactérias associativas capazes de promover o crescimento das plantas por meio de vários processos, incluindo a produção de hormônios de crescimento (como auxinas, giberelinas, citocininas e etileno), a indução de resistência sistêmica a doenças e estresses ambientais, a capacidade de solubilizar fosfato e, também, de realizar FBN. Dentre essas bactérias, destacam-se as pertencentes ao gênero *Azospirillum*, utilizadas mundialmente como inoculantes (HUNGRIA et al., 2010).

Além da utilização de produtos protetores, a adição de micronutrientes no tratamento das sementes, tais como cobalto e molibdênio apresentam relação positiva com o aumento da produtividade da soja, estando ambos relacionados a processos metabólicos da planta. A participação do Mo como cofator nas enzimas nitrogenase, redutase do nitrato e oxidase do sulfeto, está intimamente relacionada com o transporte de elétrons durante as reações bioquímicas, já o Co é essencial para a fixação do N₂, pois participa na síntese de cobamida e da leghemoglobina nos nódulos (SFREDO; OLIVEIRA, 2010).

Boschi (2014) destaca alguns fatores que podem influenciar o desempenho do tratamento químico de sementes, como o tipo e tamanho (peneira) das sementes, posição e potencial dos agentes biológicos associados às sementes, condição física e fisiológica do lote de sementes a ser tratado, características do solo (acidez, composição química e orgânica, umidade, temperatura etc.), tipo de formulação do produto comercial e a tecnologia de tratamento.

Desta forma, os bioestimulantes vêm recebendo destaque no cenário produtivo tornando-se alvo de pesquisa em diversas culturas como soja (CASTRO et al., 2008; BATISTA FILHO et al., 2013; SANTINI et al., 2015; BINSFIELD et al., 2014); milho (CONCEIÇÃO et al., 2010; DOURADO-NETO et al., 2014) entre outras. Porém, segundo os mesmos autores, quando se aborda de informações referentes

ao modo de ação destes produtos nas plantas, ainda existem muitas lacunas e controversas a respeito do melhor estádio fenológico, modalidade e dose de aplicação em relação às interferências promovidas na produtividade das culturas.

2.2 Aspectos gerais de bioestimulantes

Cultivos extensivos, como soja, milho, trigo, arroz, colza, girassol e algodão representam a maior parcela de área cultivada mundialmente e demandam altas quantidades de fertilizantes para obter altos rendimentos. Considerando um contexto de limitação de área de terras aráveis, é fundamental garantir a manutenção de altos rendimentos e qualidade por meio de estratégias alternativas, como o uso de bioestimulantes vegetais (BRIGLIA et al., 2019).

Os bioestimulantes possuem em suas formulações substâncias ou microrganismos que podem ser aplicados de forma direta nas plantas ou na região da rizosfera, promovendo o estímulo dos processos naturais que ocorrem nas plantas aumentando a absorção e eficiência de nutrientes, tolerância a estresses abióticos e/ou qualidade dos produtos. Esta descrição foi determinada pelo European Biostimulants Industry Council (EBIC) (ROUPHAEL; COLLA, 2015).

Apesar do seu uso crescente, não se tem uma definição específica para os bioestimulantes, a legislação que mais se aproxima da definição diz que são substâncias que estimulam os processos nutricionais das plantas (CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA, 2019). Na literatura são definidos como substâncias, advindas de algas e microrganismos, sintéticas ou naturais que incitam a absorção e eficiência dos nutrientes, sendo sua aplicação viável via semente, solo ou ainda foliar (FRASCA et al., 2020).

Eles são fornecidos para melhorar o equilíbrio hormonal das plantas, favorecer a expressão do potencial genético e estimular desenvolvimento radicular (ALMEIDA; RODRIGUES, 2017). Em geral, os bioestimulantes agem na degradação de substâncias de reserva das sementes, também na diferenciação, divisão e alongamento celulares (CASTRO; VIEIRA, 2001).

O uso de bioreguladores promovem o desenvolvimento das plantas e com isso vem sendo utilizados em diversas culturas. Os produtos referem-se a misturas de reguladores vegetais a outros compostos de natureza bioquímica diferentes, tais como: aminoácidos, vitaminas, algas marinhas, micronutrientes e ácido ascórbico (VIEIRA, 2001). Se o ambiente for favorável, as plantas se desenvolvem e, sob estas

condições, os efeitos dos bioestimulantes podem ser de difícil percepção. No entanto, quando as plantas são tratadas com bioestimulantes em condições de estresse, nota-se que elas apresentam um melhor desenvolvimento devido a melhora em seu sistema de defesa pelo incremento de níveis de antioxidantes nas plantas (KARNOK, 2000).

Além disso, os bioestimulantes proporcionam uma melhoria na nutrição das plantas pelo aumento da absorção devido ao crescimento radicular e incremento da corrente transpiratória e quando aplicados ao solo, tornam os nutrientes disponíveis às plantas (BULGARI et al., 2015). Porém, não são considerados fertilizantes, por não possuírem quantidades suficientes de nutrientes para atender as demandas nutricionais das plantas, e sim para ativação do metabolismo de processos fisiológicos. A utilização destes produtos na agricultura vem se tornando cada vez mais comum, devido ao aumento da absorção de água e nutrientes pelas plantas, assim como contribuindo na resistência a estresses hídricos e aos efeitos residuais de herbicidas no solo (RUSSO; BERLYN, 1992).

Em relação aos efeitos benéficos dos bioestimulantes, muitos estão vinculados a capacidade de influenciar a atividade hormonal das plantas e regular seu desenvolvimento, bem como as respostas ao ambiente onde se encontram (LONG, 2021). Estudos envolvendo fisiologia vegetal indicam que o aumento da resistência e adaptação das plantas às condições de estresse é propiciado pela presença de certas substâncias nos bioestimulantes, tais como os ácidos húmicos e extrato de algas marinhas (ZHANG; ERVIN; SCHMIDT, 2003).

Quando as plantas estão sob estresse, os radicais livres ou espécies reativas de oxigênio danificam as células das plantas. Os antioxidantes suprimem a toxicidade dos radicais livres, permitindo maior desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea. Alguns estudos mostram que a aplicação de bioestimulantes aumenta a atividade antioxidant na planta e, consequentemente, melhora seu sistema de defesa contra os estresses abióticos (HAMZA; SUGGARS, 2001). Os bioestimulantes podem ser divididos em categorias, que englobam substâncias húmicas, complexos orgânicos, elementos minerais benéficos, sais inorgânicos, incluindo fosfatos, extratos de algas, derivados de quitina e quitosana, antitranspirantes, aminoácidos e compostos contendo Nitrogênio (SOARES, 2017).

Devido aos avanços e modernização que vem ocorrendo na agricultura brasileira, todos os anos surgem novos produtos buscando solucionar os problemas

encontrados no campo e auxiliar no aumento da produtividade e consequente rentabilidade dos produtores. Para atender o mercado, surgem vários produtos com formulações variadas com base em fitormônios, micronutrientes, aminoácidos, vitaminas, nutrientes benéficos e compostos orgânicos naturais ou sintéticos (FERREIRA et al., 2007).

Pode-se dizer que os bioestimulantes agem de forma a potencializar a expressão do potencial genético (KOLLING et al., 2016). Porém, perduram posicionamentos técnico-científicos a serem consolidados diante do seu emprego em espécies como a soja, que já atingiram um elevado nível tecnológico. Com a finalidade de preencher a ausência de posicionamentos no uso de biorreguladores, diversos estudos vêm sendo conduzidos em culturas de expressiva escala econômica como a soja (KOLLING et al., 2016). Diversos trabalhos relatam aumento na produtividade de culturas em função da aplicação desses produtos, como feijão (COBUCCI et al., 2005), soja (BERTOLIN et al., 2010), milho (DOURADO-NETO et al., 2014) entre outras (RAMOS JUNIOR et al., 2005).

Bioestimulantes também são utilizados com o objetivo de promover plântulas mais vigorosas, que conseguem captar mais luminosidade realizando uma taxa fotossintética maior e aumento do índice de área foliar. Logo, o maior sombreamento da superfície do solo promove redução da evaporação, tornando o ambiente mais favorável para o desenvolvimento vegetal (OLIVEIRA et al., 2019).

Dentre os tipos de bioestimulantes mais utilizados estão aqueles à base de extrato de algas (*Ascophyllum nodosum*), cujos efeitos em plantas têm sido atribuídos ao seu conteúdo hormonal, aos micronutrientes e/ou à presença de polissacarídeos específicos de algas, betaínas, poliaminas e compostos fenólicos que, sozinhos ou em conjunto, são capazes de provocar efeitos fenotípicos positivos (DE SAEGER, et al., 2020).

O grupo dos aminoácidos também é muito utilizado no Brasil, sendo considerados um método moderno e sustentável para melhorar o crescimento e desenvolvimento de plantas, a produtividade e a eficiência de uso de nutrientes (CARUSO et al., 2019; ROUPHAEL & COLLA, 2020), bem como na resistência a diversos tipos de estresses abióticos (DESOKY et al., 2021).

Apesar de já existirem trabalhos utilizando os bioestimulantes em diferentes culturas, os resultados obtidos até agora têm sido controversos, sendo necessárias, portanto, novas pesquisas para melhor avaliação dos efeitos desses produtos na

agricultura, uma vez que seu uso tem sido implementado diversas regiões do mundo e especialmente considerando a variabilidade que pode existir entre uma e outra safra ou região edafoclimática.

2.3 Hormônios vegetais

Os hormônios vegetais, também denominados fitormônios, são um grupo de substâncias orgânicas de ocorrência natural nos vegetais, com a capacidade de afetar processos fisiológicos positivamente quando em concentrações muito baixas em comparação às que nutrientes ou vitaminas necessitariam. Os processos influenciados consistem principalmente na regulação de vários aspectos do crescimento, desenvolvimento e resposta das plantas ao estresse, embora outros processos, como o movimento estomático, também possam ser afetados (DAVIES, 2004; DU et al., 2012).

Nos vegetais, os principais hormônios conhecidos são as auxinas, giberelinas, citocininas, etileno, ácido abscísico (ABA) e ácido jasmônico (LI et al., 2017; TAIZ et al., 2017). A auxina é uma molécula sinalizadora responsável pelo fototropismo, que corresponde à capacidade de estimular o crescimento diferencial em resposta à gravidade ou estímulos luminosos; também é um importante fator da expansão da lâmina foliar, regulador da diferenciação do tecido vascular e da inibição do desenvolvimento do botão lateral (FOSKET 1994; BHATTACHARYA, 2019).

Além de serem produzidos pelas plantas, alguns microrganismos também são capazes de sintetizar algumas moléculas de auxina, como ácido indolacético (AIA) (NAPIER, 2017). A giberelina, comumente abreviada como GA, tem alta atividade biológica e é constituída de muitos compostos ácidos e, por essa característica, foi o primeiro hormônio a ser isolado. Esta molécula é responsável pela dormência e a germinação de sementes, estimula o alongamento e divisão celular, o crescimento do caule e os entrenós, a transição para o florescimento, o desenvolvimento do tubo polínico e a mobilização de reservas para os grãos e frutos (SRIVASTAVA, 2002; SPONSEL, 2003; HEDDEN, 2003; TAIZ et al., 2017; AHMAD et al., 2019).

Assim como a auxina, a giberelina é sintetizada por plantas e microrganismos, sendo que seu primeiro isolado foi originado do fungo

Gibberella fujikuroi, patógeno do arroz (AGRIOS, 2005). A citocinina desempenha um papel central na regulação do ciclo celular da planta e em vários processos de desenvolvimento, como na regulação da divisão celular. Em interação com a auxina, age sobre o controle da dominância apical, razão raiz-parte aérea, ramificação lateral e inibição da senescência em diversas plantas monocotiledôneas e dicotiledôneas (SRIVASTAVA, 2002; SCHMÜLLING, 2013; SHAMSI et al., 2019). Embora o papel das citocininas seja bem caracterizado, o conhecimento quanto ao seu efeito na tolerância ao estresse das plantas ainda é fragmentário (BHATTACHARYA, 2019).

O etileno é mais comumente conhecido pela função do amadurecimento dos frutos, mas também desempenha papel fundamental no controle do crescimento das plantas; por meio da regulação da expansão celular, estimula a germinação e a floração em certas espécies, assim como regula a abscisão de flores e folhas (DEPAEPE; STRAETEN, 2017; TAIZ et al., 2017). Conhecido como ABA, o ácido abscísico está envolvido no fechamento estomático, germinação de sementes, boas respostas ao estresse nos vegetais e é necessário para o acúmulo de reservas de nutrientes nas sementes. Apesar do nome, ABA não tem ação direta sobre a abscisão, visto que este processo é regulado pelo etileno (MONGRAND et al., 2003; NAMBARA, 2017; LIAQAT et al., 2021).

O termo “jasmonato” é utilizado para referir-se ao ácido jasmônico e seus compostos relacionados. Esse hormônio é responsável por regular vários processos de defesa dos vegetais, como tolerância ao estresse hídrico por mecanismos estomáticos e síntese de resposta contra o ataque de pássaros, pragas e patógenos (LOAKE et al., 2017; NAHAKPAM et al., 2021). Ademais, possui uma atividade específica adicional referente ao desenvolvimento da planta: a indução ou promoção da formação de tubérculos (MUROFUSHI et al., 1999).

Importante observar que esses hormônios também podem ser constituintes dos bioestimulantes, podendo ser de origem natural ou sintéticos. Os brassinosteroides são utilizados na sua forma natural, sendo componentes lipídicos da família dos esteróis, encontrados em algas, gimnospermas e angiospermas, e que servem como hormônios de plantas, sendo reguladores do desenvolvimento vegetal que atuam na divisão,

alongamento e diferenciação celular, além da fotomorfogênese, germinação, desenvolvimento reprodutivo, senescência foliar e resposta a estresses abióticos (TAIZ et al., 2017). Outro componente de origem natural utilizado como bioestimulante é o triacantol, que possui atividades regulatórias no crescimento e desenvolvimento das plantas (KHRIPACH et al., 1998), melhora a absorção de Nitrogênio (BOROWSKA, 2011) e aumenta a concentração de pigmentos fotossintéticos e assimilação de CO₂ (KUMARAVELU, 2000).

Foram observados resultados positivos de produtos à base de hormônios vegetais sintéticos, especialmente combinações de citocinina, ácido giberélico (GA) e ácido indolbutírico (AIB), como aumento do teor de clorofila em milheto (THIENGO et al., 2020), maior crescimento da parte aérea e sistema radicular do sorgo (ARAÚJO et al., 2020), aumento da massa seca da parte aérea do milho (BUCHELT et al., 2019), alta produtividade e qualidade fisiológica de sementes de trigo (OLIVEIRA et al., 2020), boa produtividade de grãos para o feijão-caupi (OLIVEIRA et al., 2015) e maior capacidade de suportar déficit hídrico, melhor desenvolvimento em solos de baixa fertilidade e aumento na produtividade da soja (CAVALCANTE et al., 2020; DE ARAÚJO et al., 2021). No feijoeiro, há resultados benéficos no uso de bioestimulantes à base de hormônios, como aumento do índice área foliar, logo, gerando produtividade e apontando viabilidade econômica (BOSSOLONI et al., 2017; ANJOS et al., 2017; SAMBATTI et al., 2020); porém, alguns resultados são menos evidentes em solos de alta fertilidade (FRASCA et al., 2018).

2.4 Estresse hídrico

A água atua em vários processos fisiológicos das plantas, sendo um recurso de extrema importância para o seu desenvolvimento. Destaca-se a fase fotoquímica da fotossíntese e o transporte e absorção de nutrientes, sendo, portanto, um recurso indispensável para o desenvolvimento dos vegetais. As plantas são constituídas de água em cerca de 90 a 95% da sua biomassa, sendo indispensável para a manutenção funcional dos tecidos e células (TAIZ et al., 2017; CHAVARRIA; SANTOS, 2012).

O estresse, em visão geral, pode ser definido como uma pressão excessiva de algum meio adverso que tende a dificultar o funcionamento normal de algum sistema. Para a botânica, o estresse é conceituado como um desvio significativo dos padrões normais para a vida da planta resultando então em mudanças (BLUM et al., 2006).

O estresse hídrico na forma de déficit hídrico, se manifesta na falta de água no solo para a atender a demanda das plantas, reduzindo a absorção de água e nutrientes pelo sistema radicular, causando prejuízos no seu desenvolvimento. Todas as plantas precisam de água para germinar, se desenvolver e produzir normalmente, e sua falta causa a inibição da fotossíntese, expansão radicular e, em casos extremos, pode levar ocorrer a morte da planta, já que a escassez causa o fechamento dos estômatos como forma de defesa, para que haja redução da transpiração, mudanças anatômicas, alteração fotossintética e murchamento da folha (MARENCO; LOPES, 2005).

O estresse hídrico interfere na germinação das sementes, sendo que a quantidade de água para a germinação não é exata, ou fácil de se determinar, podendo variar de acordo com a espécie (SOUZA et al., 2017). Durante o processo de imbibição a semente absorve água e inicia a retomada da atividade metabólica, com a mobilização e assimilação das reservas para o crescimento do embrião. Essa etapa é fundamental para a germinação, sendo que a velocidade da absorção de água depende de cada espécie, devido as diferenças na composição química, e a permeabilidade do tegumento (TORRES et al., 2020).

Por outro lado, culturas não adaptadas a solos hidromórficos, como a soja, sofrem efeitos negativos pela deficiência de oxigênio, quando submetidas a condições de encharcamento de solo (KOLB; JOLY, 2009), o que também é um tipo de estresse hídrico com efeito primário, pela redução da difusão de gases através dos poros saturados de água, o que leva a raiz a hipoxia (IRFAN et al., 2010). O encharcamento modifica a atmosfera do solo pela deficiência de O₂ e acúmulo de outros gases como CO₂, metano, etileno e gás sulfídrico (H₂S). Ocorre então a paralisação do crescimento das raízes, quase que imediatamente, sendo que o limite de tolerância das raízes de soja em relação ao CO₂ é de 20% na atmosfera do solo (COSTA et al., 2008).

O excesso de água no solo e consequente redução na aeração, levam a uma redução significativa na absorção de nutrientes pelas plantas e, como efeitos

secundários, ocorre também o fechamento dos estômatos e diminuição da fotossíntese. Como consequência da inibição da fotossíntese, as plantas passam a produzir ATP e NADPH nas raízes de forma anaeróbica, via glicólise e fermentação etanólica, provocando um desbalanço energético e de carboidratos na planta, reduzindo a capacidade de repor as reservas de amido e outros açúcares que foram consumidas (COLMER; VOESENEK, 2009).

Com base na importância econômica das plantas cultivadas, é indispensável produzir informações com objetivo de analisar o seu em condições de disponibilidade hídrica, para que haja um entendimento mais completo e prático do efeito do déficit ou excesso de água na produção agrícola, bem como as adaptações que as plantas adquirem quando submetidas aos diferentes tipos de estresse hídrico. Portanto, compreender as respostas fisiológicas e morfológicas diante de fatores ambientais, proporciona um banco de dados essencial para entender o desenvolvimento das plantas, como elas se adaptam e como minimizar os problemas no cultivo (CAMPOS et al., 2021).

Sendo assim, a água é um recurso limitado e de extrema importância para a manutenção da vida no planeta, ela pode ser observada em três estados físicos (líquido, sólido e gasoso), sendo ela formada por um átomo de oxigênio e dois átomos de hidrogênio (H_2O). Considerada um solvente universal presente em mais da metade da superfície da Terra. Nas plantas possui papel importante pois está ligada à manutenção da turgência, meio de transporte de nutrientes, regulação térmica e outros. Segundo dados da Organização das Nações Unidas – ONU, 60% da água disponível é consumida na agricultura, sendo ela um meio natural indispensável para as lavouras (TAIZ & ZEIGER, 2013).

A maior parte da produção agrícola está relacionada a órgãos reprodutivos, como frutas, grãos e olerícolas, e sua produtividade pode ser afetada pela falta de água, principalmente nos períodos de seca (PIMENTEL, 1998), sendo que, os processos de germinação , enchimento de grãos, reprodução e floração são estimulados com existência de água no solo e o principal meio da absorção dessa água é através das raízes das plantas, assim, sendo possível a distribuição da água para a parte aérea da planta via vaso condutor conhecido como xilema, sendo este encarregado do processo de levar a seiva bruta das raízes para folhas e caules (TAIZ & ZEIGER, 2017).

Ressalta-se ainda que, as plantas podem se tornar adaptáveis a seca a partir do ajustamento osmótico que é uma maneira que a planta tem para manter sua turgência, mesmo em casos de déficit hídrico, mantendo o abastecimento de água para as folhas, produção de folhas menores sendo que quando submetida a seca depois que todas as suas folhas atingem sua maturidade, estas folhas sofrem senescência e caem. Ajuste da parede celular, aumento da densidade e profundidade das raízes (DOSS et al., 2009), além de completar todo seu ciclo vital rapidamente antes que os tecidos atinjam a deficiência hídrica.

Entretanto, para plantas sobreviverem a períodos de estresse por seca as mesmas desenvolvem meios fisiológicos e morfológicos para diminuir os impactos, assim adaptando sua estrutura foliar para folhas menores para diminuir a perda de água, folhas cobertas com cera cuticular que serve para preservar a água em seu interior, pelos com menor espessura, finos para atuar retendo a umidade na superfície e no sistema radicular possuem a presença de raízes maiores e ramificadas para facilitar a busca por água no solo (GHANNOUM et al., 2003).

De modo geral, o mecanismo que as plantas desenvolvem para sobreviver aos períodos de seca são os mesmos para as diferentes espécies de plantas, todos relacionados com a área foliar menor, folhas murchas e enrolados, mudança na coloração das folhas, presença de pequenos espinhos e pelos, folhas cobertas por cera, caule menor e/ou retorcido, raízes maiores e mais grossas (MARENCO; LOPES, 2005).

3 CAPITULO I

Impacto do uso de bioestimulantes no desenvolvimento da soja em duas safras na região de terras baixas

3.1 Introdução

A soja (*Glycine max*) é uma das culturas mais importantes para a agricultura brasileira, com o Brasil sendo um dos maiores produtores e exportadores mundiais do grão. A busca por técnicas agrícolas que possam melhorar a produtividade de forma sustentável é contínua, especialmente em regiões onde as condições edafoclimáticas apresentam desafios específicos, como em terras baixas no Rio Grande do Sul. Nesse contexto, o uso de bioestimulantes tem ganhado destaque como uma estratégia promissora para aumentar a eficiência do cultivo da soja.

Os bioestimulantes são substâncias ou microrganismos aplicados em plantas com o objetivo de estimular processos naturais que beneficiam o crescimento, desenvolvimento e produtividade. Eles atuam em diferentes aspectos da fisiologia das plantas, como a absorção de nutrientes, o crescimento radicular e a tolerância ao estresse abiótico (CALVO et al., 2014; DU JARDIN, 2015). A aplicação de bioestimulantes pode ocorrer tanto no tratamento de sementes quanto via foliar, sendo estas práticas amplamente estudadas por seus efeitos positivos na produtividade das culturas agrícolas (ROUPHAEL; COLLA, 2020).

O tratamento de sementes com bioestimulantes tem mostrado resultados promissores ao promover a germinação uniforme e o desenvolvimento inicial das plantas, o que é crucial para a maximização do potencial produtivo da soja (BERGAMASCHI et al., 2019). Por outro lado, a aplicação foliar de bioestimulantes durante o ciclo de desenvolvimento da soja tem sido associada ao aumento da eficiência fotossintética e à melhor tolerância a condições adversas, como estresse hídrico e térmico (CANELLAS et al., 2020).

A região é caracterizada por condições climáticas variáveis e solos de fertilidade moderada, o uso de bioestimulantes pode representar uma solução eficaz para otimizar a produtividade da soja. Estudos recentes realizados na região apontam que a integração dessas técnicas poderá levar a aumentos significativos na

produção, contribuindo para a sustentabilidade da agricultura local (SILVA et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2022). Assim, este trabalho tem como objetivo avaliar o impacto do uso de bioestimulantes no tratamento de sementes e na aplicação foliar no desenvolvimento da soja cultivada em duas safras em terras baixas, buscando fornecer dados que possam orientar a adoção dessas práticas pelos produtores locais.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Caracterização dos experimentos de campo: ANO 1 e ANO 2

Foram conduzidos dois experimentos de campo nas safras 2021/22 e 2022/23 no Centro Agropecuário da Palma/UFPEL, município de Capão do Leão-RS, coordenadas 31° 45' 46" S e 52° 29' 02" W, clima subtropical (Cfa), altitude de 48 metros. O solo do local foi caracterizado como um Planossolo Háplico Eutrófico Solódico, pertencente à unidade de mapeamento Pelotas (STRECK et al., 2008), que possui como característica um horizonte A com elevado teor de areia e logo abaixo um horizonte B textural com elevado teor de argila, acarretando taxas de infiltração de água reduzida com tendência ao encharcamento e condições de anaerobiose e hipoxia.

Em ambos os experimentos utilizadas sementes de soja da cultivar BMX 64I61RSF IPRO, grupo de maturidade 6.4, com população de 240.000 plantas por hectare e espaçamento de 50 cm nas entre linhas. No ANO 1 (safra 2021/22), a semeadura foi realizada em 24/11/2021 e para o ANO 2 (safra 2022/23) a semeadura foi realizada em 01/12/2022.

Foram realizados tratamentos associando-se produtos aplicados em tratamento de sementes e via foliar. Para o tratamento de sementes (TS) foram utilizados um inseticida e um fungicida padrão, respectivamente Cruiser® e Maxim XL®, como base comum do TS. O inseticida Cruiser® tem como princípio ativo o inseticida Tiametoxam (grupo químico: neonicotinoide), enquanto o fungicida Maxim XL® é composto pelos ingredientes ativos Metalaxil-M (grupo químico: acilaninato) e Fludioxonil (grupo químico: fenilpirrol). Ainda em TS, foi utilizado o bioestimulante Radifarm®, que é um composto à base de extrato de algas (*Ascophyllum nodosum*). Para o tratamento foliar foi utilizado o bioestimulante Megafol®, quando a cultura

estava no estádio V4, também composto por extrato de algas (*Ascophyllum nodosum*) mais Betaína, Vitaminas, K₂O 8%, C 9% e N 3% (Tabela 1).

Tabela 1 Tratamentos utilizados nos experimentos de campo no ANO 1 (safra 2021/22) e ANO 2 (safra 2022/23). Capão do Leão-RS, 2022 e 2023.

	Tratamento	Composição	Dose (L.100 kg ⁻¹ * e L.ha ⁻¹ **)	Aplicação
T1	Testemunha	X	X	X
T2	Cruiser®	Tiametoxam	0,30	TS
	Maxim® XL	Fludioxonil + Metalaxil-M	0,10	TS
	Cruiser®	Tiametoxam	0,30	TS
T3	Maxim® XL	Fludioxonil + Metalaxil-M	0,10	TS
	Radifarm®	Extrato de alga (<i>Ascophyllum nodosum</i>)	0,15	TS
	Cruiser®	Tiametoxam	0,30	TS
T4	Maxim® XL	Fludioxonil + Metalaxil-M	0,10	TS
	Megafol®	Extrato de alga (<i>Ascophyllum nodosum</i>); Betaína; Vitaminas; K ₂ O 8%; C 9%; N 3%	1,00	V4
	Cruiser®	Tiametoxam	0,30	TS
	Maxim® XL	Fludioxonil + Metalaxil-M	0,10	TS
T5	Radifarm®	Extrato de alga (<i>Ascophyllum nodosum</i>)	0,15	TS
	Megafol®	Extrato de alga (<i>Ascophyllum nodosum</i>); Betaína; Vitaminas; K ₂ O 8%; C 9%; N 3%	1,00	V4

*Dose para 100 kg de sementes no tratamento de sementes

**Dose em litros por hectare para aplicação foliar

X = sem aplicação

TS = tratamento de sementes

V4 = estádio da cultura da soja na aplicação foliar

Os tratamentos de sementes foram realizados em equipamento mecanizado Momesso modelo Arktos Africa e as aplicações foliares realizadas no estágio V4 utilizando bomba costal manual Jacto XP 12L, de pressão variável, dotado de uma lança com ponta tipo leque. O equipamento e a velocidade de aplicação foram ajustados para aplicar um volume de calda médio de 200 L ha⁻¹.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados com 5 tratamentos e 4 repetições, sendo que nos dois experimentos as unidades experimentais compostas por parcelas de 12 m² (6 m de comprimento X 2 m de largura), contendo 4 linhas de semeadura com espaçamento de 50 cm entre linhas.

As condições climáticas durante o período de condução dos experimentos estão descritas nas Figura 1 e 2.

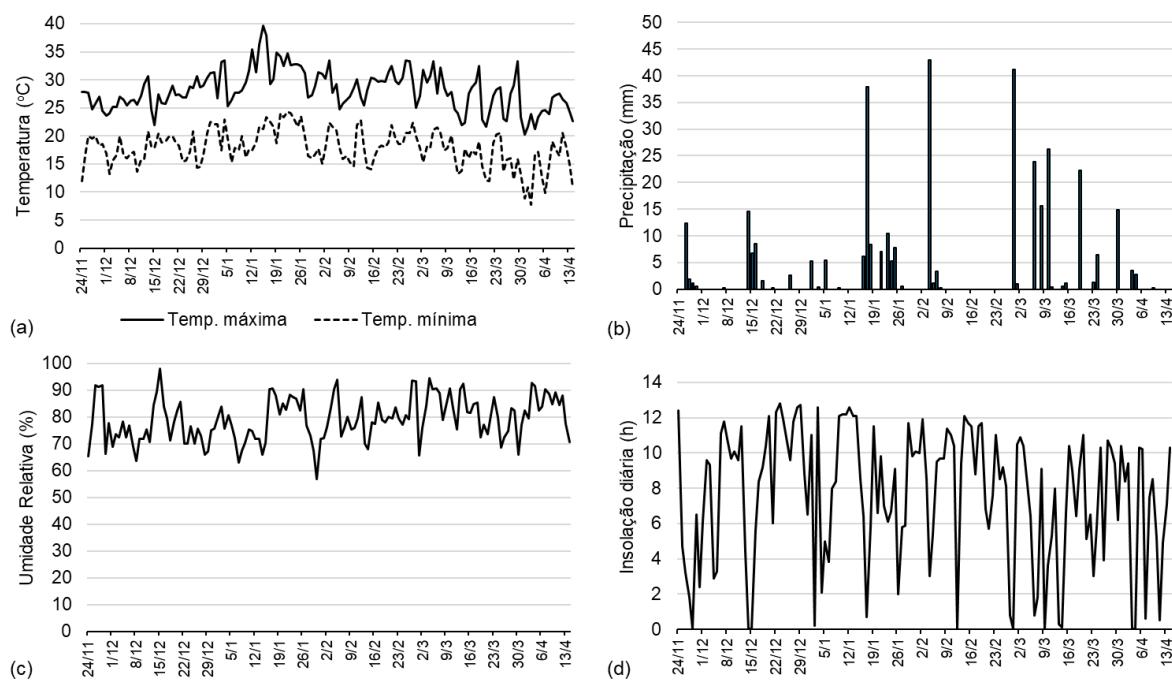


Figura 1 Dados meteorológicos durante a condução do experimento (24/11/21 a 14/04/22). Sendo: (a) temperaturas máximas e mínimas (°C), (b) precipitação (mm), (c) umidade relativa do ar (%) e (d) insolação diária (h).
Fonte: Banco de Dados Meteorológicos – Estação de Pelotas (INMET).

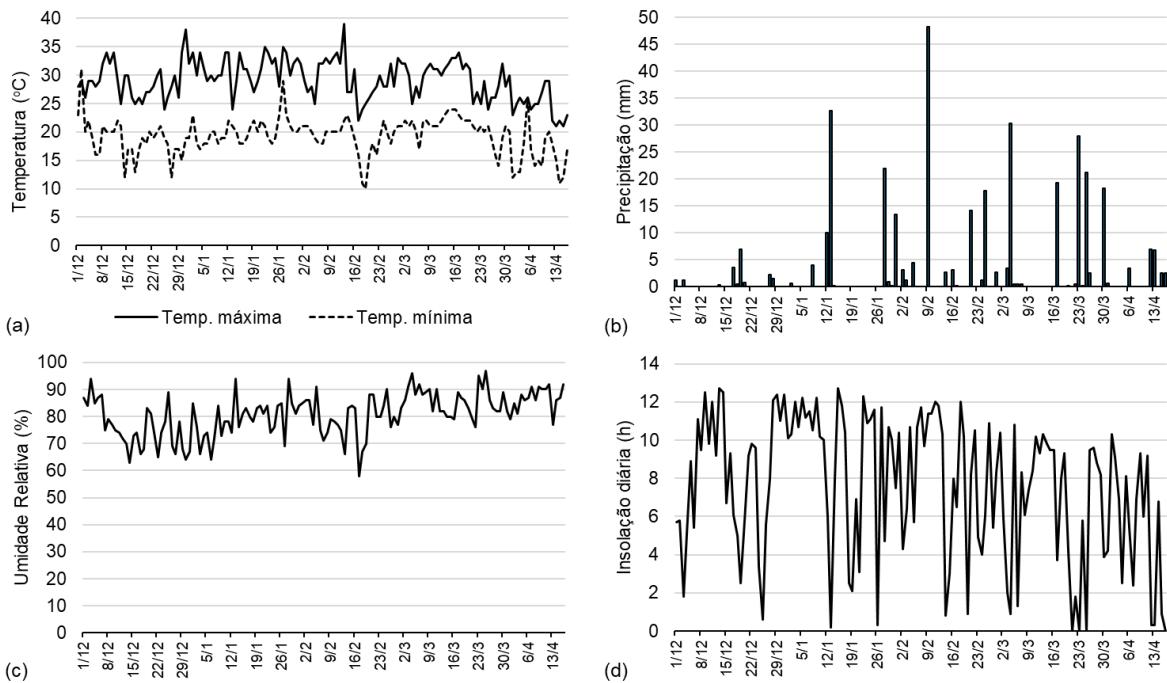


Figura 2 Dados meteorológicos durante a condução do experimento (01/12/22 a 16/04/23). Sendo: (a) temperaturas máximas e mínimas ($^{\circ}\text{C}$), (b) precipitação (mm), (c) umidade relativa do ar (%) e (d) insolação diária (h). Fonte: Banco de Dados Meteorológicos – Estação de Pelotas (INMET).

3.2.2 Variáveis resposta avaliadas: ANO 1 e ANO 2

Em ambos os experimentos (ANO 1 e ANO 2), foram coletadas as plantas inteiras (parte aérea e raiz) das duas linhas centrais de cada parcela quando a cultura se encontrava no estádio R8, o que aconteceu aos 134 DAE (dias após a emergência) no experimento do ANO 1 (safra 2021/22) e aos 129 DAE no experimento do ANO 2 (safra 2022/23), e foram avaliados os seguintes parâmetros:

- Diâmetro da haste principal (DIAM), em milímetros (mm), através da média de 25 plantas amostradas aleatoriamente, por parcela. Utilizou-se um paquímetro digital, tomando-se as medidas logo abaixo do primeiro nó do caule;
- Inserção da primeira vagem (IN1VG), em centímetros (cm), medida com o auxílio de uma trena a partir do colo da planta até a extremidade inferior da primeira vagem e determinada pela média de 25 plantas amostradas aleatoriamente, por parcela;
- Altura das plantas (ALTU), em centímetros (cm), através da média de 25 plantas amostradas aleatoriamente, por parcela. As medidas foram

realizas com auxílio de uma trena, disposta entre o colo da planta até a inserção do último trifólio desenvolvido;

d. Número de ramificações (NRAM), através da média de 25 plantas amostradas aleatoriamente, por parcela;

e. Número de vagens com 1 semente (1SEM), 2 sementes (2SEM), 3 sementes (3SEM) e 4 sementes (4SEM) através da média de 25 plantas, amostradas aleatoriamente, por parcela;

f. Número total de sementes (NRSEM) e número total de vagens (NRVG) através da média de 25 plantas, amostradas aleatoriamente, por parcela;

g. Composição das sementes: os caracteres de teor de proteína (PROT), lipídeos (LIPID), fibra bruta (FIBR), cinza (CINZ) e amido (AMID) foram determinados por espectroscopia NIR, da marca FOSS NIRS DS2500 (HillerØd, DK, Dinamarca), que possui uma faixa de leitura espectral entre 1100 e 2500 nm com intervalo de leitura de 2 nm, com tempo médio de leitura entre 40 e 45 segundos. Os resultados foram expressos em porcentagem (%). Para estimativa dos carboidratos totais (CT), foi usada a equação proposta por Snifen et al. (1992).

Não foram realizadas avaliações de rendimento de colheita por motivos de dificuldades operacionais nos 2 anos de condução dos experimentos no Centro Agropecuário da Palma.

3.2.3 Procedimentos estatísticos: ANO 1 e ANO 2

Para verificar o efeito dos tratamentos em cada variável resposta utilizou-se o teste da Análise de Variância (ANOVA), em um delineamento de blocos casualizados (DBC), considerando um nível de significância de 5%. Foi considerada a probabilidade maior de cometer o erro tipo I, pela característica desse tipo de pesquisa e produtos utilizados, geralmente com pequenas diferenças entre os tratamentos e, nesse contexto, havendo significância da ANOVA, validada pelos diagnósticos residuais, utilizou-se o teste de comparação múltipla LSD (*least significant difference test* ou teste de Fischer) para discriminar as diferenças entre as médias dos tratamentos.

Foi ajustado também o modelo Quasi-Poisson para inferir às variáveis de contagem a razão da taxa de incidência (IRR). Esse modelo é uma variação do

modelo de Poisson para dados que apresentam sobredispersão e, validado o modelo pelos diagnósticos residuais, calculou-se as taxas de incidência relativa (IRR), utilizando como referência o tratamento sem utilização de bioestimulantes (T1 – testemunha).

Por fim, foi feito um gráfico Biplot dos dois componentes principais, onde tanto as observações quanto as variáveis foram representadas nos dois anos (ANO 1 e ANO 2), para identificar possíveis padrões de dados, como agrupamentos, outliers e a relação entre as variáveis. Esse tipo de gráfico é uma ferramenta que combina duas representações principais de dados: uma de uma análise de componentes principais (PCA, *Principal Component Analysis*) e outra das variáveis envolvidas nesse processo.

3.3 Resultados e discussão

3.3.1 ANO 1 (safra 2021/22)

Com base na análise de variância (ANOVA) realizada, foi possível identificar diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos para as variáveis diâmetro da haste principal (DIAM), número de vagens com 1 e 3 sementes (1SEM e 3SEM), número total de sementes (NRSEM) e número total de vagens (NRVG) (Tabela 2).

Tabela 2 Resumo da análise de variância para as variáveis diâmetro da haste principal (DIAM), inserção da primeira vagem (IN1VG), altura de plantas (ALTU), número de ramificações (NRAM), número total de vagens (NRVG), número de vagens com 1, 2, 3 e 4 sementes (1SEM, 2SEM, 3SEM, 4SEM) e número total de sementes (NRSEM), no ANO 1. Capão do Leão-RS, 2022.

Quadrado da Média						
FV	GL	DIAM	IN1VG	ALTU	NRAM	NRVG
Tratamentos	4	1,80*	0,36 ^{ns}	43,74 ^{ns}	1,28 ^{ns}	364,89*
Blocos	3	0,28	17,06	127,66	1,04	692,47
Resíduo	12	0,78	3,55	35,55	1,05	213,12
Total	19					
C.V. (%)		12,76	7,85	6,76	20,37	18,28
FV	GL	1SEM	2SEM	3SEM	4SEM	NRSEM
Tratamentos	4	4,66*	80,14 ^{ns}	129,87*	0,00 ^{ns}	2523,52*
Blocos	3	7,43	179,37	142,74	0,01	3973,93
Resíduo	12	2,38	58,20	56,58	0,02	1307,82
Total	19					
C.V. (%)		14,83	22,45	21,25	123,68	19,55

* Significativo ao nível de significância $\alpha = 0,05$

^{ns} Não significativo

Na Figura 3, é possível observar que, para a variável DIAM, o tratamento T4 (aplicação foliar de Megafol®) foi superior aos demais tratamentos sem aplicação de bioestimulantes (T1 e T2). Por outro lado, o gráfico com os resultados para 1SEM mostra que principalmente os tratamentos T1, T2 e T3 tiveram número de vagens com apenas 1 semente superior aos tratamentos que receberam aplicação foliar de bioestimulante (T4 = Megafol®) ou a combinação de tratamento de sementes e foliar (T5 = Radifarm® + Megafol®).

Já em relação às avaliações de vagens com 3 sementes (3SEM) e número total de sementes (NRSEM), observa-se o oposto (Figuras 3 e 4). Ou seja, os tratamentos contendo bioestimulantes, tanto em tratamento de sementes (T3), aplicação foliar (T4) ou a combinação de ambos (T5), foram superiores para 3SEM e NRSEM, indicando que os bioestimulantes aumentaram o número de vagens contendo mais sementes, em detrimento das vagens com apenas 1 semente, o mesmo acontecendo para o número total de vagens por planta NRVG (Figura 4).

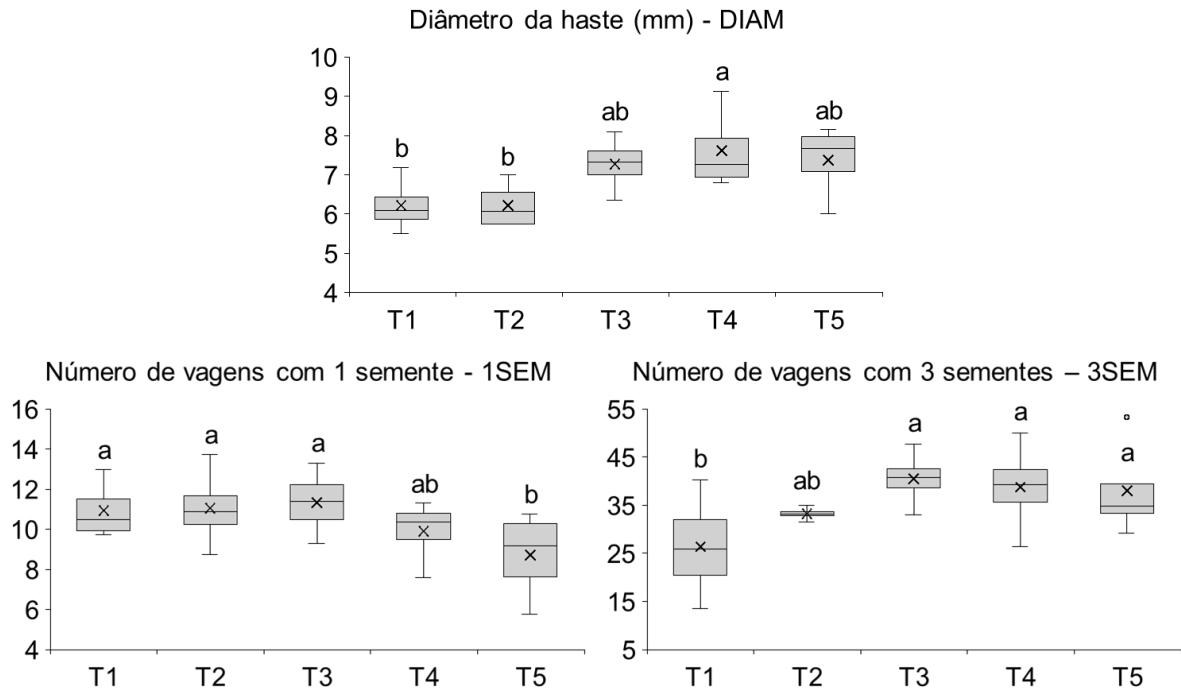


Figura 3 Gráficos boxplot representando a distribuição dos valores das variáveis diâmetro da haste (DIAM), número de vagens com 1 semente (1SEM) e número de vagens com 3 sementes (3SEM) em função dos tratamentos aplicados no experimento. Capão do Leão-RS, 2022.

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo Teste LSD ($\leq 5\%$).

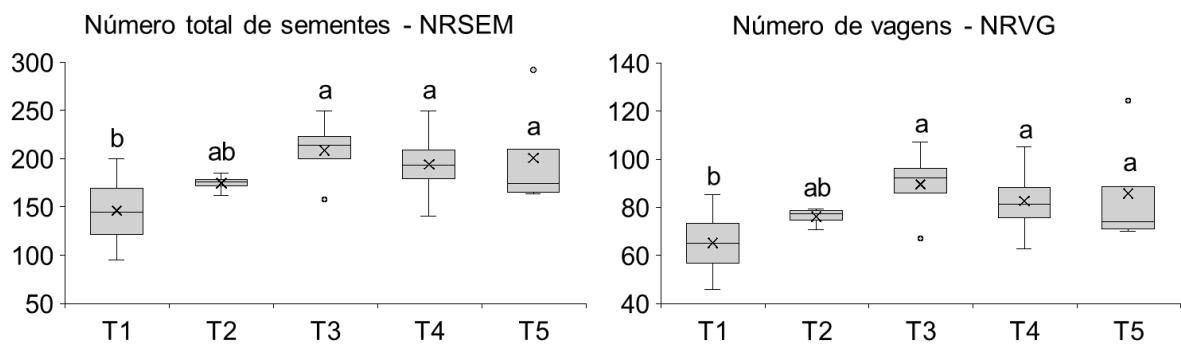


Figura 4 Gráficos boxplot representando a distribuição dos valores das variáveis e número total de sementes (NRSEM) e número total de vagens (NRVG) em função dos tratamentos aplicados no experimento. Capão do Leão-RS, 2022.

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo Teste LSD ($\leq 5\%$).

Esses resultados indicam que os tratamentos aplicados impactaram de maneira significativa algumas características das plantas, especialmente relacionadas à estrutura das plantas (DIAM, NRSEM e NRVG) e estão de acordo com diversos estudos que também mostraram que os bioestimulantes podem alterar a estrutura da soja ao melhorar o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas (SILVA et al., 2019; SOUZA et al., 2018; SANTOS et al., 2020).

Na análise com o modelo Quasi-Poisson (Tabela 3), empregada para inferir a razão da taxa de incidência (IRR) das variáveis quantitativas, observou-se pelo modelo ajustado que o pressuposto de normalidade dos resíduos foi satisfeito, pois todos os pontos estão dentro do envelope simulado.

Pela razão da taxa de incidência (IRR) dos tratamentos (T2, T3, T4 e T5) em relação à testemunha no tratamento 1 (T1), para as variáveis que apresentaram significância, foi possível observar que a IRR do número de sementes por vagem (NRSEM) teve um comportamento distinto, a depender do número de sementes presentes (1, 2 ou 3 por vagem). Para 1SEM, a IRR do T5 diminui em, aproximadamente, 20% em relação ao T1, enquanto para 2SEM a IRR aumenta em 35% no T3 e 40% no T5 em relação ao T1. Já, para 3SEM, os tratamentos T3, T4 e T5 aumentam a IRR em relação ao T1 na ordem de 53%, 47% e 44%, respectivamente (Tabela 3). Esse resultado confirma o recente achado de Rymuza et al. (2023), demonstrando que os bioestimulantes são capazes de aumentar significativamente o número médio de sementes por vagem, ao diminuir o número de vagens com apenas 1 semente e aumentar o número de vagens com 2 e 3 sementes.

Para as variáveis número de ramificações (NRAM), número total de sementes (NRSEM) e número total de vagens (NRVG), a IRR obedeceu a mesma lógica do número de sementes por vagem. Em relação ao NRAM, a IRR do T3 e do T5 aumentaram em ambos, aproximadamente, 34% em relação ao T1 (Tabela 3). Para NRSEM a taxa do número de sementes do T3, T4 e T5 aumenta em 43%, 33% e 37%, respectivamente, em relação ao T1, comportamento parecido para a variável NRVG, cuja taxa do número de vagens do T3, T4 e T5 aumenta, respectivamente, 37%, 27% e 31% em relação ao T1 (Tabela 3). Outros autores encontraram resultados semelhantes (SZPARAGA et al., 2018), com aumento de até 40% no número de sementes e vagens após a utilização de bioestimulantes na soja.

Tabela 3 Resultados da razão da taxa de incidência (IRR) no ANO 1 para as variáveis quantitativas número de ramificações (NRAM), número de vagens com 1, 2 e 3 sementes (1SEM, 2SEM, 3SEM), número total de sementes (NRSEM) e número total de vagens (NRVG), obtidos pelo modelo Quasi-Poisson. Capão do Leão-RS, 2022.

Tratamentos	Razão da Taxa de Incidência (IRR)					
	NRAM	1SEM	2SEM	3SEM	NRSEM	NRVG
T1	---	---	---	---	---	---
T2	1,271 ^{ns}	1,012 ^{ns}	1,138 ^{ns}	1,258 ^{ns}	1,194 ^{ns}	1,166 ^{ns}
T3	1,366 *	1,038 ^{ns}	1,351 *	1,535 *	1,428 *	1,374 *
T4	1,230 ^{ns}	0,907 ^{ns}	1,215 ^{ns}	1,467 *	1,330 *	1,266 *
T5	1,336 *	0,798 *	1,396 *	1,439 *	1,375 *	1,313 *

* Significativo ao nível de significância $\alpha = 0,05$

^{ns} Não significativo

Para todas as variáveis avaliadas verificou-se uma tendência de resposta positiva para o uso de bioestimulantes tanto na via foliar como via tratamento de sementes. Tratamentos com bioestimulantes têm demonstrado grande potencial em melhorar o perfil nutricional e estrutural da soja, impactando direta e positivamente a cultura da soja.

3.3.2 ANO 2 (safra 2022/23)

No segundo ano de condução do experimento, e com a mesma lista de tratamentos, verificamos mais uma vez pela ANOVA que o diâmetro da haste (DIAM), o número de vagens com 3 sementes (3SEM) e o número total de sementes (NRSEM) foi afetado significativamente pelos tratamentos. Diferentemente do primeiro ano, no entanto, a variável de altura da inserção da primeira vagem (IN1VG) também foi impactada significativamente, enquanto para as demais variáveis não houve efeito significativo (Tabela 4).

Tabela 4 Resumo da análise de variância para as variáveis diâmetro da haste principal (DIAM), inserção da primeira vagem (IN1VG), altura de plantas (ALTU), número de ramificações (NRAM), número total de vagens (NRVG), número de vagens com 1, 2, 3 e 4 sementes (1SEM, 2SEM, 3SEM, 4SEM) e número total de sementes (NRSEM), no ANO 2. Capão do Leão-RS, 2023.

Quadrado da Média						
FV	GL	DIAM	IN1VG	ALTU	NRAM	NRVG
Tratamentos	4	1,82*	9,03*	36,98 ^{ns}	1,45 ^{ns}	73,95 ^{ns}
Blocos	3	1,61	11,15	76,91	3,41	255,36
Resíduo	12	1,59	4,28	31,16	1,22	174,12
Total	19					
C.V. (%)		16,11	9,07	6,21	25,52	17,61
FV	GL	1SEM	2SEM	3SEM	4SEM	NRSEM
Tratamentos	4	2,69 ^{ns}	23,21 ^{ns}	33,16*	0,01 ^{ns}	487,80*
Blocos	3	1,78	90,16	43,73	0,00	1456,46
Resíduo	12	2,68	57,61	53,42	0,00	1110,21
Total	19					
C.V. (%)		17,76	22,95	22,42	143,53	19,22

* Significativo ao nível de significância $\alpha = 0,05$

^{ns} Não significativo

Em relação ao diâmetro da haste, foi observado que o Megafol® (T4) apresentou o maior diâmetro médio da haste (8,56 mm), seguido pela mistura de Radifarm® + Megafol® (T5) com 8,48 mm. Esses resultados indicam que esses tratamentos podem ter promovido um crescimento mais vigoroso das hastes, o que pode estar relacionado a uma maior capacidade de suporte da planta de soja. Os tratamentos testemunha (T1 e T2) apresentaram o menor diâmetro de haste (7,48 e 7,02 mm), sugerindo que a ausência de bioestimulantes produziu um efeito menos pronunciado na estrutura da planta (Figura 5).

Estudos como o de Vieira et al. (2001) mostraram que o uso de bioestimulantes à base de aminoácidos e hormônios vegetais pode promover um maior crescimento vegetativo e desenvolvimento de ramificações em soja. Embora o efeito direto no número de ramificações (NRAM) não tenha sido significativo nesse segundo ano de experimento, o resultado de DIAM é consistente com o maior desenvolvimento das plantas observado nos tratamentos 4 e 5 (T4 e T5), o que sugere um estímulo no crescimento das plantas (Figura 5).

Mógor et al. (2018) avaliaram o impacto de diferentes bioestimulantes no diâmetro da haste da soja, observando um aumento significativo com o uso de

compostos ricos em aminoácidos e micronutrientes. Esse aumento de diâmetro pode contribuir para uma planta mais robusta, capaz de sustentar maior carga de vagens. O desempenho dos tratamentos contendo Megafol® (T4 e T5) no presente estudo, com o maior diâmetro de haste, estão em linha com os achados de Mógor et al., reforçando a eficácia de bioestimulantes nesse aspecto.

O tratamento com aplicação foliar de Megafol® (T4) também se destacou ao apresentar a maior altura de inserção da primeira vagem ($IN1VG = 24,5$ cm). Isso pode ser vantajoso para a colheita mecânica, pois uma inserção mais alta reduz as perdas de colheita (Figura 5). O tratamento com aplicação de Radifarm® (T3) via tratamento de sementes, por outro lado, teve menor altura de inserção (20,5 cm), o que sugere que o efeito dos bioestimulantes foi diverso, a depender do método de aplicação, ou que o efeito do tratamento de sementes (TS), realizado na semeadura, não foi suficiente para interferir positivamente nessa variável resposta e, pelo contrário, teve efeito negativo (Figura 5). Seria interessante confirmar com mais estudos se as aplicações foliares com bioestimulantes apresentam vantagem o TS, ou ainda se o TS pode prejudicar a $IN1VG$.

O trabalho de Vieira et al. (2001) observou que a aplicação de bioestimulantes contendo citoquininas e auxinas resultou em maior altura de inserção da primeira vagem em soja. Esses resultados coincidem com o desempenho do T4, podendo facilitar a colheita mecanizada, conforme observado em ambos os estudos.

Para a variável de vagens com 3 sementes (3SEM), todos os tratamentos com bioestimulantes diferiram significativamente da testemunha (T1), sendo que T4 apresentou o maior número (35,7). Uma lavoura com plantas de soja que possuam número de vagens com mais sementes é particularmente relevante, pois essas vagens contribuem diretamente para uma maior produtividade, o mesmo acontecendo para a variável NRSEM, com destaque novamente para o T4 que teve o maior número total de vagens por planta (Figura 5).

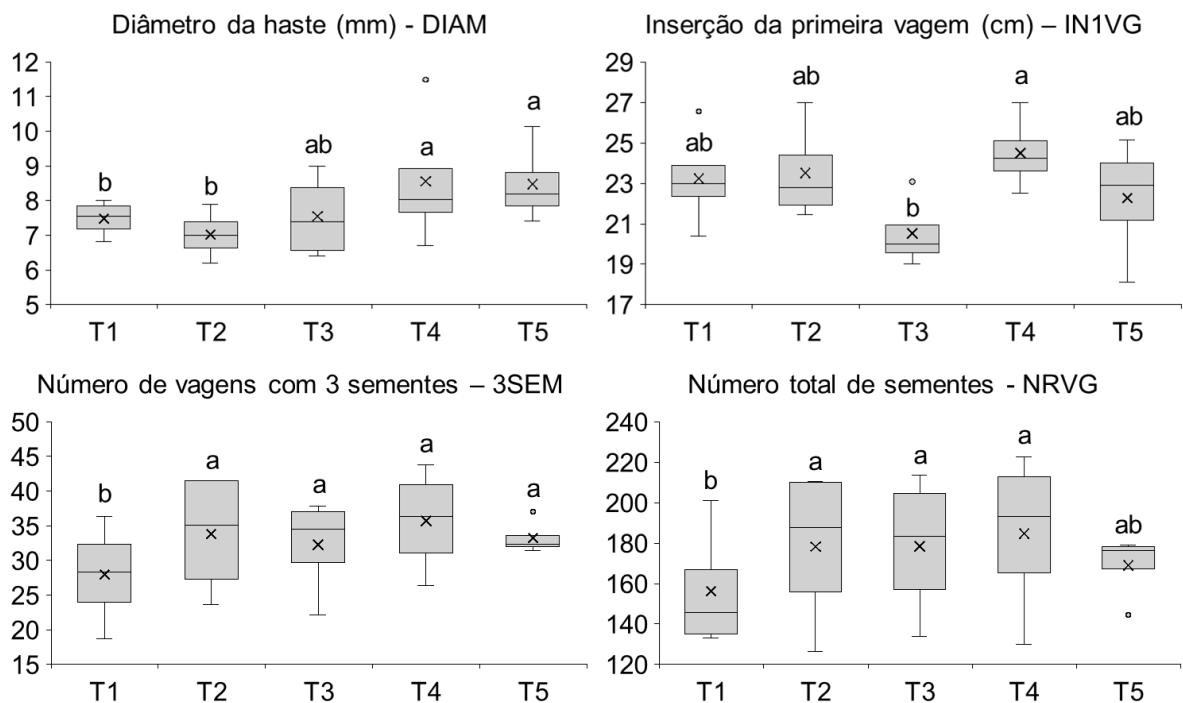


Figura 5 Gráficos boxplot representando a distribuição dos valores das variáveis diâmetro da haste (DIAM), inserção da primeira vagem (IN1VG), número de vagens com 3 sementes (3SEM) e número total de sementes (NRSEM) em função dos tratamentos aplicados no experimento. Capão do Leão-RS, 2023.

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo Teste LSD ($\leq 5\%$).

O número de vagens com 4 sementes (4SEM) foi baixo em todos os tratamentos e teve alto coeficiente de variação (CV%). Isso pode indicar que a formação de vagens com 4 sementes é mais rara ou dependente de outros fatores não controlados pelos tratamentos.

Ao estudarem a relação entre o uso de bioestimulantes e o número de vagens formadas, outros autores observaram que houve um aumento significativo no número de vagens com 2 e 3 sementes quando utilizados bioreguladores hormonais e nutrientes de rápida absorção (COELHO et al., 2011). Esses resultados corroboram os dados do T4 (Megafol®) e suas combinações (T3 e T5), que apresentou o maior número de vagens com 3 sementes, sugerindo um maior potencial produtivo.

Em relação à análise utilizando-se o modelo ajustado Quasi-Poisson, diferentemente do ANO 1, no experimento do ANO 2 não foi possível encontrar significância para as variáveis de contagem (Tabela 5), com exceção para o número de ramificações (NRAM), em relação aos tratamentos (T2, T3, T4 e T5) comparados à testemunha (T1), para a razão da taxa de incidência (IRR).

Embora a variável NRAM não tenha mostrado diferença significativa para os tratamentos na ANOVA, com o modelo Quase-Poisson foi possível encontrar que a taxa do número de ramificações do T4 aumenta em, aproximadamente, 49% em relação ao T1 (Tabela 5). Esse resultado reforça os dados anteriores, mostrando que o uso de bioestimulantes é capaz de otimizar a estrutura das plantas, preparando-as para maiores produtividades.

Tabela 5 Resultados da razão da taxa de incidência (IRR) no ANO 2 para as variáveis quantitativas número de ramificações (NRAM), número de vagens com 1, 2 e 3 sementes (1SEM, 2SEM, 3SEM), número total de sementes (NRSEM) e número total de vagens (NRVG), obtidos pelo modelo Quasi-Poisson. Capão do Leão-RS, 2023.

Tratamentos	Razão da Taxa de Incidência (IRR)						
	NRAM	1SEM	2SEM	3SEM	NRSEM	NRVG	
T1	---	---	---	---	---	---	---
T2	1,335 ^{ns}	1,114 ^{ns}	1,050 ^{ns}	1,209 ^{ns}	1,140 ^{ns}	1,123 ^{ns}	
T3	1,277 ^{ns}	1,157 ^{ns}	1,118 ^{ns}	1,154 ^{ns}	1,141 ^{ns}	1,139 ^{ns}	
T4	1,490 *	0,923 ^{ns}	1,092 ^{ns}	1,277 ^{ns}	1,182 ^{ns}	1,146 ^{ns}	
T5	1,268 ^{ns}	1,089 ^{ns}	0,929 ^{ns}	1,189 ^{ns}	1,081 ^{ns}	1,057 ^{ns}	

* Significativo ao nível de significância $\alpha = 0,05$

^{ns} Não significativo

3.3.3 Análise da composição das sementes

A análise de variância (ANOVA) realizada sobre os dados de componentes das sementes identificou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos para o teor de proteína (PROT), lipídeos (LIPID), fibras (FIBR), cinzas (CINZ) e amido (AMID), com valores de $p < 0,05$, indicando que os tratamentos influenciaram significativamente essas características (Tabela 6).

Tabela 6 Resumo da análise de variância para as variáveis teor de proteína (PROT), umidade (UMID), lipídeos (LIPID), fibras (FIBR), cinzas (CINZ) e amido (AMID), no ANO 1 e ANO 2. Capão do Leão-RS, 2022 e 2023.

FV	GL	Quadrado da Média					
		PROT	UMID	LIPID	FIBR	CINZ	AMID
Tratamentos	4	1,74*	0,02 ^{ns}	1,60*	0,07*	0,23*	0,07*
Blocos	3	0,29	0,06	0,71	0,01	0,09	0,30
Resíduo	12	0,36	0,08	0,69	0,01	0,05	0,27
Total	19						
C.V. (%)		1,65	2,92	5,10	1,67	5,12	18,01

* Significativo ao nível de significância $\alpha = 0,05$

^{ns} Não significativo

Os resultados da composição das sementes indicam que os tratamentos aplicados influenciaram significativamente as variáveis teor de amido (AMID), proteína (PROT), lipídeos (LIPID), fibra (FIBR) e cinzas (CINZ). Ou seja, AMID apareceu em menor quantidade nos tratamentos com bioestimulantes (T3, T4 e T5), enquanto a proporção de PROT e LIPID apareceu em proporções invertidas no tratamento foliar com Megafol® (T4), com maior proporção para PROT e menor para LIPID (Figura 6).

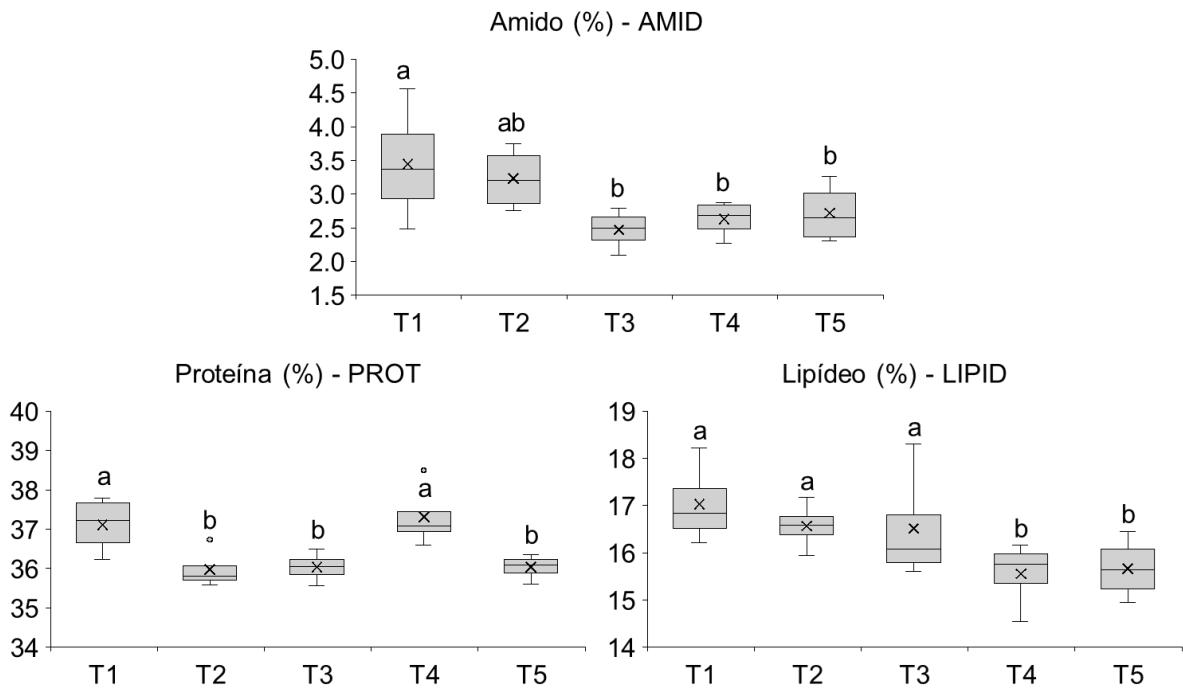


Figura 6 Gráficos boxplot representando a distribuição dos valores das variáveis teor de amido (AMID), proteína (PROT) e lipídeo (LIPID), em função dos tratamentos aplicados no experimento. Capão do Leão-RS, 2022.

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo Teste LSD ($\leq 5\%$).

Em relação aos teores de FIBR e CINZ, os tratamentos com bioestimulantes demonstraram superioridade em relação à testemunha T1 (Figura 7). Todos esses dados sugerem um impacto direto dos tratamentos no perfil nutricional da soja.

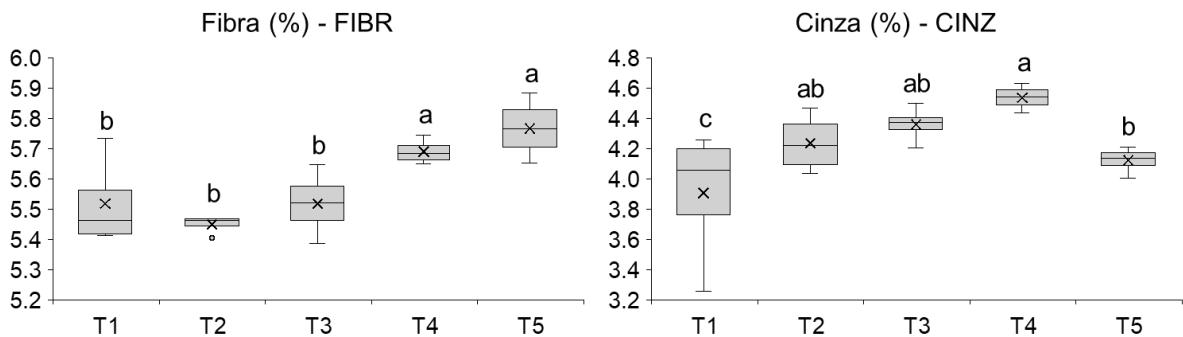


Figura 7 Gráficos boxplot representando a distribuição dos valores das variáveis fibra (FIBR) e cinza (CINZ), em função dos tratamentos aplicados no experimento. Capão do Leão-RS, 2022.

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo Teste LSD ($\leq 5\%$).

A concentração de proteína na soja é um dos parâmetros mais críticos para a qualidade nutricional do grão, especialmente para a indústria de alimentos e rações animais. O uso de bioestimulantes e tratamentos com micronutrientes pode alterar significativamente a composição de proteínas em plantas de soja, aumentando a concentração de aminoácidos essenciais (OLIVEIRA et al., 2022), o que foi confirmado em trabalho realizado por Krawczuk et al. (2023), que encontraram maior concentração de proteína depois da aplicação foliar de bioestimulantes. A influência significativa dos tratamentos sobre a proteína pode estar associada à capacidade dos bioestimulantes em alterar a absorção de nutrientes ou melhorar a fixação biológica de nitrogênio, um elemento essencial para a síntese proteica em leguminosas.

O conteúdo de fibras e cinzas na soja reflete a composição estrutural e mineral do grão, sendo parâmetros importantes tanto para a nutrição animal quanto humana. Trabalhos realizados por Oliveira et al. (2016) destacam que diferentes tratamentos de solo e aplicações foliares podem modificar a disponibilidade de micronutrientes, como cálcio, magnésio e potássio, que estão diretamente ligados à formação de fibras e ao conteúdo mineral. A variação significativa observada no presente estudo pode ser explicada pela modulação de processos fisiológicos de transporte de nutrientes, estimulados pelos tratamentos aplicados.

Esses resultados indicam que os tratamentos aplicados impactaram de maneira significativa em características relacionadas à composição química das plantas (AMID, PROT, LIPID, FIBR e CINZ), em linha com os achados de estudos que apontam para a influência dos bioestimulantes e fertilizantes no perfil nutricional da soja, pois podem aumentar a capacidade de absorção de nutrientes e impactar diretamente na composição final dos grãos (SILVA et al., 2019).

3.3.4 Análise comparativa do ANO 1 e ANO 2 pelo gráfico Biplot

Observa-se do gráfico Biplot (Figura 8) que as variáveis 1SEM, 2SEM, 3SEM, NRVG e NRSEM estão correlacionadas positivamente entre si no primeiro componente principal (ANO 1), que captura a maior parte da variabilidade dos dados (96,13%), e a variável NRSEM é a que tem a maior influência. No segundo

componente principal (ANO 2), que captura o restante da variabilidade (2,44%), é a variável ALTU que tem maior influência.

A respeito dos pontos do gráfico (Figura 8), que representam os o conjunto de dados do ANO 1 e ANO 2, observa-se que estão dispostos de forma aleatório nos quatro quadrantes, não sendo possível afirmar que existe um padrão de resposta entre os anos observados, pois podem representar observações que são muito diferentes em relação às variáveis analisadas. Ou seja, não há como afirmar que as variáveis sofrem influência dos componentes principais, ANO 1 e ANO 2.

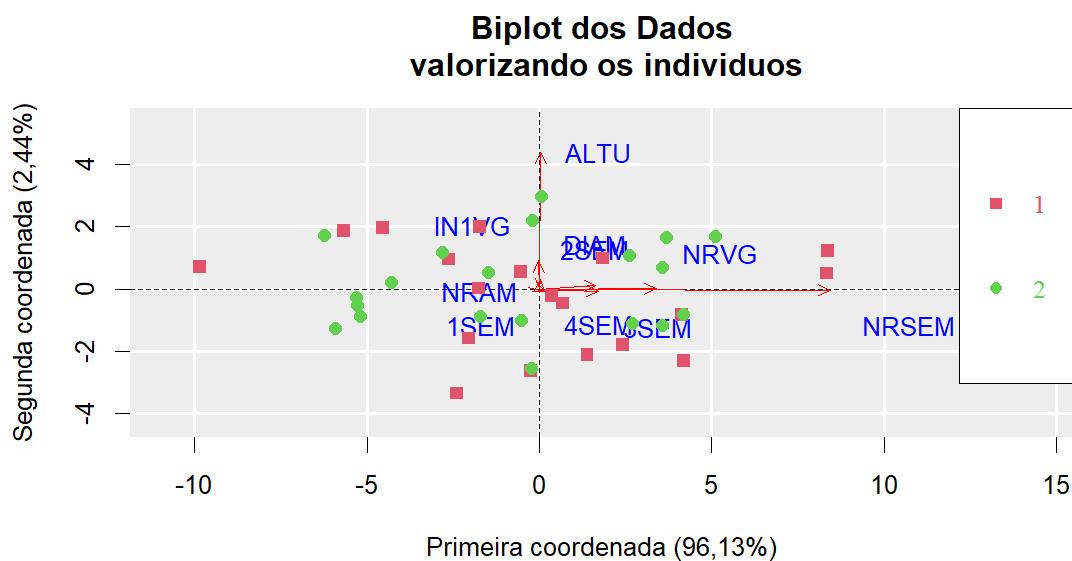


Figura 8 Gráfico Biplot para os experimentos conduzidos em duas safras diferentes (ANO 1 e ANO 2) considerando as variáveis diâmetro da haste principal (DIAM), inserção da primeira vagem (IN1VG), altura de plantas (ALTU), número de ramificações (NRAM), número de vagens com 1, 2, 3 e 4 sementes (1SEM, 2SEM, 3SEM, 4SEM), número total de vagens (NRVG) e número total de sementes (NRSEM). Capão do Leão-RS, 2022 e 2023.

3.4 Conclusões

3.4.1 ANO 1

A partir dos resultados obtidos do experimento conduzido no ANO 1 (safra 2021/22), é possível concluir que os tratamentos com bioestimulantes alteram significativamente os parâmetros estruturais da soja e de composição das sementes.

O uso de bioestimulantes a base de extratos de algas, aplicados em tratamento de sementes, via foliar ou na combinação de ambos, aumenta o diâmetro

da haste principal, o número total de sementes e o número total de vagens em plantas de soja.

Os bioestimulantes diminuem o número de vagens com 1 semente e aumentam o número de vagens com 3 sementes.

A utilização de bioestimulantes via tratamento de sementes e foliar, diminui a quantidade de vagens com apenas 1 semente, em relação às plantas que não receberam sua aplicação. Nas condições desse experimento, conduzido na safra 21/22, essa redução foi na ordem de 20%.

Bioestimulantes aumentam a quantidade de vagens com 2 sementes, as vagens com 3 sementes. Nas condições desse experimento, esse aumento foi respectivamente de 40% e 53%.

Bioestimulantes aumentam o número de ramificações, sementes e vagens das plantas de soja. Nas condições desse experimento, esse aumento foi de respectivamente 34%, 43% e 37%.

3.4.2 ANO 2

Os resultados do experimento conduzido no ANO 2 (safra 2022/23) permitem concluir que os tratamentos com bioestimulantes alteram significativamente os parâmetros de diâmetro da haste, altura da inserção da primeira vagem, número de vagens com 3 sementes e número total de vagens.

O uso de bioestimulantes à base de extratos de algas, aplicados via foliar, aumenta o diâmetro da haste principal, a altura da inserção da primeira vagem, o número total de vagens e o número de vagens com 3 sementes na soja.

O uso de bioestimulantes aplicados via tratamento de sementes diminui a altura da inserção da primeira vagem quando comparado à aplicação via foliar.

Bioestimulantes aumentam o número de ramificações nas plantas de soja. Nas condições desse experimento, conduzido na safra 22/23, esse aumento foi de 49%.

3.4.3 COMPOSIÇÃO DAS SEMENTES

Bioestimulantes alteram a composição das sementes de soja, aumentando a quantidade de proteínas, fibras e cinzas, e diminuindo a proporção de amido e lipídeos.

3.4.4 COMPARAÇÃO ENTRE O ANO 1 X ANO 2

Não é possível afirmar que as variáveis resposta sofram influência de um ano safra para outro em relação ao uso de bioestimulantes e, portanto, que o ano safra tenha interferência no efeito dos bioestimulantes.

4 . CAPITULO II

Impacto do uso de bioestimulantes no desenvolvimento da soja em duas regiões produtoras distintas do Paraná e São Paulo

4.1 Introdução

A soja (*Glycine max*) é uma das culturas agrícolas mais importantes do mundo, sendo uma das principais fontes de proteína vegetal e óleo, com relevância econômica tanto para mercados internos quanto externos. O Brasil se destaca como um dos maiores produtores e exportadores globais de soja, o que torna a otimização de sua produtividade um fator essencial para a competitividade agrícola do país.

No entanto, o aumento da demanda por alimentos e a necessidade de práticas agrícolas mais sustentáveis colocam em evidência a busca por tecnologias que promovam o crescimento e a produtividade das culturas de forma eficiente (DA SILVA PORTAL et al., 2023).

Entre as diversas estratégias utilizadas para otimizar a produção da soja, o uso de bioestimulantes tem auferido destaque. Os bioestimulantes são substâncias ou micro-organismos aplicados nas plantas ou no solo que melhoram a eficiência nutricional, a tolerância ao estresse abiótico e a qualidade das colheitas, promovendo o desenvolvimento vegetal de maneira integrada e sustentável (ZUCATTI et al., 2020).

Eles podem ser aplicados de diferentes formas, sendo o tratamento de sementes e a aplicação foliar duas das abordagens mais comuns. Essas práticas são reconhecidas por estimular o desenvolvimento inicial da planta, melhorar a eficiência fotossintética e aumentar a capacidade de resistência a estresses ambientais, como seca e salinidade, resultando em maior produtividade (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Produtos à base de extrato de algas podem ser utilizados como bioestimulante em plantas cultivadas, sendo que múltiplos benefícios, sendo amplamente relatados, como aumento do enraizamento e da produtividade, tolerância a estresses abióticos como geadas, seca e salinidade, atividade fotossintética aprimorada e resistência a doenças causadas por microrganismos. Portanto, podem ser utilizados sozinhos ou

em conjunto com produtos sintéticos para manutenção dos níveis de produção agrícola no futuro (SHARMA et al., 2014). Em trabalho realizado com o bioestimulante Megafol®, composto de macroalgas da espécie *Ascophyllum nodosum*, os resultados demonstraram a sua eficiência em reduzir os danos relacionados ao estresse hídrico em plantas de tomateiro (PETROZZA et al., 2014). Castillo Sánchez (2022) destaca que a aplicação de aminoácidos livres em plantas cultivadas acelera a resposta de tolerância a estresses abióticos dos cultivos, reduzindo as perdas de rendimento causadas por esses eventos. Além disso, a aplicação de aminoácidos produz respostas rapidamente visíveis, observando-se plantas mais vigorosas. O mesmo autor relata que os principais aminoácidos utilizados na agricultura são o L-glutâmico, a L-glicina, o ácido L-aspártico, a L-alanina e a L-arginina.

Apesar dos benefícios promissores, os efeitos dos bioestimulantes podem variar de acordo com as condições ambientais e edafoclimáticas de cada região, o que torna necessário avaliar sua eficácia em diferentes localidades (MACHADO, 2009). Estudos comparativos entre locais de cultivo podem fornecer informações valiosas sobre a interação entre esses produtos e as variáveis climáticas, como temperatura, precipitação e solo, permitindo um melhor entendimento de suas potencialidades e limitações.

A inclusão das localidades de Londrina-PR e Piracicaba-SP neste estudo permite uma análise mais ampla dos efeitos dos bioestimulantes em condições climáticas e edafológicas distintas, proporcionando dados que podem auxiliar na formulação de estratégias agronômicas mais eficazes para o aumento da produtividade da soja em diferentes regiões do Brasil. Além de que, essas duas regiões apresentam condições climáticas e edafológicas distintas, as quais permitem uma análise comparativa em relação ao uso de bioestimulantes no tratamento de sementes e na aplicação foliar desses ambientes. Vindo então, a oferecer uma visão abrangente da resposta agronômica da soja em condições variáveis de temperatura, precipitação e características de solo.

Diante deste contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar o efeito do uso de bioestimulantes no tratamento de sementes e na aplicação foliar sobre a produtividade da soja em duas regiões agrícolas de destaque no Brasil. A pesquisa visa determinar como esses fatores influenciam o desempenho agronômico da soja em distintos ambientes, contribuindo para o desenvolvimento de recomendações

técnicas baseadas em evidências que possam vir a incrementar a produção da cultura da soja.

4.2 Material e Métodos

4.2.1 Caracterização dos experimentos de campo: LONDRINA-PR e PIRACICABA-SP

Foram conduzidos dois experimentos de campo na safra 2023/24 em duas regiões edafoclimáticas distintas, Londrina-PR e Piracicaba-SP, cujas características encontram-se descritas abaixo.

O município de Londrina está situado no norte do Paraná, possui clima subtropical úmido (Cfa segundo a classificação de Köppen), com verões quentes e chuvosos e invernos moderadamente frios. A temperatura média anual varia entre 18°C e 22°C, e a precipitação média anual é de aproximadamente 1.600 mm, com a maior parte concentrada entre os meses de outubro e março, que coincidem com o ciclo da soja. Os solos da região são predominantemente do tipo Latossolo Vermelho-Escuro, distróficos e de textura argilosa, elevada acidez e presença de óxidos de ferro e alumínio, e com argilas de baixa atividade química. Possui como característica um horizonte A com alto teor de argila e matéria orgânica, e um horizonte B profundo e poroso.

O experimento de Londrina-PR foi conduzido a campo, na Estação Experimental Fornarolli Ciência Agrícola, no Distrito de Espírito Santo, coordenadas 23° 22' 51" S e 51°14' 21" W, altitude de 619 m, tendo a semeadura sido realizada em sistema de plantio direto no dia 30/11/2023, a emergência ocorrida em 07/12/2023 e a colheita em 06/04/2024. O solo do local tinha composição granulométrica de 23% de areia, 13% de silte e 64% de argila.

Já, Piracicaba, está localizada no interior do estado de São Paulo, apresenta clima tropical com estação seca (Aw segundo a classificação de Köppen), caracterizado por verões quentes e úmidos, com chuvas concentradas entre novembro e fevereiro, e invernos secos e mais amenos. A temperatura média anual na região é de cerca de 22°C, com precipitação média anual em torno de 1.300 mm. O solo predominante na região é o Latossolo Vermelho-Amarelo, com variações de textura entre arenosa e argilosa, o que pode impactar o manejo e a resposta das culturas às práticas agronômicas, como a aplicação de bioestimulantes.

O experimento de Piracicaba-SP foi conduzido entre os dias 03/11/2023 (semeadura) e 06/03/2024 (colheita), em condições de campo, na Estação Experimental Campo Verde, localizada no bairro Congonhal, coordenadas 22° 41' 56" S e 47° 48' 31" W, altitude de 483 m. A semeadura foi realizada em sistema de plantio direto e a emergência da cultura ocorreu em 10/11/2023. O solo onde foi realizado era composto por 45% de areia, 26% de silte e 29% de argila.

Nas duas regiões foram utilizadas sementes de soja da cultivar BMX 64I61RSF IPRO, grupo de maturidade 6.4, com população de 260.000 plantas/ha, ou seja, densidade de 13 sementes por metro e 50 cm de espaçamento entre linhas.

A lista de tratamentos (Tabela 7) foi idêntica para ambos os experimentos, contendo produtos de proteção de cultivos e bioestimulantes aplicados via tratamento de sementes e via foliar. O inseticida Cruiser® (Tiametoxam 35%) e o fungicida Maxim XL® (Fludioxonil 2,5% + Metalaxil-M 1,0%) foram utilizados como base comum no tratamento de sementes (TS). O bioestimulante Radifarm® (Extrato de alga – *Ascophyllum nodosum*) também foi utilizado em TS.

Para os tratamentos foliares, realizados quando a soja estava em V4, foram utilizados os bioestimulantes Megafol® (Extrato de alga – *Ascophyllum nodosum* + Betaína + Vitaminas + K₂O 8% + C 9% + N 3%) e Quantis® (Aminoácidos – asparagina, glutamina, alanina, treonina, valina e serina + Extrato de levedura – *Saccharomyces cerevisiae* + K₂O 9% + C 15% + N 1%).

Para os dois experimentos, o TS foi realizado em equipamento mecanizado Momesso modelo Arktos Africa. Já para as aplicações foliares, realizadas em ambos os casos no estádio V4 da soja, foram realizadas com pulverizadores manuais, pressurizado por CO₂, equipados com barra de 3 m de largura contendo 6 pontas do tipo jato leque plano 110.015 ADI (Londrina-PR) e 110.02 VS (Piracicaba-SP). Em ambos, a pressão e a velocidade de aplicação foram ajustadas para aplicar um volume de calda de 200 L ha⁻¹.

Tabela 7 Tratamentos utilizados nos experimentos de campo da safra 2023/24 realizados em duas localidades. Londrina-PR e Piracicaba-SP, 2024.

	Tratamento	Composição	Dose (L.100 kg ⁻¹ * e L.ha ⁻¹ **)	Aplicação
T1	Testemunha	X	X	X
T2	Cruiser®	Tiametoxam	0,30	TS
	Maxim® XL	Fludioxonil + Metalaxil-M	0,10	TS
	Cruiser®	Tiametoxam	0,30	TS
T3	Maxim® XL	Fludioxonil + Metalaxil-M	0,10	TS
	Radifarm®	Extrato de alga (<i>Ascophyllum nodosum</i>)	0,15	TS
	Cruiser®	Tiametoxam	0,30	TS
T4	Maxim® XL	Fludioxonil + Metalaxil-M	0,10	TS
	Megafol®	Extrato de alga (<i>Ascophyllum nodosum</i>); Betaína; Vitaminas; K ₂ O 8%; C 9%; N 3%	1,00	V4
	Cruiser®	Tiametoxam	0,30	TS
	Maxim® XL	Fludioxonil + Metalaxil-M	0,10	TS
T5	Radifarm®	Extrato de alga (<i>Ascophyllum nodosum</i>)	0,15	TS
	Megafol®	Extrato de alga (<i>Ascophyllum nodosum</i>); Betaína; Vitaminas; K ₂ O 8%; C 9%; N 3%	1,00	V4
	Cruiser®	Tiametoxam	0,30	TS
	Maxim® XL	Fludioxonil + Metalaxil-M	0,10	TS
T6	Quantis®	Aminoácidos (asparagina, glutamina, alanina, treonina, valina e serina); Extrato de levedura (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>); K ₂ O 9%; C 15%; N 1%	2,00	V4
	Cruiser®	Tiametoxam	0,30	TS
	Maxim® XL	Fludioxonil + Metalaxil-M	0,10	TS
	Radifarm®	Extrato de alga (<i>Ascophyllum nodosum</i>)	0,15	TS
T7	Quantis®	Aminoácidos (asparagina, glutamina, alanina, treonina, valina e serina); Extrato de levedura (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>); K ₂ O 9%; C 15%; N 1%	2,00	V4

*Dose para 100 kg de sementes no tratamento de sementes

**Dose em litros por hectare para aplicação foliar

X = sem aplicação

TS = tratamento de sementes

V4 = estádio da cultura da soja na aplicação foliar

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados com 7 tratamentos e 4 repetições, sendo que as unidades experimentais foram compostas por parcelas de 15 m² (5 m de comprimento X 3 m de largura) em Londrina-PR e 21 m² (7 m de comprimento X 3 m de largura) em Piracicaba-SP. Cada parcela tinha 6 linhas de semeadura com espaçamento de 50 cm entre linhas.

As condições climáticas durante o período de condução dos experimentos estão descritas nas Figura 9 e 10.

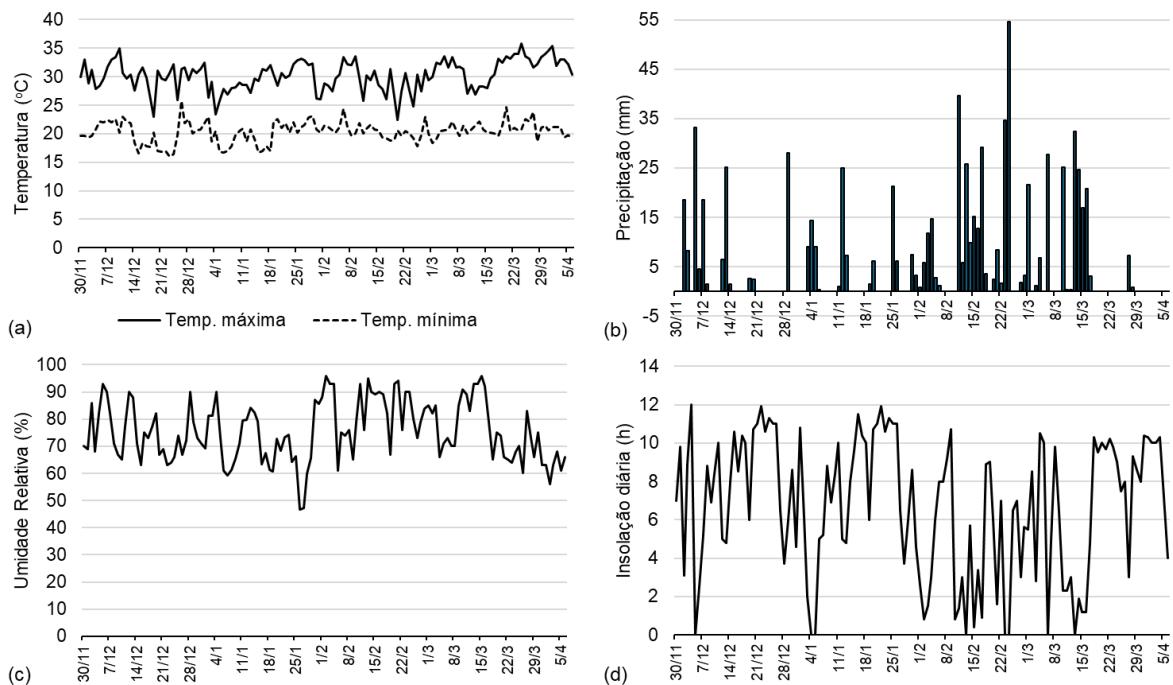


Figura 9 Dados meteorológicos durante a condução do experimento de Londrina-PR (30/11/23 a 06/04/24). Sendo: (a) temperaturas máximas e mínimas (°C), (b) precipitação (mm), (c) umidade relativa do ar (%) e (d) insolação diária (h). Fonte: Banco de Dados Meteorológicos – Estação de Londrina (INMET).

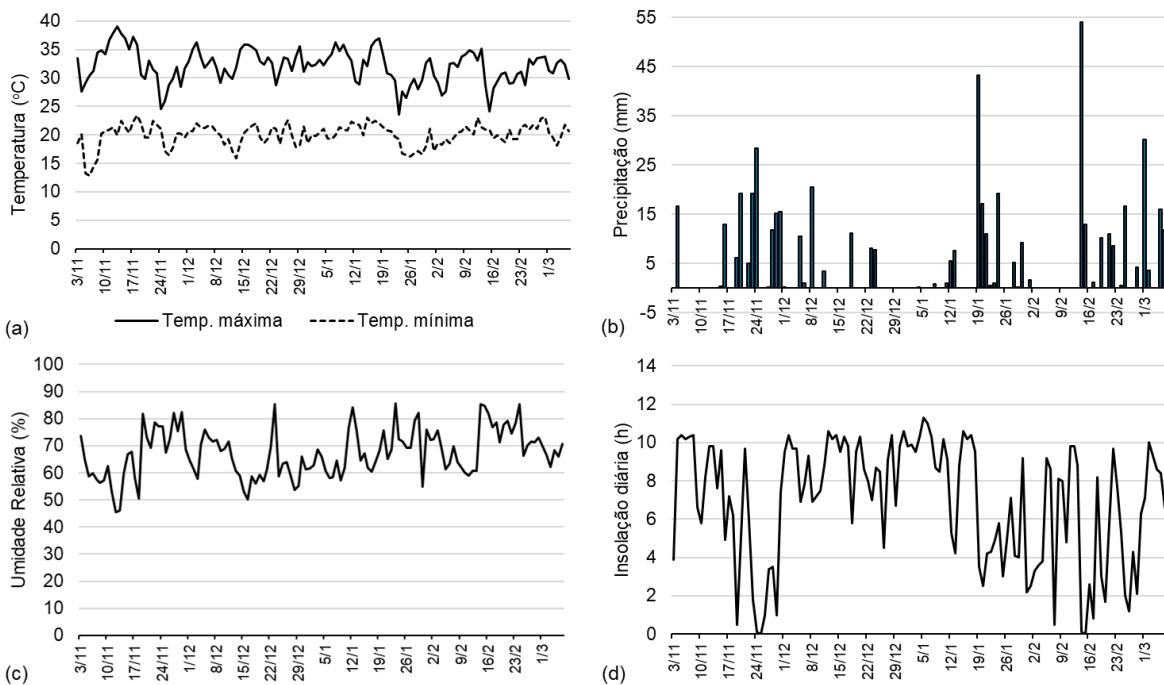


Figura 10 Dados meteorológicos durante a condução do experimento de Piracicaba-SP (03/11/23 a 06/03/24). Sendo: (a) temperaturas máximas e mínimas ($^{\circ}\text{C}$), (b) precipitação (mm), (c) umidade relativa do ar (%) e (d) insolação diária (h). Fonte: Banco de Dados Meteorológicos – Estação de Piracicaba (INMET).

4.2.2 Variáveis resposta avaliadas no experimento de LONDRINA-PR:

- Aos 7 DAE (dias após a emergência) foi realizada uma avaliação de contagem de estande (STAND) em 4 metros lineares por parcela, quando a soja estava no estádio V1 e os dados foram transformados para número de plantas por metro linear;
- Aos 30 e 45 DAE avaliou-se a porcentagem de fechamento da entrelinha (FCH30 e FCH45), analisando-se as duas linhas centrais de cada parcela através do software Canopeo®, que é uma ferramenta de medida rápida e prática da cobertura do dossel verde, usando valores de coloração pelo sistema RGB (vermelho-verde-azul) e classificando todos os pixels da imagem (PATRIGNANI; OCHSNER, 2015). A primeira avaliação (FCH30) ocorreu no estádio V5 e a segunda (FCH45) no estádio V7;
- Aos 120 DAE foram realizadas avaliações de número de vagens com 1 semente (1SEM), 2 sementes (2SEM), 3 sementes (3SEM) e 4 sementes (4SEM) através da média de 25 plantas, amostradas aleatoriamente, por parcela. Dessa contagem também foram determinados

o número total de sementes por planta (NRSEM), o número total de vagens por planta (NRVG) e o número médio de sementes por vagem (SEMVG);

d. Na mesma data (120 DAE), foi determinado o peso de mil sementes (PMS), utilizando-se uma balança analítica, por meio de quatro subamostras de 100 sementes por parcela;

e. Ainda aos 120 DAE, foi realizada a avaliação de rendimento de colheita (YIELD), através da coleta manual de uma área amostral de 3 m² (3 m lineares X 2 linhas X 50 cm de espaçamento) por parcela. Utilizou-se uma trilhadeira mecânica estacionária para debulha das vagens e a massa de sementes colhida foi pesada em balança eletrônica. A umidade das sementes foi determinada com um medidor portátil por indução elétrica (Farmex MT-Pro) e o volume de cada amostra foi corrigido para 13% de umidade, para então ser transformada em kg ha⁻¹.

4.2.3 Variáveis resposta avaliadas no experimento de PIRACICABA-SP:

a. Aos 7 DAE (dias após a emergência) foi realizada uma avaliação de contagem de número de plantas por metro (STAND) nas duas linhas centrais de cada parcela, totalizando 14 metros lineares por parcela. A cultura encontrava-se no estádio V1 e os dados foram transformados para número de plantas por metro linear;

b. Aos 30 e 45 DAE avaliou-se a porcentagem de fechamento da entrelinha (FCH30 e FCH45), analisando-se as duas linhas centrais de cada parcela e conferindo a nota de fechamento com o software Canopeo®. No momento das avaliações a cultura encontrava-se nos estádios V6 e V8, respectivamente;

c. Aos 45 DAE foi avaliado o parâmetro índice SPAD (*Soil Plant Analysis Development*), através da média de 25 folhas completamente expandidas do terço superior da planta, amostradas aleatoriamente por parcela. O índice SPAD é considerado uma medida indireta e não destrutiva do teor de clorofila na folha, que permite leituras à campo de forma prática, instantânea e de baixo custo (JESUS & MARENCO, 2008; VEIGA et al., 2009). Foi utilizado um medidor portátil de clorofila marca Minolta, modelo SPAD-502 PLUS;

d. Aos 117 DAE foi realizada a coleta de 25 plantas inteiras (parte aérea e raiz) aleatoriamente em cada parcela, quando a cultura encontrava-se no estádio R8, e mensurados os seguintes parâmetros:

- Altura das plantas (ALTU), em centímetros (cm). As medidas foram realizadas com auxílio de uma trena, disposta entre o colo da planta até a inserção do último trifólio desenvolvido;
- Inserção da primeira vagem (IN1VG), em centímetros (cm), medida com o auxílio de uma trena a partir do colo da planta até a extremidade inferior da primeira vagem;
- Diâmetro da haste principal (DIAM), em milímetros (mm). Utilizou-se um paquímetro digital, tomando-se as medidas logo abaixo do primeiro nó do caule;
- Número de ramificações (NRAM);
- Número de vagens com 1 semente (1SEM), 2 sementes (2SEM), 3 sementes (3SEM) e 4 sementes (4SEM);
- Número total de vagens (NRVG) por planta;
- Peso de mil sementes (PMS), utilizando-se uma balança analítica, por meio de quatro subamostras de 100 sementes por parcela;
- Massa seca parte da aérea (MSPA) e massa seca de raízes (MSR), em gramas (g). A parte aérea foi separada das raízes na altura do colo com uma tesoura e o material levado para secagem em estufa à 65°C por 72 horas e posteriormente pesado para determinação da biomassa seca com uso de uma balança digital.

e. Rendimento de colheita (YIELD) aos 117 DAE, em kg ha⁻¹, corrigidos para 13% de umidade. Foi utilizada uma colhedora mecanizada de parcelas (Wintersteiger Core) numa área amostral de 14 m² (7 m lineares X 4 linhas centrais X 50 cm de espaçamento) por parcela.

4.2.4 Procedimentos estatísticos: LONDRINA-PR e PIRACICABA-SP

Para verificar o efeito dos tratamentos para cada variável resposta utilizou-se o teste da Análise de Variância (ANOVA), em um delineamento de blocos casualizados (DBC), considerando-se um nível de significância de 5%. Foi considerado a probabilidade maior de cometer o erro tipo I, pela característica da pesquisa que pressupõe pequenas diferenças entre os

tratamentos e, havendo significância, validada pelos diagnósticos residuais, utilizou-se o teste de comparação múltipla LSD (*least significant difference test* ou teste de Fischer) para discriminar as diferenças entre as médias dos tratamentos.

Foi ajustado também o modelo Quasi-Poisson para inferir às variáveis de contagem a razão da taxa de incidência (IRR). Esse modelo é uma variação do modelo de Poisson para dados que apresentam sobredispersão e, validado o modelo pelos diagnósticos residuais, calculou-se as taxas de incidência relativa (IRR), utilizando como referência o tratamento sem utilização de bioestimulantes (T1 – testemunha).

Por fim, foi feito um gráfico Biplot dos dois componentes principais, onde tanto as observações quanto as variáveis foram representadas nos dois locais dos experimentos (LONDRINA e PIRACICABA), para identificar possíveis padrões de dados, como agrupamentos, outliers e a relação entre as variáveis. Esse tipo de gráfico é uma ferramenta que combina duas representações principais de dados: uma de uma análise de componentes principais (PCA, *Principal Component Analysis*) e outra das variáveis envolvidas nesse processo.

4.3 Resultados e discussão

4.3.1 LONDRINA-PR

A análise de variância (ANOVA) do experimento de campo de Londrina-PR (Tabela 8) não mostrou diferença significativa entre os tratamentos para as variáveis STAND (número de plantas por metro) e 4SEM (número de vagens com 4 sementes). Estes resultados concordam com os encontrados por Bontempo et al. (2016) e Kovalski (2020), que também não identificaram diferenças significativas para o uso de bioestimulantes em relação ao estande de plantas e vagens com 4 sementes, respectivamente.

Por outro lado, a mesma ANOVA (Tabela 8) mostrou que os tratamentos tiveram efeitos significativos para as variáveis de fechamento de entrelinhas aos 30 e 45 (FCH30 e FCH45) dias após a emergência (DAE) da cultura, número total de sementes e de vagens por planta (NRSEM e NRVG), número médio de sementes por vagem (SEMVG), número de vagens com 1, 2 e 3 sementes (1SEM, 2SEM e 3SEM), peso de mil sementes (PMS) e rendimento de colheita (YIELD).

Tabela 8 Resumo da análise de variância para as variáveis contagem de número de plantas por metro (STAND), porcentagem de fechamento de entre linhas aos 30 DAE (FCH30) e 45 DAE (FCH45), número total de sementes por planta (NRSEM), número total de vagens por planta (NRVG), número médio de sementes por vagem (SEMVG), número de vagens com 1, 2, 3 e 4 sementes (1SEM, 2SEM, 3SEM, 4SEM), peso de mil sementes (PMS) e rendimento de colheita (YIELD). Londrina-PR, 2024.

Quadrado da Média							
FV	GL	STAND	FCH30	FCH45	NRSEM	NRVG	SEMVG
Tratamentos	6	2,22 ^{ns}	57,68*	142,53*	5869,95*	724,86*	0,04*
Blocos	3	0,28	24,88	6,94	449,25	116,77	0,01
Resíduo	18	3,47	26,46	21,04	457,74	67,10	0,00
Total	27						
C.V. (%)		16,62	9,10	5,43	11,86	11,25	2,85
FV	GL	1SEM	2SEM	3SEM	4SEM	PMS	YIELD
Tratamentos	6	7,54*	98,09*	456,15*	0,24 ^{ns}	262,3*	702788,0*
Blocos	3	1,28	88,84	4,26	0,00	118,8	196885,6
Resíduo	18	0,89	25,58	40,75	0,17	54,24	218125,5
Total	27						
C.V. (%)		15,06	19,56	15,78	149,49	4,64	10,85

* Significativo ao nível de significância $\alpha = 0,05$

^{ns} Não significativo

Observando-se os gráficos da Figura 11, é possível tirar duas conclusões bastante consistentes para as variáveis FCH30, FCH45, NRSEM e NRVG. Todos os tratamentos com bioestimulantes, aplicados via tratamento de sementes (TS), foliar ou em combinação de ambos, tiveram performance significativamente superior em relação à testemunha (T1). E, para essas variáveis, destacou-se sempre o tratamento T5, contendo a combinação de TS e aplicação foliar de bioestimulantes à base de extrato de algas (Radifarm® + Megafol®).

Analizando-se agora individualmente as variáveis, observa-se que em FCH30 (Figura 11), embora todos os tratamentos com bioestimulantes sejam estatisticamente semelhantes, toda vez que havia o produto Radifarm®, aplicado em TS estava presente (T3, T5 e T7), o resultado foi sempre ligeiramente superior para o fechamento de entrelinhas da soja. Isso indica que o efeito do TS ainda estava presente aos 30 DAE, enquanto a aplicação foliar ainda não se fazia sentir, pela proximidade das datas entre a aplicação e a avaliação. Portanto, o uso de bioestimulantes em TS contribuiu para um fechamento mais rápido das entrelinhas

da soja aos 30 DAE, assim como foi observado por Silva et al. (2024) ao analisar o desempenho agronômico da soja em resposta ao TS com bioestimulantes.

Por outro lado, na variável FCH45 (Figura 11) o destaque aparece para os tratamentos que receberam o produto Megafol® via foliar (T4 e T5), que foram sempre significativamente superior em relação ao fechamento do dossel aos 45 DAE, corroborando o que já havia sido relatado por Petrozza et al. (2014), que estudou a fenômica e a genômica de plantas de tomateiro tratadas com Megafol®, e identificou uma clara resposta positiva na produção de biomassa em função da cascata de ativação de genes responsivos a estresse abióticos, o que também ocorreu durante a condução a campo do experimento de Londrina-PR, em que as temperaturas estiveram diariamente acima dos 30°C, ultrapassando frequentemente ultrapassando os 35°C (Figura 9).

Como dito, para NRSEM e NRVG todos os tratamentos com bioestimulantes também foram superiores à testemunha, porém a maior consistência sempre foi observada para o T5 (Radiarm® + Megafol®), com 230 sementes e 89 vagens por planta, enquanto no T1 havia somente 107 sementes e 46 vagens. O tratamento T7 (Radifarm® + Quantis®) destaca-se logo após, com 205 sementes e 82 vagens. Os demais tratamentos apresentaram entre 170 e 190 sementes, e entre 70 e 78 vagens por planta, como pode ser observado nos gráficos da Figura 11.

Bioestimulantes à base de extrato de algas foram testados em dois anos de estudo na Polônia e o achado foi similar ao deste trabalho realizado em Londrina-PR, com maior produção de vagens e sementes por planta, impactando positivamente na produtividade da soja (KRAWCZUK et al., 2023).

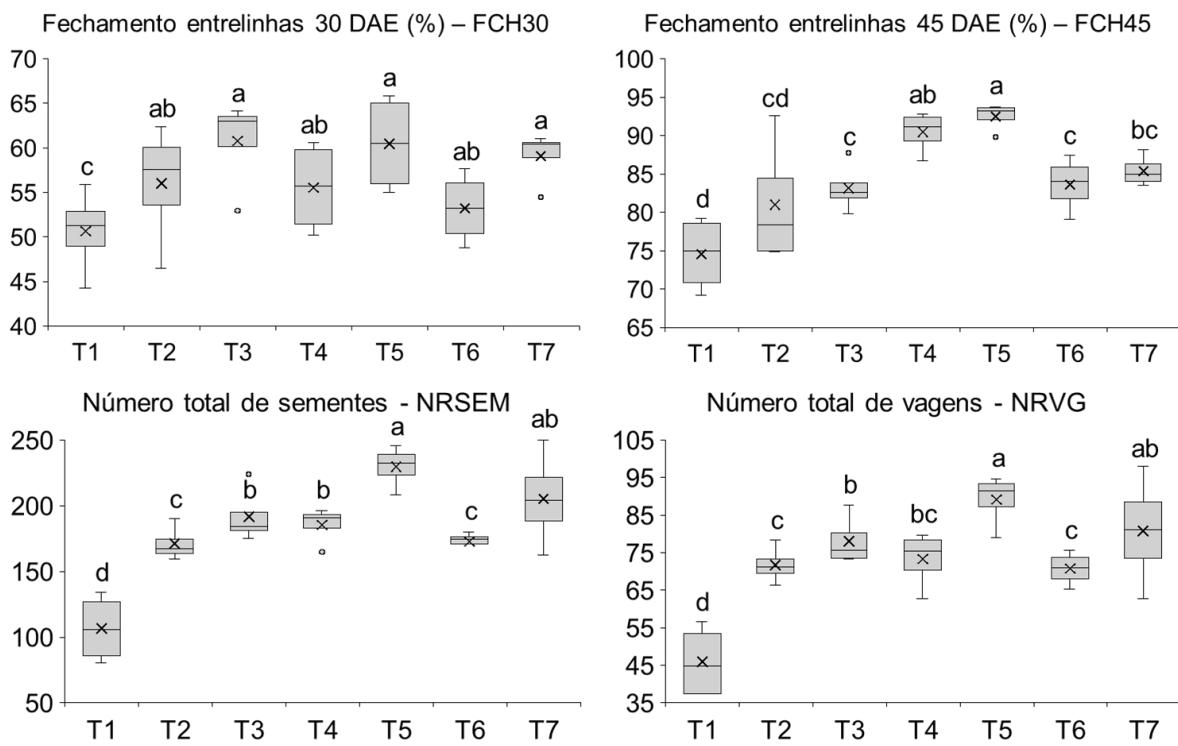


Figura 11 Gráficos boxplot representando a distribuição dos valores das variáveis fechamento de entrelinhas aos 30 DAE (FCH30) e 45 DAE (FCH45), número total de sementes (NRSEM) e número total de vagens (NRVG), em função dos tratamentos aplicados no experimento. Londrina-PR, 2024.

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo Teste LSD ($\leq 5\%$).

Em relação ao número médio de sementes por vagem (SEMG) (Figura 12), todos os tratamentos contendo bioestimulantes aumentaram o SEMVG em relação à testemunha (T1), sendo que o T5 (Radifarm® + Megafol®) obteve a maior média (2,58), embora os tratamentos T4 (Megafol®) e T7 (Radifarm® + Quantis®) tenham sido estatisticamente similares, ambos com média de 2,54 sementes por vagem. Os tratamentos contendo apenas TS (T3 = Radifarm®) ou o produto foliar à base de aminoácidos (T6 = Quantis®) vem logo em seguida (2,44 cada) e, por fim, os tratamentos contendo apenas fungicida e inseticida em TS (T2 = Cruiser® + Maxim XL®), sem bioestimulantes, e a testemunha sem tratamento algum (T1) obtiveram os piores resultados, respectivamente com médias de 2,38 e 2,31 sementes por vagem.

Esse resultado reflete aquilo que foi encontrado nas proporções de vagens com 1, 2 e 3 sementes (1SEM, 2SEM e 3SEM). Os tratamentos contendo bioestimulantes tiveram um maior número de vagens com 3 sementes e menor de vagens com apenas 1 semente, o que obviamente ficou refletido no número médio (Figura 12).

Interessantemente, o T5 foi destaque positivo para 3SEM e negativo para 1SEM, entre todos os tratamentos com produtos bioativadores, mas para as vagens contendo o número intermediário 2 sementes (2SEM), todos os tratamentos foram similares entre si e superiores à testemunha. Portanto, resta claro que os bioestimulantes aumentam o número de sementes por vagem (Figura 12).

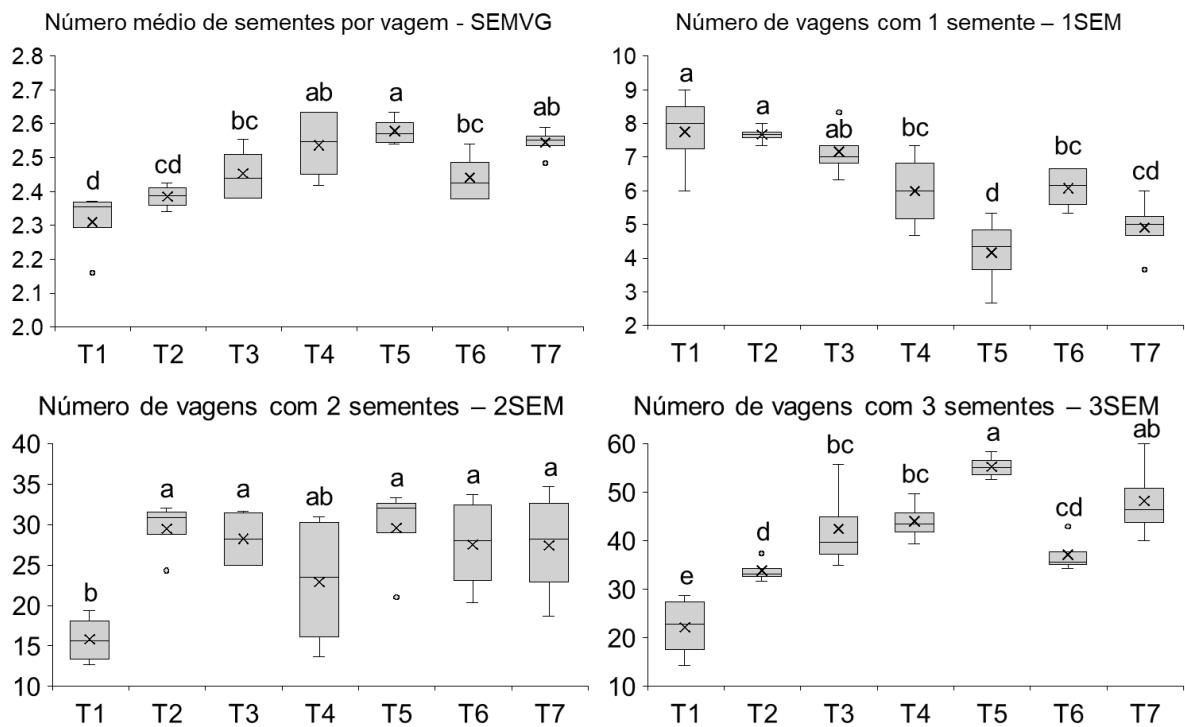


Figura 12 Gráficos boxplot representando a distribuição dos valores das variáveis número médio de sementes por vagem (SEMGV), número de vagens com 1 semente (1SEM), número de vagens com 2 sementes (2SEM) e número de vagens com 3 sementes (3SEM), em função dos tratamentos aplicados no experimento.

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo Teste LSD ($\leq 5\%$).

Seria de se esperar, no entanto, que o maior número de vagens e sementes se refletisse em um menor PMS (peso de mil sementes), como relatado em estudo de Kocira et al. (2018), que conclui ter isso acontecido possivelmente em função da divisão dos assimilados pelo maior número de drenos. No entanto, o que se observou no presente estudo foi que os tratamentos contendo Radifarm® + Megafol® (T5) e Radifarm® + Quantis® (T7), além de resultarem em maior número de vagens e número de sementes (Figura 12), também foram capazes de promover um maior PMS (Figura 13).

Em relação ao rendimento de colheita (YIELD), novamente todos os tratamentos com bioestimulantes tiveram performance significativamente superior à testemunha, em relação à produção de sementes por hectare (Figura 13), refletindo o que foi observado nas avaliações do desenvolvimento e morfologia das plantas de soja (FCH30 e FCH45), bem como nos fatores de produção isoladamente (NRSEM, NRVG e PMS). Destaque novamente para o T5, que obteve a maior produtividade (4717 kg ha^{-1}), quase 38% a mais que a produção obtida na testemunha sem tratamento ($T1 = 3426 \text{ kg ha}^{-1}$).

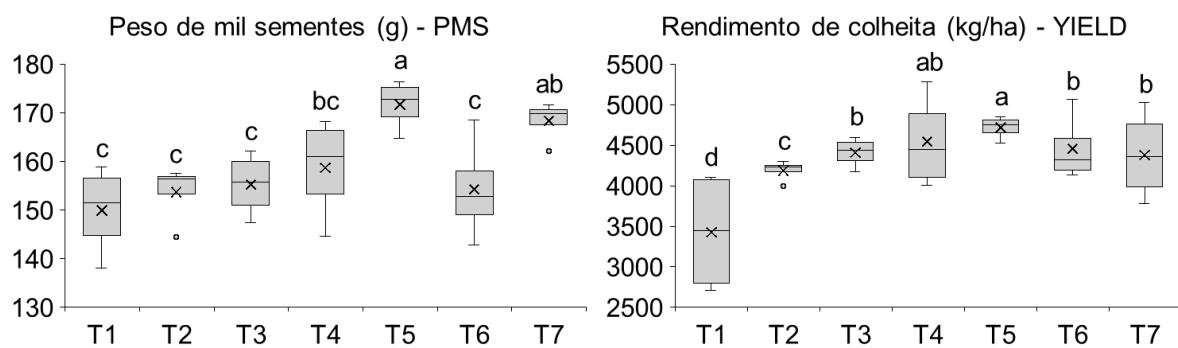


Figura 13 Gráficos boxplot representando a distribuição dos valores das variáveis peso de mil sementes (PMS) e rendimento de colheita (YIELD), em função dos tratamentos aplicados no experimento. Londrina-PR, 2024.

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo Teste LSD ($\leq 5\%$).

Na análise com o modelo Quasi-Poisson (Tabela 9) para inferir a razão da taxa de incidência (IRR) das variáveis quantitativas, observou-se pelo modelo ajustado que o pressuposto de normalidade dos resíduos foi satisfeito, pois todos os pontos estão dentro do envelope simulado.

Pela razão da taxa de incidência (IRR) dos tratamentos (T2, T3, T4, T5, T6 e T7) em relação à testemunha no tratamento 1 (T1), para as variáveis que apresentaram significância, foi possível observar que, igualmente ao experimento de Capão do Leão-RS da safra 2021/22, a IRR do número de sementes por vagem teve um comportamento distinto, dependendo do número de sementes presentes (1, 2 ou 3 por vagem). Para 1SEM, a taxa dos tratamentos T4, T5, T6 e T7 diminuiu aproximadamente em 23%, 46%, 22% e 37%, respectivamente, em relação ao T1 (Tabela 9).

Para 2SEM e 3SEM, ao contrário, a IRR aumenta para os tratamentos que receberam bioestimulantes entre 45% e 87% (2SEM), e entre 68% e 149% (3SEM),

em comparação à testemunha (T1) (Tabela 9). Em experimento realizado com bioestimulantes à base de extratos vegetais, Baroniya et al. (2020) também identificaram uma maior quantidade de sementes por vagem quando a soja foi tratada com aquele produto, provavelmente porque o alívio a estresses abióticos promovido pelo bioestimulante permitiu um maior desenvolvimento vegetativo e eficiência fotossintética.

Para as variáveis número total de sementes (NRSEM), número total de vagens (NRVG) e número médio de sementes por vagem (SEMG), em todos os tratamentos contendo bioestimulantes (T3, T4, T5, T6 e T7) a IRR respondeu de forma positiva, quando comparados à testemunha (T1). Para NRSEM o aumento da IRR nos tratamentos variou entre 62% (T6) até 116% (T5). Para a variável NRVG não foi diferente, sendo que os aumentos do IRR foram na ordem de pelo menos 60% (T4) até 94% (T5). E para SEMVG, os tratamentos T3 e T6 aumentaram a IRR em aproximadamente 6%, os tratamentos T4 e T7 tiveram acréscimo de 10% e no T5, o aumento da IRR foi novamente o maior, com 12% a mais comparado à testemunha (T1) (Tabela 9). Esses resultados reforçam a tese de que os fatores de produção de leguminosas, como o número total de sementes e de vagens por planta, podem ser melhorados com o uso de bioestimulantes, pelo papel que desempenham no alívio ao estresse oxidativo nas plantas (DESOKY, et al., 2021).

Tabela 9 Resultados da razão da taxa de incidência (IRR) para as variáveis quantitativas número de vagens com 1, 2 e 3 sementes (1SEM, 2SEM, 3SEM) número total de sementes por planta (NRSEM), número total de vagens por planta (NRVG) e número médio de sementes por vagem (SEMG), obtidos pelo modelo Quasi-Poisson. Londrina-PR, 2024.

Tratamentos	Razão da Taxa de Incidência (IRR)					
	1SEM	2SEM	3SEM	NRSEM	NRVG	SEMG
T1	---	---	---	---	---	---
T2	0,989 ^{ns}	1,863 ^{ns}	1,526 ^{ns}	1,606 ^{ns}	1,563 ^{ns}	1,032 ^{ns}
T3	0,925 ^{ns}	1,784 *	1,917 *	1,800 *	1,701 *	1,062 *
T4	0,774 *	1,447 *	1,985 *	1,740 *	1,597 *	1,098 *
T5	0,538 *	1,868 *	2,492 *	2,156 *	1,942 *	1,116 *
T6	0,785 *	1,737 *	1,677 *	1,619 *	1,541 *	1,057 *
T7	0,634 *	1,732 *	2,173 *	1,926 *	1,759 *	1,102 *

* Significativo ao nível de significância $\alpha = 0,05$

^{ns} Não significativo

4.3.2 PIRACICABA-SP

A Tabela 10 mostra que a análise de variância (ANOVA) do experimento de conduzido a campo em Piracicaba-SP não identificou diferenças significativas entre os tratamentos para as variáveis STAND (número de plantas por metro), índice SPAD, altura de plantas (ALTU), diâmetro da haste principal (DIAM), número de ramificações (NRAM), número total de vagens (NRVG), massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR).

Isso evidencia o caráter variável que os bioestimulantes podem demonstrar nas diferentes situações, pois em recentes estudos conduzido em soja, o índice SPAD também não sofreu influência pelo uso foliar de *Ascophyllum nodosum* (WADAS & DZIUGIEL, 2020; REPKE et al., 2022). Entretanto, em outro trabalho, que avaliava 3 tipos de bioestimulantes em relação a diferentes níveis de nitrogênio (N) em alface, houve sim efeito significativo do extrato de alga sobre o índice SPAD, independentemente do nível de N utilizado (DI MOLA et al., 2019). Por outro lado, Hermes et al. (2015), observaram efeito positivo para ALTU e MSPA em soja, diferindo dos achados deste experimento, ao passo que a MSR daquele estudo foi semelhante ao resultado encontrado em Piracicaba-SP (Tabela 10).

Como a aplicação de extrato de algas em plantas aumenta a atividade de enzimas antioxidantes, como a superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase, entre outras (REPKE et al., 2022), a maior ou menor ativação dessas enzimas por fatores exógenos pode levar a resultados distintos. Daí a importância de estudar a utilização de bioestimulantes nas mais diversas condições e ambientes.

Por outro lado, a ANOVA (Tabela 10) revela efeitos significativos para os tratamentos nas variáveis de fechamento de entrelinhas aos 30 e 45 (FCH30 e FCH45) dias após a emergência (DAE) da cultura, peso de mil sementes (PMS) e rendimento de colheita (YIELD).

Tabela 10 Resumo da análise de variância para as variáveis contagem de estande (STAND), porcentagem de fechamento de entre linhas aos 30 DAE (FCH30) e 45 DAE (FCH45), índice SPAD, altura de plantas (ALTU), diâmetro da haste principal (DIAM), número de ramificações (NRAM), número total de vagens (NRVG), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR), peso de mil sementes (PMS) e rendimento de colheita (YIELD). Piracicaba-SP, 2024.

Quadrado da Média							
FV	GL	STAND	FCH30	FCH45	SPAD	ALTU	DIAM
Tratamentos	6	0,28 ^{ns}	113,39*	46,73*	0,17 ^{ns}	8,01 ^{ns}	0,14 ^{ns}
Blocos	3	0,88	25,00	5,95	0,60	0,64	0,08
Resíduo	18	0,35	20,14	14,98	0,54	6,46	0,20
Total	27						
C.V. (%)		4,67	5,35	4,03	1,70	3,90	6,27
FV	GL	NRAM	NRVG	MSPA	MSR	PMS	YIELD
Tratamentos	6	0,02 ^{ns}	3,65 ^{ns}	429,01 ^{ns}	23,51 ^{ns}	36,36*	82026,89*
Blocos	3	0,17	50,14	3883,66	20,60	0,63	194326,53
Resíduo	18	0,08	19,18	6435,05	40,95	1,16	48269,24
Total	27						
C.V. (%)		12,75	11,37	12,15	8,59	0,80	7,93

* Significativo ao nível de significância $\alpha = 0,05$

^{ns} Não significativo.

Todos os tratamentos contendo bioestimulantes, via TS, foliar ou ambos, responderam positivamente para FCH30 e FCH45 (Figura 14). O que confirma a eficiência desses produtos no desempenho agronômico da soja, permitindo um arranque mais rápido da cultura, desenvolvimento mais vigoroso do dossel das plantas e fechamento mais rápido das entrelinhas da cultura. Essa característica é particularmente interessante para evitar a emergência de plantas daninhas que irão concorrer com a soja, bem como aumentar o IAF (índice de área foliar) e contribuir para uma melhor eficiência no aproveitamento da radiação solar e consequente produção de fotoassimilados.

É possível observar nas Figuras 9 e 10 (p. 54 e 55), que as temperaturas máximas ocorridas tanto em Piracicaba-SP como em Londrina-PR, durante a execução do experimento, foram bastante altas na safra 23/24. Enquanto no PR as máximas ficaram próximas aos 35°C, em SP chegaram até 40°C, especialmente no início do experimento, no mês de Novembro. É possível inferir, portanto, que a resposta positiva para o uso de bioestimulantes na variável fechamento da entrelinha durante o período inicial da cultura (30 e 45DAE) esteja diretamente ligada à

proteção contra o estresse causado por altas temperaturas nesse período (Figuras 11 e 14 – p. 61 e 67).

Já, para a variável PMS (Figura 14), de uma forma geral os resultados foram menos consistentes, com destaque para o T7 (Radifarm® + Quantis®), que foi significativamente o maior peso (138 g), enquanto os tratamentos T4 (Megafol®) e T6 (Quantis®) tiveram os menores pesos (129 e 130 g), inferior aos demais tratamentos (T1, T2, T3 e T5). Esse resultado, no entanto, não influenciou o rendimento de colheita (YIELD), uma vez que todos os tratamentos diferiram significativamente da testemunha (T1). Assim como em Londrina-PR, a maior produtividade nominal foi obtida pelo T5 (2872 kg ha⁻¹), 17% acima da produtividade de T1 (2457 kg ha⁻¹) (Figura 14).

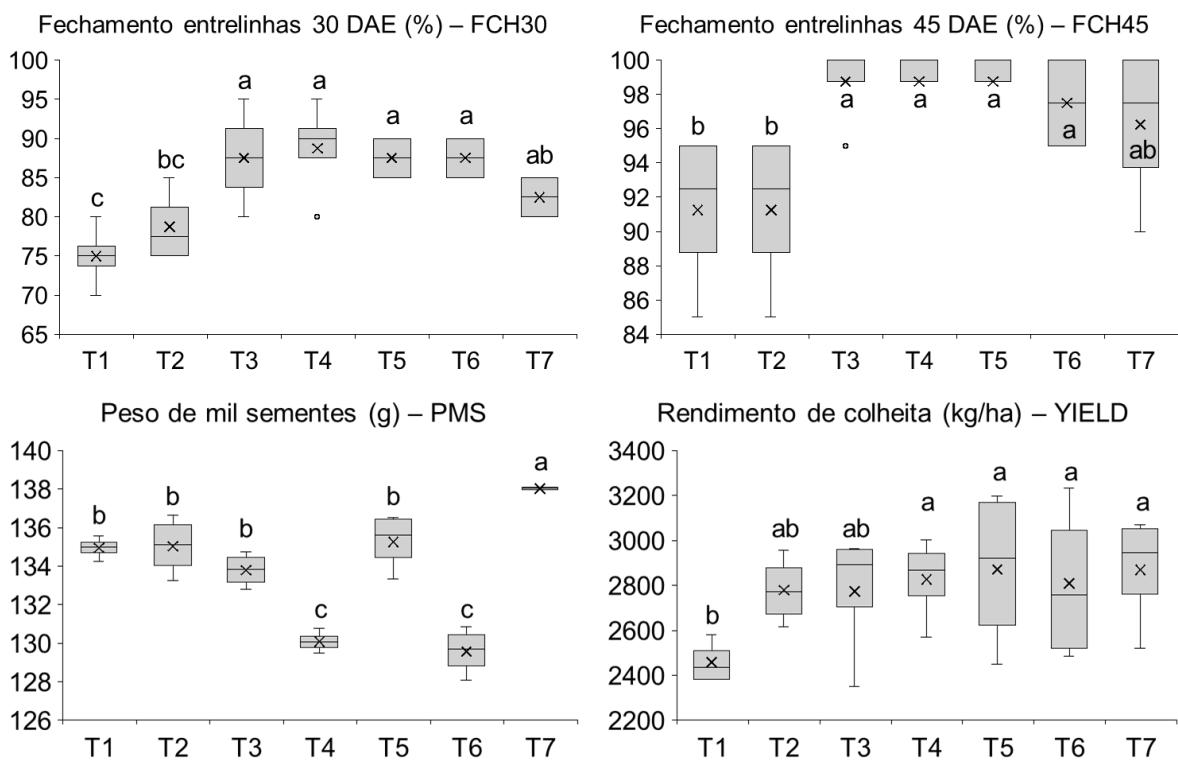


Figura 14 Gráficos boxplot representando a distribuição dos valores das variáveis fechamento de entrelinhas aos 30 DAE (FCH30) e 45 DAE (FCH45), peso de mil sementes (PMS) e rendimento de colheita (YIELD), em função dos tratamentos aplicados no experimento. Piracicaba-SP, 2024.

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo Teste LSD ($\leq 5\%$).

Em relação à análise utilizando-se o modelo ajustado Quasi-Poisson (Tabela 11), no experimento do local Piracicaba-SP não foi possível encontrar significância para nenhuma variável resposta de contagem, em relação aos tratamentos (T2, T3,

T4, T5, T6 e T7) comparados à testemunha (T1), para a razão da taxa de incidência (IRR).

Tabela 11 Resultados da razão da taxa de incidência (IRR) para as variáveis quantitativas número de ramificações (NRAM) e número total de vagens (NRVG), obtidos pelo modelo Quasi-Poisson. Piracicaba-SP, 2024.

Tratamentos	Razão da Taxa de Incidência (IRR)	
	NRAM	NRVG
T1	---	---
T2	0,931 ns	0,997 ns
T3	0,948 ns	1,009 ns
T4	0,944 ns	0,969 ns
T5	1,017 ns	1,020 ns
T6	0,935 ns	0,956 ns
T7	0,957 ns	0,965 ns

ns Não significativo

4.3.3 Análise comparativa dos locais LONDRINA e PIRACICABA pelo gráfico Biplot

Observa-se do gráfico Biplot (Figura 15) que as variáveis PMS e NRVG estão correlacionadas positivamente entre si e estão correlacionadas de forma negativa com FCH45 E FCH30, que por sua vez também estão correlacionadas de forma positiva entre si. Temos ainda que a variável YIELD está isolada e não se correlaciona com as demais variáveis. Observa-se também uma nítida separação entre as observações 3 (LONDRINA) e 4 (PIRACICABA), indicando maior YIELD (rendimento de colheita) para os dados do grupo 3, o que, de fato ocorre, uma vez que a média de produtividade em LONDRINA foi de 4304 kg ha^{-1} e em PIRACICABA foi 2770 kg ha^{-1} .

Ainda sobre os pontos do gráfico (Figura 15), que representam o conjunto de dados de LONDRINA (3, vermelho) e PIRACICABA (4, verde), observa-se que estão claramente agrupados em quadrantes diferentes e não distribuídos aleatoriamente pela área do gráfico. Isso significa que é possível afirmar que houve um padrão de resposta diferente, em termos de NRVG, PMS, FCH30, FCH45 e YIELD, para cada uma das localidades. Ou seja, é possível afirmar que as variáveis sofreram influência dos componentes principais, LONDRINA e PIRACICABA.

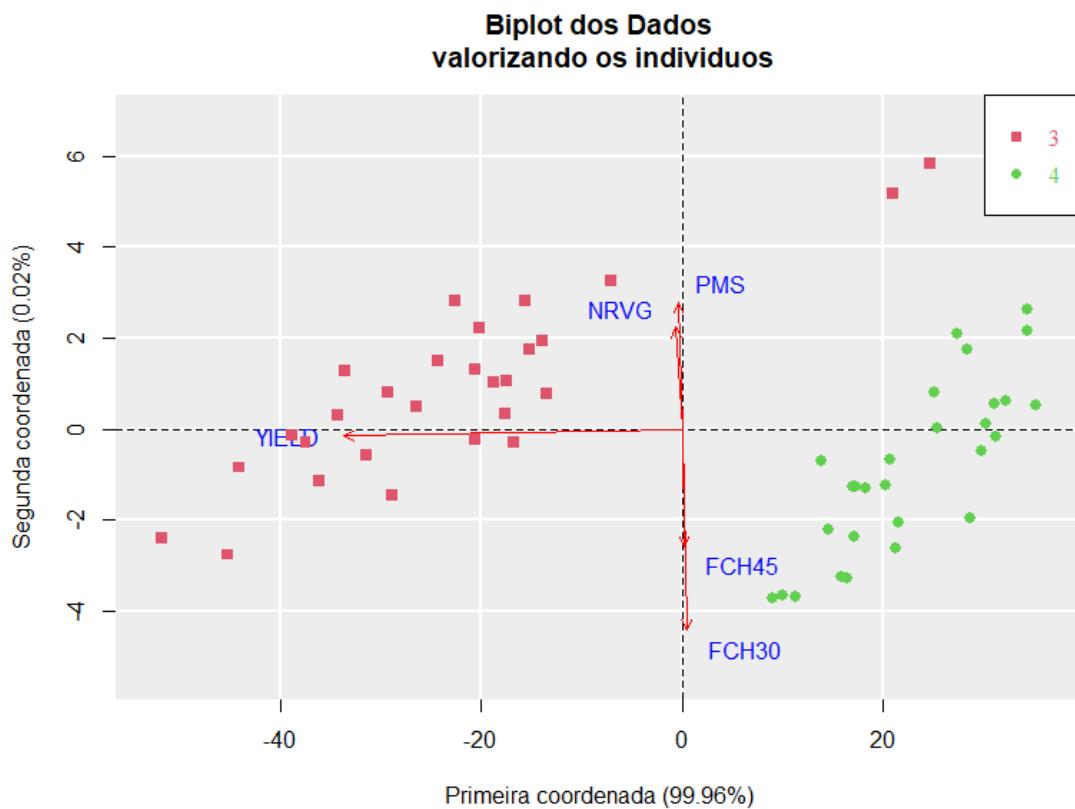


Figura 15 Gráfico Biplot para os experimentos conduzidos em dois locais diferentes (LONDRINA e PIRACICABA) e considerando-se as variáveis fechamento de entre linhas aos 30 DAE (FCH30) e 45 DAE (FCH45), número total de vagens por planta (NRVG), peso de mil sementes (PMS) e rendimento de colheita (YIELD). Londrina-PR e Piracicaba-SP, 2024.

4.4 Conclusões

4.4.1 LONDRINA-PR

Os resultados do experimento conduzido em LONDRINA-PR permitem concluir que tratamentos com bioestimulantes alteram significativamente os parâmetros estruturais e das plantas de soja e sua produtividade.

O uso de bioestimulantes a base de extratos de algas e aminoácidos aplicados em tratamento de sementes, via foliar ou na combinação de ambos, na cultura da soja, acelera o fechamento das entrelinhas, aumenta o número total de sementes e de vagens, bem como aumenta o número médio de sementes por vagem.

O peso de mil sementes aumenta com a aplicação de bioestimulantes via foliar e principalmente na aplicação combinada via tratamento de sementes e foliar.

A utilização de bioestimulantes diminui a quantidade de vagens com apenas 1 semente. Nas condições do experimento de Londrina-PR, a diminuição foi de até 46%, em relação às plantas que não receberam sua aplicação.

Bioestimulantes aumentam a quantidade de vagens com 2 sementes e 3 sementes, bem como o número médio de sementes por vagem. Nas condições desse experimento, esse aumento foi de até 87%, 149% e 12%, respectivamente.

Os bioestimulantes aumentam o número total de sementes e de vagens por planta. Nas condições de Londrina-PR, safra 23/24, esse aumento foi de até 116% e 94%, respectivamente.

A utilização de bioestimulantes, em qualquer combinação, aumenta a produtividade da soja. No caso desse experimento, o aumento do rendimento de colheita com o uso de bioestimulantes foi aproximadamente de até 38%.

4.4.2 PIRACICABA-SP

O experimento conduzido em PIRACICABA-SP permite concluir que os bioestimulantes alteram significativamente os parâmetros estruturais das plantas de soja e contribuem para o aumento da produtividade.

Bioestimulantes afetam o peso de mil sementes, dependendo da combinação de uso, pois a combinação de tratamento de sementes e foliar promovem o aumento e a aplicação somente via foliar diminui.

Todas as combinações de bioestimulantes promovem o melhor fechamento das entrelinhas da soja e aumentam sua produtividade. No caso do experimento de Piracicaba-SP, safra 23/24, o aumento do rendimento de colheita com o uso de bioestimulantes foi aproximadamente de até 17%.

4.4.3 COMPARAÇÃO ENTRE LONDRINA-PR X PIRACICABA-SP

Existe um padrão de resposta diferente para o uso de bioestimulantes em relação às localidades de LONDRINA e PIRACICABA.

5 CAPITULO III

Impacto do tratamento de sementes com bioestimulantes na fase inicial da soja sob diferentes regimes hídricos

5.1 Introdução

A cultura da soja (*Glycine max*) desempenha um papel central na agricultura mundial, sendo uma das principais fontes de proteína vegetal e óleo vegetal. No Brasil, o cultivo da soja ocupa uma posição de destaque, com o país figurando entre os maiores produtores globais. Diante da importância econômica e alimentar dessa cultura, a busca por tecnologias que promovam um crescimento mais eficiente, com maior produtividade e resiliência a condições adversas, tem se intensificado nas últimas décadas. Entre essas tecnologias, o uso de bioestimulantes tem se destacado como uma alternativa promissora.

Uma semente de alto vigor possui grande potencial de desenvolvimento inicial, pois contém maiores teores de proteína, amido e açúcares solúveis; logo, terá maior capacidade de mobilização de suas reservas para germinação, enquanto o inverso acontece em sementes de baixo vigor (HENNING et al., 2010). Porém, em ambos os casos, o uso de fertilizantes e reguladores de crescimento fornecidos via sementes é uma realidade da agricultura atual e possui resultados promissores em diversas culturas (AMARO et al., 2020).

Como a campo as plantas estão sempre expostas a diversas condições de estresse, notou-se ao longo das safras a necessidade do uso destes estimulantes, que façam com que a semente germe com rapidez e gere uma planta que expresse todo o seu potencial de rendimento no arranque inicial. Neste contexto, entram as diversas possibilidades destes tratamentos de sementes, sejam à base de nutrientes, aminoácidos ou hormônios, que com suas respectivas misturas dão origem aos bioestimulantes vegetais (CASTRO; VIEIRA, 2003; KLAHOLD et al., 2006; MOTERLE et al., 2008).

Os bioestimulantes são produtos que, aplicados em plantas ou no solo, visam melhorar o vigor e o desempenho das culturas, sem fornecer diretamente nutrientes, mas atuando em vias metabólicas específicas das plantas. Entre os bioestimulantes mais utilizados, destacam-se os extratos de algas, aminoácidos, ácidos húmicos e

fúlvicos, e compostos hormonais, como brassinosteroídes e auxinas (TAIZ et al., 2017). Estudos têm demonstrado que esses produtos podem estimular o crescimento vegetal, melhorar a absorção de nutrientes, aumentar a resistência ao estresse abiótico (como seca e salinidade) e, consequentemente, elevar a produtividade das culturas (THIENGO et al., 2020).

No entanto, apesar do crescente interesse pelos bioestimulantes, ainda há lacunas no conhecimento sobre sua aplicação específica em condições controladas, como em casas de vegetação. Estudos que avaliem o efeito desses produtos sobre parâmetros fisiológicos e agronômicos, como a área foliar, teor de clorofila, massa seca da parte aérea e sistema radicular, são essenciais para determinar a eficácia e a viabilidade de seu uso em diferentes condições de cultivo.

Diante disso, este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de diferentes tratamentos com bioestimulantes na cultura da soja cultivada, em casa de vegetação, sob diferentes regimes hídricos.

5.2 Material e Métodos

5.2.1 Caracterização dos experimentos em casa de vegetação

O experimento foi conduzido na casa de vegetação da Estação Experimental Campo Verde, localizada no bairro Congonhal, município de Piracicaba-SP, coordenadas 22° 41' 56" S e 47° 48' 31" W, altitude de 483 m. A semeadura foi realizada no dia 01/02/2024 com sementes de soja da variedade BMX 64I61RSF IPRO, tendo a emergência ocorrido em 06/02/2024. A semeadura foi realizada com três sementes por vaso, na profundidade de 15 mm e, após o estabelecimento das plantas, foi mantida apenas uma planta por vaso para condução do experimento.

Foram utilizados vasos de polietileno com 12 L de volume, contendo substrato composto por solo do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo, proveniente do horizonte A1 peneirado e composição de 45% de areia, 26% de silte e 29% de argila. Os vasos foram perfurados na parte inferior para facilitar a drenagem do excesso de água.

Além da testemunha sem tratamento, as sementes receberam três tipos de tratamentos com bioestimulantes. Foram utilizados os bioestimulantes Radifarm® e o Epívio® isoladamente, e um tratamento contendo a mistura dos dois produtos (Tabela 13). Radifarm® é um bioestimulante à base de extrato de algas (*Ascophyllum nodosum*), enquanto o Epívio® é um produto que tem em sua composição hormônios

naturais brassinosteroides e triacantol, vitaminas B1, B2 e B6, glicosídeos e nutrientes (N, Fe e Zn). As características e modo de ação desses bioestimulantes estão descritas nos itens 2.2 e 2.3 (p. 16 a 21) do referencial teórico deste trabalho.

Sobre cada tratamento foram aplicados três regimes hídricos (Tabela 11): Capacidade Máxima de Retenção de Água no Vaso (CMRAV), simulando a Capacidade de Campo (CC) em solo aberto, Alagamento (ALAG) por 4 dias e Restrição Hídrica (RH) de 50% da CMRAV por 4 dias. A CMRAV foi determinada a partir da metodologia da mesa de tensão (EMBRAPA, 1997), sendo o volume de água definido em 234 mL por vaso, nas condições desse experimento.

O manejo da irrigação iniciou-se no dia 04/03/2024, aos 27 dias após a emergência (DAE) da cultura, quando as plantas encontravam-se no estádio fenológico V4 e estendeu-se por 4 dias. Nesse período foram aplicadas lâminas de água de 234 mL e 117 mL para os tratamentos com CMRAV e RH, respectivamente. Para os tratamentos sob alagamento foi mantida uma lâmina de 5 mm de água sobre a superfície do solo através do encaixe de um segundo vaso de polietileno preto sem perfurações sob os vasos contendo solo, visando conter a drenagem da água de irrigação e evitar trocas gasosas e aeração do solo. Fora desse período, as irrigações foram realizadas diariamente em todos os tratamentos, independentemente da evapotranspiração e, para a drenagem do solo encharcado dos tratamentos em ALAG, procedeu-se a retirada do vaso sem perfurações, permitindo a drenagem da água até o retorno à condição de CMRAV.

O tratamento de sementes (TS) foi realizado em equipamento mecanizado Momesso modelo Arktos Africa.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos inteiramente casualizados (DIC) com 12 tratamentos e 10 repetições, em esquema fatorial 4X3 (4 tratamentos e 3 regimes hídricos), e cada parcela constituída por um vaso de 12 L contendo uma planta de soja.

Tabela 12 Tratamentos utilizados no experimento de casa de vegetação. Piracicaba-SP, 2024.

	Tratamento	Composição	Dose (L.100 kg ⁻¹ *)	Condição hídrica
T1	Testemunha	X	X	CMRAV
T2	Radifarm®	Extrato de Alga (<i>Ascophyllum nodosum</i>)	0,15	CMRAV
T3	Epívio®	Brassinosteroide	0,20	CMRAV
T4	Radifarm®	Extrato de Alga (<i>Ascophyllum nodosum</i>)	0,15	CMRAV
	Epívio®	Brassinosteroide	0,20	
T5	Testemunha	X	X	ALAG
T6	Radifarm®	Extrato de Alga (<i>Ascophyllum nodosum</i>)	0,15	ALAG
T7	Epívio®	Brassinosteroide	0,20	ALAG
T8	Radifarm®	Extrato de Alga (<i>Ascophyllum nodosum</i>)	0,15	ALAG
	Epívio®	Brassinosteroide	0,20	
T9	Testemunha	X	X	RH
T10	Radifarm®	Extrato de Alga (<i>Ascophyllum nodosum</i>)	0,15	RH
T11	Epívio®	Brassinosteroide	0,20	RH
T12	Radifarm®	Extrato de Alga (<i>Ascophyllum nodosum</i>)	0,15	RH
	Epívio®	Brassinosteroide	0,20	

*Dose em litros de produto para cada 100 kg de sementes em tratamento de sementes.

X = sem aplicação de tratamento de semente.

CMRAV = Capacidade máxima de retenção de água no vaso / RH = restrição hídrica.

ALAG = Condição de alagamento por 4 dias aos V4.

RH = Condição de restrição hídrica de 50% do CMRAV por 4 dias aos V4.

5.2.2 Variáveis resposta avaliadas no experimento em casa de vegetação:

Aos 13, 20, 27 e 37 DAE foram realizadas avaliações de altura de plantas (ALTU), em centímetros (cm), área foliar (ARFO), em centímetros quadrados (cm²), e índice SPAD (*Soil Plant Analysis Development*).

O parâmetro ALTU foi determinado com uso de uma trena e pela medida da distância entre o colo da planta até a inserção do último trifólio

desenvolvido. Para a avaliação da ARFO, foram tomadas as medidas de comprimento e largura ($C \times L$) dos folíolos das plantas de cada vaso, utilizando-se régua padrão. Para o índice SPAD, que é considerado uma medida indireta e não destrutiva do teor de clorofila na folha (JESUS & MARENCO, 2008; VEIGA et al., 2009), foi utilizado um medidor portátil de clorofila marca Minolta, modelo SPAD-502 PLUS.

Adicionalmente, os dados obtidos das quatro avaliações de ALTU, ARFO e SPAD foram calculados e integralizados de maneira a serem representados por uma área abaixo da curva de progresso (AACP) de cada parâmetro ao longo do período das avaliações, semelhantemente ao que é realizado em trabalhos de epidemiologia em fitopatologia, com a AACPD (área abaixo da curva de progresso da doença). O cálculo foi realizado através da fórmula $\Sigma [(y_1 + y_2)/2] * (t_2 - t_1)$, onde y_1 e y_2 referem-se aos valores de duas avaliações sucessivas de ALTU, ARFO e SPAD, realizadas nos intervalos de tempo t_1 e t_2 , respectivamente. O objetivo é o de obter, através do cálculo integralizado da área, um valor médio da performance dos tratamentos para aquelas três variáveis ao longo do tempo, ou seja, entre 13, 20, 27 e 37 DAE.

É importante ressaltar que, dessa sequência de avaliações aos 13, 20, 27 e 37 DAE das variáveis ALTU, ARFO e SPAD, os resultados foram analisados e discutidos somente para 37 DAE (ALTU37, ARFO37 e SPAD37), quando já era possível observar os efeitos dos diferentes regimes hídricos, que foram impostos aos 27 DAE, como era o objetivo desse experimento. As avaliações anteriores, realizadas aos 13, 20 e 27 DAE, forma utilizadas para compor o cálculo da AACP de ALTU, ARFO e SPAD (AACP_ALTU, AACP_ARFO e AACP_SPAD).

Por fim, aos 37 DAE, foram avaliados os parâmetros massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR), em gramas. As plantas de soja foram retiradas de cada vaso com auxílio água corrente para manter a integridade das raízes e levadas para secagem em estufa à 65°C por 72 horas. A parte aérea foi separada das raízes na altura do colo com uma tesoura e o material pesado para determinação da biomassa seca com uso de uma balança digital.

5.2.3 Procedimentos estatísticos:

Para verificar o efeito dos tratamentos para cada variável resposta, utilizou-se o teste da Análise de Variância (ANOVA), com delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), considerando um nível de significância de 5%. Foi considerado a probabilidade maior de cometer o erro tipo I, pela característica da pesquisa e produtos utilizados, geralmente com pequenas diferenças entre os tratamentos e, havendo significância da ANOVA e validada pelos diagnósticos residuais para o FATOR A (Tratamentos), FATOR B (Regimes hídricos) e a interação entre ambos, utilizou-se o teste de comparação múltipla LSD (*least significant difference test* ou teste de Fischer) para discriminar as diferenças entre as médias.

5.3 Resultados e discussão

Pelo quadro da ANOVA (Tabela 13), observa-se que houve significância para o FATOR A (Tratamento) nas variáveis ALTU37, ARFO37 e AACP_ALTU. Para o FATOR B (Regimes Hídricos), a significância foi observada em ARFO37, SPAD37, MSPA, MSR, AACP_ARFO e AACP_SPAD. No entanto, como houve significância para a interação entre Tratamento e Regimes Hídricos (FATOR A x FATOR B) nas variáveis SPAD37, MSR e AACP_SPAD, nesses casos, foi necessário desdobrar a interação realizando-se duas comparações de médias. Para as variáveis que tiveram significância apenas para o FATOR A (ALTU37, ARFO37 e AACP_ALTU) e FATOR B (ARFO37, MSPA, AACP_ARFO), o teste de médias foi aplicado sobre cada fator isoladamente.

Tabela 13 Resumo da análise de variância para as variáveis altura de plantas aos 37 DAE (ALTU37), área foliar aos 37 DAE (ARFO37), índice SPAD aos 37 DAE (SPAD37), massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR) e área abaixo da curva de progresso da altura, área foliar e índice SPAD (AACP_ALTU, AACP_ARFO e AACP_SPAD). Piracicaba-RS, 2024.

Quadrado da Média						
FV	GL	ALTU37	ARFO37	SPAD37	MSPA	MSR
FATOR A	3	58,55 *	220058,31 *	11,90 ^{ns}	4,91 ^{ns}	0,88 ^{ns}
FATOR B	2	7,56 ^{ns}	1503193,14 *	98,75 *	66,88 *	15,04 *
FATOR A:FATOR B	6	3,38 ^{ns}	134944,97 ^{ns}	24,45 *	3,39 ^{ns}	3,00 *
Resíduo	108	26,67	113219,61	6,61	4,30	1,29
Total	119					
C.V. (%)		14,94	24,10	7,66	24,28	23,92
FV	GL	AACP_ALTU	AACP_ARFO	AACP_SPAD		
FATOR A	3	4988,48 *	11987852,62 ^{ns}		395,84 ^{ns}	
FATOR B	2	771,10 ^{ns}	52673943,13 *		6873,26 *	
FATOR A:FATOR B	6	419,03 ^{ns}	7188358,77 ^{ns}		3297,36 *	
Resíduo	108	2958,11	10062182,25		1277,61	
Total	119					
C.V. (%)		12,18	16,16		4,53	

* Significativo ao nível de significância $\alpha = 0,05$

^{ns} Não significativo

Nas variáveis ALTU37, ARFO37 e AACP_ALTU, que foram significativas para o efeito dos Tratamentos (FATOR A) (Figura 16), é possível concluir que, de maneira geral, o tratamento de sementes com os bioestimulantes isolados (RAD = Radifarm® ou EPI = Epívio®) tem resultado positivo e superior à testemunha sem tratamento, bem como à mistura de ambos (RADEPI). Isso sugere um possível efeito antagônico causado pela mistura que, embora não seja propriamente tóxica a ponto de prejudicar as sementes tratadas, no mínimo tem o efeito de anular os benefícios observados nas aplicações isoladas.

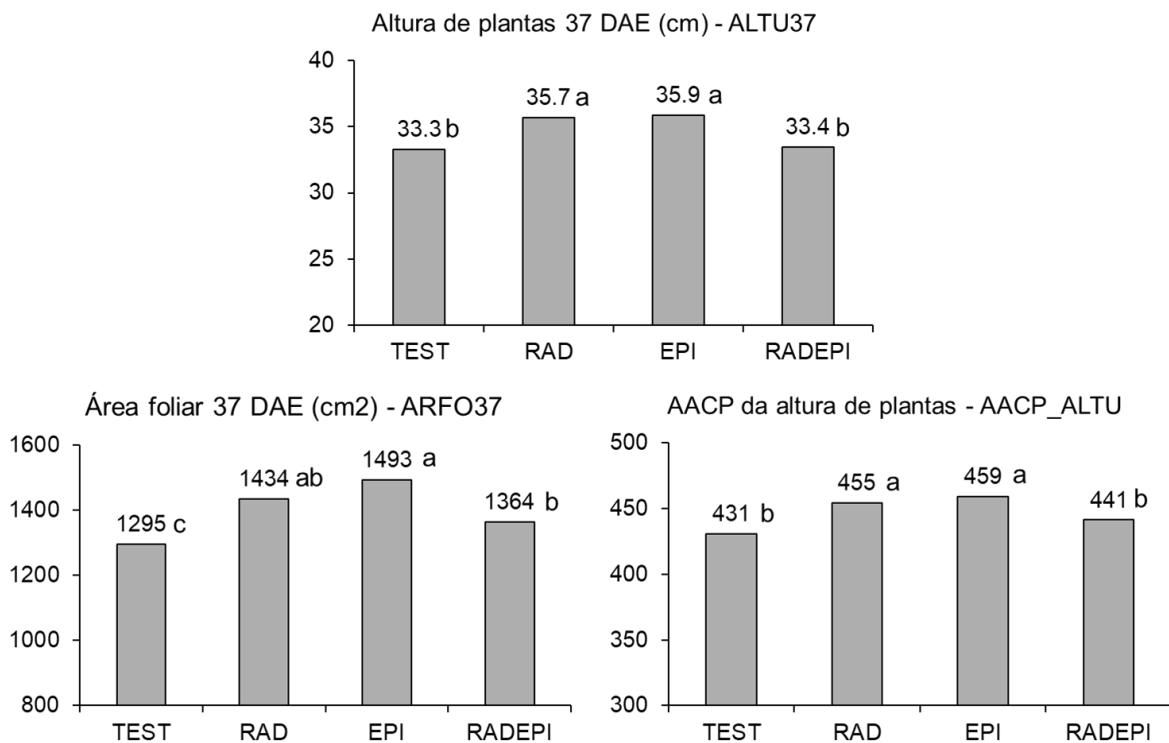


Figura 16 Altura de plantas aos 37 DAE (ALTU37), área foliar aos 37 DAE (ARFO37) e área abaixo da curva de progresso da altura de plantas (AACP_ALTU) para o FATOR A (tratamentos) em casa de vegetação. Piracicaba-SP, 2024.

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo Teste LSD ($\leq 5\%$).

Onde o efeito do FATOR B (Regimes Hídricos) foi significativo (Figura 17), as variáveis ARFO37 e MSPA tiveram resultados bastante similares para os diferentes regimes hídricos. Nos dois casos, a melhor performance sempre foi alcançada no regime de CMRAV, seguida de RH, que ainda foi superior ao regime ALAG. Esse resultado deixa claro que a situação de alagamento pode ser mais prejudicial às plantas do que um episódio de seca temporária.

Como a variável AACP_ARFO (Figura 17) leva em consideração também o período anterior à imposição dos regimes hídricos, é possível que o efeito da RH tenha ficado mascarado pelas avaliações anteriores e, portanto, seu resultado foi estatisticamente similar ao CMRAV, restando nesta variável apenas um prejuízo para ALAG, que foi inferior em função da sensibilidade da soja nesta condição de estresse.

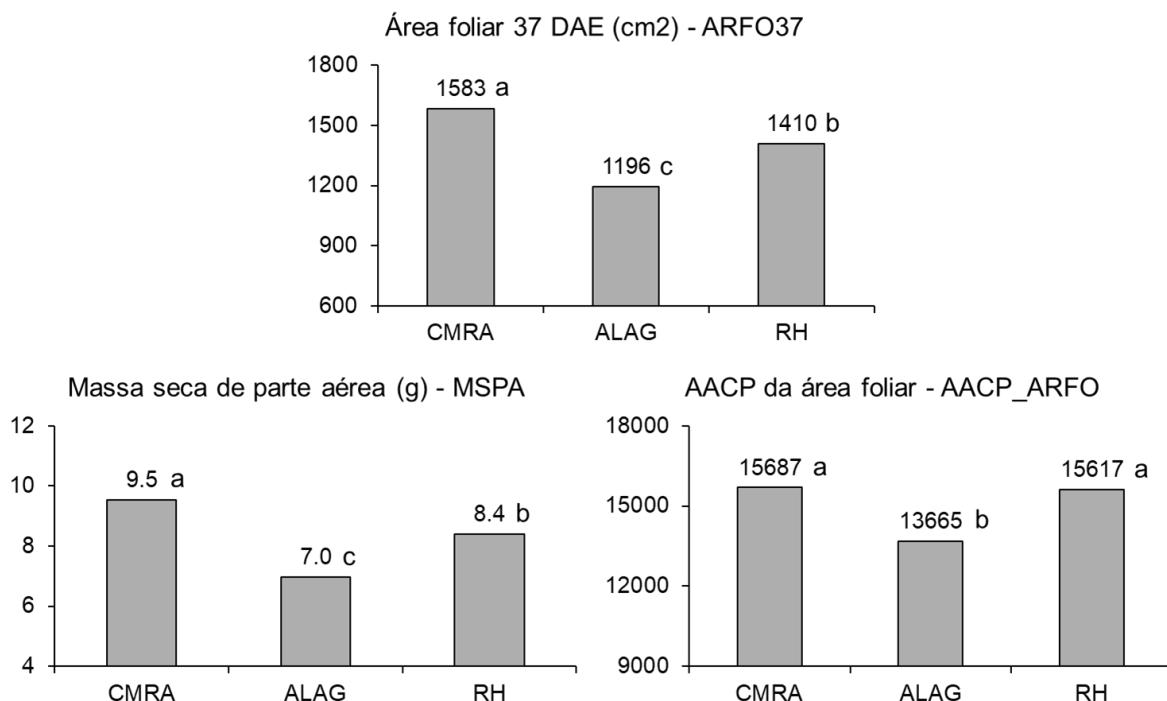


Figura 17 Área foliar aos 37 DAE (ARFO37), massa seca de parte áerea (MSPA) e área abaixo da curva de progresso da área foliar (AACP_ARFO) para o FATOR B (regimes hídricos) em casa de vegetação. Piracicaba-SP, 2024.

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo Teste LSD ($\leq 5\%$).

Analizando-se o desdobramento da interação entre os Tratamentos e os Regimes Hídricos (Tabela 14 e Figura 18), para SPAD37 observa-se que TEST teve sua composição de clorofila prejudicada igualmente em situação de ALAG e RH, que foram significativamente inferiores à CMRAV. Quando as sementes foram tratadas com RAD (Radifarm®) nota-se uma recuperação parcial em RH, que foi inferior à CMRAV, mas superior ao ALAG. Já com o tratamento EPI (Epívio®), essa recuperação foi total na situação de RH, sugerindo que a sua composição de brassinosteroides de EPI foi benéfica para os teores de clorofila em RH, mas não suficiente para ALAG. A mistura RADEPI (Radifarm® + Epívio®), entretanto, mostrou ser prejudicial mesmo em CMRAV, que foi significativamente similar ao ALAG, mas, na situação de estresse por deficiência hídrica (RH), a ação conjunta dos dois ingredientes ativos foi benéfica e superior aos demais.

Na variável MSR (Tabela 14 e Figura 18), houve crescimento de raízes significativamente superior em situação de ALAG, seguido de RH, em relação à CMRAV na TEST sem aplicação de bioestimulantes. É provável, no entanto, que essas raízes não fossem funcionais, uma vez que outros parâmetros foram bastante

inferiores na situação de ALAG. Nas plantas oriundas de sementes tratadas com RAD, as raízes em RH tiveram crescimento pronunciado e significativamente igual a ALAG, e superiores à situação CMRAV. O tratamento EPI também promoveu maior massa de raízes em ALAG, mas esse resultado não condiz com o observado na variável SPAD37, que é uma medida indireta de clorofila, o que sugere uma baixa funcionalidade das raízes produzidas. Não foi possível diferenciar os regimes hídricos para a mistura RADEPI.

Tabela 14 Resultado das interações entre o FATOR A (Tratamentos) e o FATOR B (Regimes Hídricos) para índice SPAD aos 37 DAE (SPAD37), massa seca de raiz (MSR) e área abaixo da curva de progresso do índice SPAD (AACP_SPAD) no experimento de casa de vegetação. Piracicaba-SP, 2024.

SPAD37	CMRAV	ALAG	RH
TEST	39.0 A a	37.0 A b	37.3 B b
RAD	39.5 A a	35.4 B c	37.2 B b
EPI	38.3 A a	33.3 C b	37.6 B a
RADEPI	35.6 B b	35.3 B b	39.1 A a
MSR	CMRAV	ALAG	RH
TEST	3.8 B c	5.2 B a	4.6 B b
RAD	4.1 B b	5.1 B a	5.5 A a
EPI	4.0 B b	6.2 A a	4.4 B b
RADEPI	4.6 A a	4.9 B a	4.8 B a
AACP_SPAD	CMRAV	ALAG	RH
TEST	803.4 A a	784.6 A b	779.2 C b
RAD	790.0 B a	788.1 A a	791.5 B a
EPI	784.0 B b	748.5 C c	817.4 A a
RADEPI	788.9 B b	775.3 B c	811.1 A a

TEST = Testemunha

RAD = Radifarm

EPI = Epívio

RADEPI = Radifarm + Epívio

CMRAV = Capacidade Máxima de Retenção de Água no Vaso

ALAG = Alagamento

RH = Restrição Hídrica

¹Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo Teste LSD ($\leq 5\%$).

No parâmetro AACP_SPAD (Tabela 14 e Figura 18), que é uma média dos índices de clorofila ao longo da duração do experimento, antes e depois do estresse hídrico, em TEST podemos observar que CMRAV foi

superior às condições de ALAG e RH. No entanto, o tratamento RAD igualou o índice de clorofila para os três regimes hídricos, enquanto os tratamentos EPI e RADEPI, igualmente trouxeram benefícios para RH, superior para clorofila inclusive em relação ao CMRAV, mas não foi suficiente para trazer ALAG ao mesmo nível, sendo este significativamente o pior regime hídrico nesses dois tratamentos.

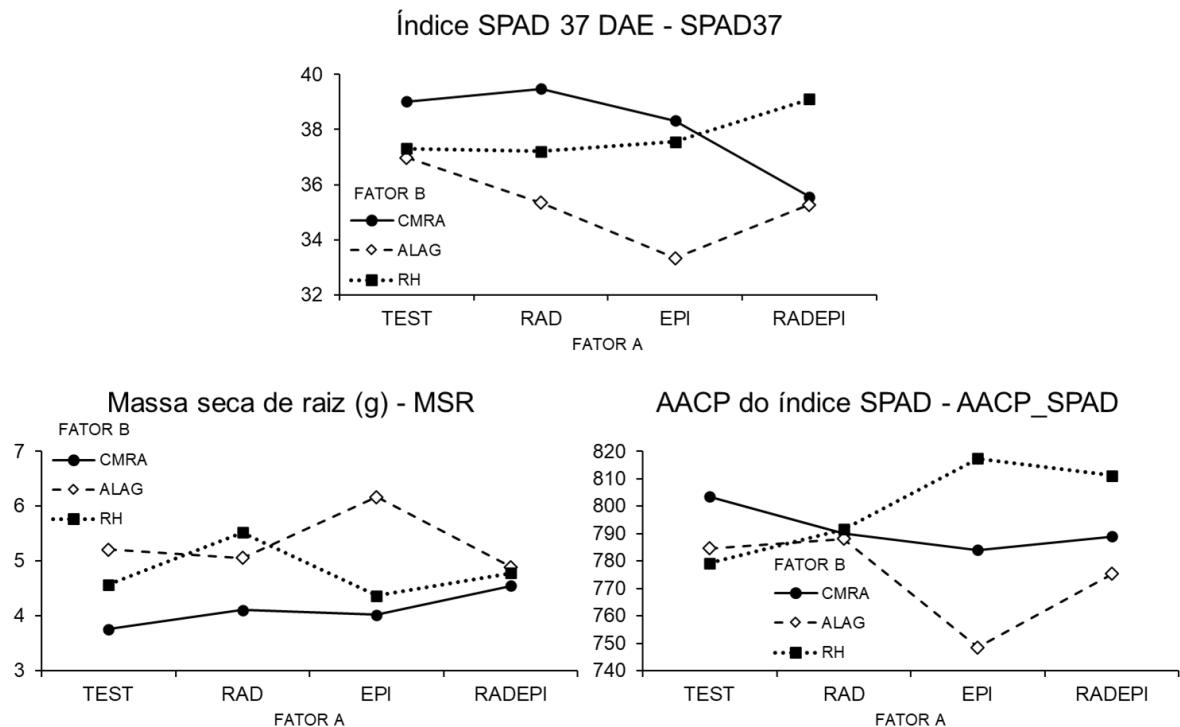


Figura 18 Índice SPAD aos 37 DAE (SPAD37), massa seca de raiz (MSR) e área abaixo da curva de progresso do índice SPAD (AACP_SPAD) para a interação entre o FATOR A (tratamentos) em relação ao FATOR B (regimes hídricos) em casa de vegetação. Piracicaba-SP, 2024.

Invertendo-se a análise, e desdobrando a interação dos Regimes Hídricos em relação aos Tratamentos (Tabela 14 e Figura 19), para a variável SPAD37, sob condição ótima de umidade em CMRAV, os tratamentos TEST, RAD e EPI foram significativamente superiores ao tratamento RADEPI, sugerindo a situação antagônica ou tóxica dessa mistura, mencionada anteriormente. Em ALAG, nenhum tratamento com bioestimulante foi capaz de igualar a performance de TEST, sugerindo que, nessa situação limite, manter as sementes sem tratamento seria a melhor opção. E, no ambiente de RH, inverte-se a situação observada em CMRAV, tendo a mistura RADEPI a melhor performance, indicando que, no estresse por seca,

a combinação de bioestimulantes deixa de ser prejudicial e promove efeitos positivos aos índices de clorofila das plantas.

Na variável MSR (Tabela 14 e Figura 19), a resposta dos tratamentos é bastante clara para cada regime hídrico. Em CMRAV é a mistura RADEPI que promove a maior produção de raízes. Em ALAG, é EPI que tem esse papel, enquanto no regime de RH, o destaque positivo na produção de MSR fica para o tratamento RAD.

Finalmente, para a variável AACP_SPAD (Tabela 14 e Figura 19), em condição ótima de CMRAV não é necessário nenhum bioestimulante para elevar os níveis de clorofila, pois a TEST foi significativamente superior aos tratamentos. A mesma coisa acontece na situação de ALAG, onde nenhum tratamento é significativamente superior à TEST. No entanto, em situação de estresse por RH, os tratamentos EPI e RADEPI são as melhores opções para elevar os níveis de clorofila na planta de soja.

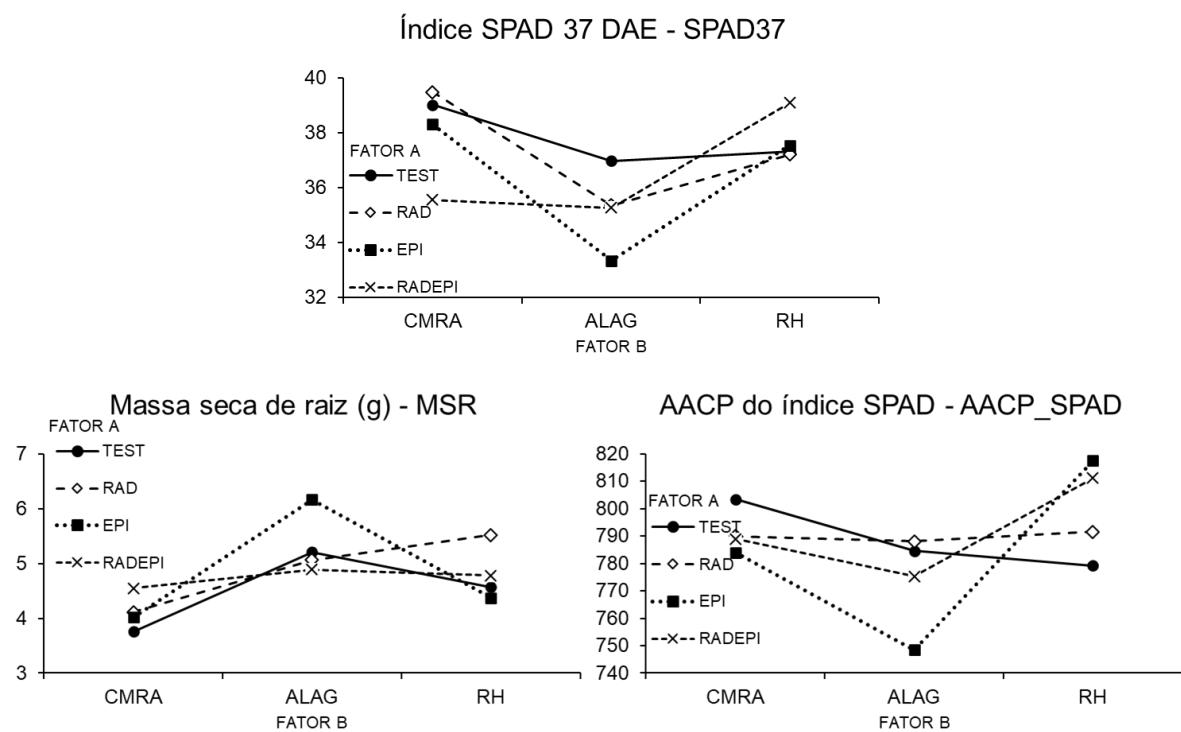


Figura 19 Índice SPAD aos 37 DAE (SPAD37), massa seca de raiz (MSR) e área abaixo da curva de progresso do índice SPAD (AACP_SPAD) para a interação entre o FATOR B (regimes hídricos) em relação ao FATOR A (tratamentos) em casa de vegetação. Piracicaba-SP, 2024.

5.4 Conclusões

Os tratamentos com bioestimulantes à base de extrato de algas e brassinosteroides, aplicados isoladamente em tratamento de sementes, trazem benefícios para a altura e área foliar da soja, independentemente do regime hídrico. No entanto, a mistura desses bioestimulantes é prejudicial para a cultura.

Embora o alagamento temporário aumente a massa de raiz da soja, essa condição é mais prejudicial para o desenvolvimento da parte aérea do que a condição de seca temporária.

Em restrição hídrica, o extrato de algas melhora a composição de clorofila da soja, mas ainda abaixo da situação ideal, enquanto os brassinosteroides igualam a clorofila aos teores de situação ótima de água. No entanto, nenhum composto é capaz de recuperar os níveis de clorofila da soja em situação de alagamento.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de bioestimulantes tem se tornado uma prática agronômica cada vez mais empregada pelos produtores de sementes de soja, mas os seus efeitos estão sujeitos a variáveis muitas vezes desconhecidas. O presente trabalho tinha o objetivo de avaliar algumas dessas variáveis, como o aspecto temporal, espacial e ambiental do uso de bioestimulantes. Foram instalados cinco grandes experimentos divididos entre campo e casa de vegetação, em três estados diferentes.

Os resultados permitem concluir que os bioestimulantes alteram os parâmetros estruturais das plantas, de produtividade e de composição das sementes, atendendo, no entanto, a padrões diferentes, dependendo do método de aplicação, localidade e condição ambiental.

De uma forma geral, aplicações via tratamento de sementes ou foliar aumentam o diâmetro da haste, altura de plantas, área foliar, fechamento de entrelinhas, índice de clorofila, número total de sementes e vagens, peso de mil sementes, teor de proteína e fibras, além da produtividade na cultura da soja. Especialmente, bioestimulantes aumentam o número médio de sementes por vagem, reduzindo o número de vagens com poucas sementes.

Dentre os parâmetros considerados, chamam particularmente a atenção a consistência dos resultados positivos para o fechamento rápido das entrelinhas da soja, bem como o número de vagens por planta e número de sementes por vagem em todos os locais, safras e ambientes testados.

Em tratamento de sementes, a mistura de dois tipos de bioestimulantes pode ser prejudicial à cultura, mas o seu uso isolado, ao contrário, melhora o desempenho da soja em situação de seca temporária. Por outro lado, nenhum bioestimulante é capaz de mitigar os efeitos deletérios do alagamento temporário.

Por fim, não é possível afirmar que, numa mesma geografia, o efeito dos bioestimulantes sofra influência de uma safra para outra, mas é possível afirmar que existe um padrão de resposta diferente para o uso de bioestimulantes em diferentes geografias, dentro de uma mesma safra.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIOS, G. N. Plant Pathology. 5. ed. San Diego: Academic Press, 2005. 952 p.

AHMAD, F.; SINGH, A.; KAMAL, A. Salicylic Acid – Mediated Defense Mechanisms to Abiotic Stress Tolerance. In: KHAN, M. I. R.; REDDY, P. S.; FERRANTE, A.; KHAN, N. A. (Org.). Plant Signaling Molecules. Sawston: Woodhead Publishing, 2019. p. 355-369.

ALMEIDA, G.M.; RODRIGUES, J.G.L. Development of plants by interference auxins, cytokinins, gibberellins and ethylene. Applied Research & Agrotechnology, v.9, n.3, p.111-117, 2017.

AMARO, H. T. R.; COSTA, R. C.; PORTO, E. M. V.; ARAÚJO, E. C. M.; FERNANDES, H. M. F. Tratamento de sementes com produtos à base de fertilizantes e reguladores de crescimento. Pesquisa Agropecuária Gaúcha, v. 26, n. 1, p. 222-242, 2020.

ANJOS, D. D. N.; MENDES, H. T. A.; VASCONCELOS, R. C.; MOREIRA, P. M.; CANGUSSU, A. C. V.; PIRES, E. S. Avaliação do feijoeiro comum em função dos bioestimulantes, NPK e micronutrientes em Vitória da Conquista – BA. Revista Agrarian, v. 10, n. 35, p. 1-19, 2017.

ARAÚJO, G. P.; BATISTA, P. S. C.; CANGUSSÚ, L. V. S.; OLIVEIRA, R. E. V.; SANTIAGO, W. E. Crescimento do sorgo sob diferentes formas de aplicação de bioestimulantes. Acta Iguazu, v. 9, n. 3, p. 89-93, 2020.

BARONIYA, M. B. et al. Protection of Soybean from Ambient UV Radiation THROUGH Foliar Spray with Lawsonia inermis Leaves Extract. Plant Arch, v. 20, p. 4293-4300, 2020.

BATISTA FILHO, C. G. et al. Efeito do Stimulate® nas características agronômicas da soja. Acta Iguazu, Cascavel, v. 2, n.4, p. 76-86, nov./dez. 2013.

BERTOLIN, D.C.; DE SÁ, M.E; ARF, O.; JUNIOR, E.F.; COLOMBO, A.S.; CARVALHO, F.L.B.M. Aumento da produtividade de soja com a aplicação de Bioestimulantes. Bragantia, v.69, n.2, p.339-347, 2010.

BHATTACHARYA, A. Effect of High Temperature on Crop Productivity and Metabolism of Macro Molecules. Amsterdam: Elsevier, 2019. p. 485-591.

BINSFELD, J. A. et al. Uso de bioativador, bioestimulante e complexo de nutrientes em sementes de soja. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 44, n. 1, p. 88- 94, jan./mar. 2014.

BLUM, L. E. B. et al. Fitopatologia o estudo das doenças de plantas. Brasília: Otimismo, 170p., 2006.

BONTEMPO, A. F. et al. Influência de bioestimulantes e nutrientes na emergência e no crescimento inicial de feijão, soja e milho. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v. 15, n. 1, p. 86-93, 2016.

BOROWSKA, N. et al, Effect of triacontanol on the productivity of yellow lupin, Journal of Central European Agriculture, 12(4), 680-690. 2011.

BOSCHI, T.de F. Processo de recolhimento de embalagens vazias de agrotóxicos e uma abordagem das embalagens vazias provenientes do tratamento de sementes industrial. Trabalho de conclusão de curso (Especialização). 41f. Universidade Tecnológica Federal do Paraná: Pato Branco, 2014.

BOSSOLONI, J. W.; SÁ, M. E.; MERLOTI, L. F.; BETTIOL, J. V. T.; OLIVEIRA, G. R. F.; PEREIRA, D. S. Bioestimulante vegetal associado a indutor de resistência nos componentes da produção do feijoeiro. Revista AgroAmbiente, v. 11, n. 4, p. 307-314, 2017.

BRIGLIA, N. et al. Investigating the impact of biostimulants on the row crops corn and soybean using high-efficiency phenotyping and next generation sequencing. Agronomy, v. 9, n. 11, p. 761, 2019.

BUCHELT, A. C.; METZLER, C. R.; CASTIGLIONI, J. L.; DASSOLLER, T. F.; LUBIAN, M. S. Aplicação de bioestimulantes e *Bacillus subtilis* na germinação e desenvolvimento inicial da cultura do milho. Revista de Agricultura Neotropical, v. 6, n. 4, p. 69-74, 2019.

BULGARI, R.; COCETTA, G.; TRIVELLINI, A.; VERNIERI, P.; FERRANTE, A. Biostimulants and crop responses: a review. Biological Agriculture and Horticulture, v.31, p.1-17, 2015.

CALVO, P.; NELSON, L.; KLOPPER, J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. Plant Soil. v. 1-2, n. 383, p. 3-41, 2014.

CAMPOS, A. J. M.; SANTOS, M.; NACARATH, I. R. F. F. Estresse hídrico em plantas: uma revisão. Research, Society and Development, v. 10, n. 15, e311101523155, 2021.

CARUSO, G. et al. Yield and nutritional quality of Vesuvian Piennolo tomato PDO as affected by farming system and biostimulant application. Agronomy, v. 9, n. 9, p. 505, 2019.

CASTILLO SÁNCHEZ, E. J. Importancia de los aminoácidos en la agricultura bajo condiciones de estrés abiótico. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. BABAHOYO: UTB, 2021.

CASTRO, G. S. A., BOGIANI, J. C.; SILVA, M. G.; ROSOLEM, C. A. Tratamento de sementes de soja com inseticidas e um bioestimulante. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 43, n. 10, p. 1311-1318, out. 2008.

CASTRO, P. R. C.; VIEIRA, E. L. Ação de bioestimulante na cultura do feijoeiro. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, V. (Org.). Feijão irrigado: tecnologia e produtividade. Piracicaba: Esalq, 2003.

CASTRO, P.R.C.; VIEIRA, E.L. Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical. 1.ed. Guaíba: Agropecuária, 2001.

CAVALCANTE, W. S. S.; 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, n. 4, p. 754-763, 2020.

CHAVARRIA, G.; SANTOS, H. P. Plant water relations: absorption, transport and control mechanisms. In: MONTANARO, G.; DICHIO, B. (Org.). *Advances in selected plant physiology aspects*. Rijeka: Intech, v.1, p.105-132, 2012.

COBUCCI, T.; CURUCK, F.J.; SILVA, J.G. Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) às aplicações de bioestimulante e complexos nutritivos. Goiânia: Conafe, 2005.

COELHO, H. A. et al. Eficiência agronômica da aplicação foliar de nutriente na cultura da soja. *Revista Agrarian*, v. 4, n. 11, p. 73-78, 2011.

COLMER, T. D.; VOESENEK, L. A. C. J. Flooding tolerance: suites of plant traits in variable environments. *Functional Plant Biology*, v. 36, n. 8, p. 665-681, 2009.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v. 7 -Safra 2022/23 -Sétimo levantamento, 2023.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v. 3 -Safra 2023/24 -Terceiro levantamento, 2024.

CONCEIÇÃO, P. M. Efeito de Bioestimulante no Sistema Radicular de Plântulas de Milho Originadas de Sementes Submetidas a Diferentes Épocas de Colheita. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28., 2010, Goiânia. Resumos [...] Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010. p. 3526 - 3530.

CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA. Estabelece regras relativas à disponibilização no mercado de produtos fertilizantes UE e que altera os Regulamentos (CE) nº. 1069/2009 e (CE) nº. 1107/2009 e revoga o Regulamento (CE) nº 2003/2003. Jornal Oficial da União Europeia, 2019. 114 p. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu>. Acesso em: 10 de ago. 2024.

COSTA, F. S. et al. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 323-332, 2008.

DA SILVA PORTAL, M. J. et al. Configurações e tendências da produção científica em mudanças climáticas e inovações agrícolas sustentáveis. *Revista de Gestão e Secretariado*, v. 14, n. 10, p. 16562-16582, 2023.

DA SILVA, A. V.; DA SILVA, C. M.; DA SILVA, J. H. B. Pesquisas em ciências agrárias. Volume 2. Curitiba: Editora CRV, 2021.

DAVIES, P. J. *Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action!*. 3. ed. Dorrecht: Springer, 2004.

DE SAEGER, J. et al. Toward the molecular understanding of the action mechanism of *Ascophyllum nodosum* extracts on plants. *Journal of Applied Phycology*, v. 32, n. 1, p. 573-597, 2020.

DE ARAÚJO ARAÚJO, L. L. M. et al. Ação de Bioestimulantes em cultivares comerciais de soja na Região Norte do Vale do Araguaia-MT. *PesquisAgro*, v. 4, n. 1, p. 3-21, 2021.

DE SOUSA, G. M. et al. Análise econômica do uso de bioestimulantes na cultura do feijão em diferentes métodos de aplicação. *Brazilian Journal of Science*, v. 2, n. 2, p. 24-31, 2023.

DEPAEPE, T.; STRAETEN, V. D. Ethylene. In: THOMAS, B.; MURPHY, D. J.; MURRAY, B. G. (Org.). *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*. 2. ed. Oxfordshire: Academic Press, 2017. p. 403-410.

DESOKY, E. S. M. et al. Application of biostimulants promotes growth and productivity by fortifying the antioxidant machinery and suppressing oxidative stress in faba bean under various abiotic stresses. *Scientia Horticulturae*, v. 288, p. 110340, 2021.

DI MOLA, I. et al. Effect of vegetal-and seaweed extract-based biostimulants on agronomical and leaf quality traits of plastic tunnel-grown baby lettuce under four regimes of nitrogen fertilization. *Agronomy*, v. 9, n. 10, p. 571, 2019.

DOURADO-NETO, D.; DARIO, G.J.A.; BARBIERI, A.P.P.; MARTIN, T.N. Ação de bioestimulante no desempenho agronômico de milho e feijão. *Bioscience Journal*, v.30, n.3, p.371-379, 2014.

DOSS B. D., ASHLEY, D. A., & BENNET, O. L. Effect of soil moisture regime on root distribution of warm season forage species. *Agronomy Journal*, v.52, n.10, p.569-572, 2009.

DU, F.; RUAN, G.; LIU, H. Analytical methods for tracing plant hormones. *Analytical and Bionalytical Chemistry*, v. 403, p. 55-74, 2012.

DU JARDIN, P. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, v. 196, n. 1, p. 3-14, 2015.

ECCO, M.; MORAIS, W.G.; REUTER, R. J.; POTTKER, V.L.; LENHARDT, V.L.; VANZELLA, T. Uso de diferentes tratamentos de bioestimulante vegetal na cultura da soja. *Revista Científica Rural, Bagé*, v. 21, n. 2, p. 269-286, 2019.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Ver. Atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 1997. 212 p.

FERREIRA, J. S.; ALMEIDA, L. A.; COSTA, R. M. Influência de bioestimulantes na arquitetura da planta de soja. *Agronomy Research*, v. 15, n. 3, p. 245-254, 2019.

FERREIRA, L. H. Z.; ROSATO, M. M.; BOLONHEZI, A. C. Efeitos de reguladores vegetais aplicados no sulco de plantio em diversas variedades de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 19., 2007, Ilha Solteira. Anais [...]. Ilha Solteira: UNESP, 2007.

FERREIRA, L. L. et al. Bioestimulante e nitrogênio de liberação gradual no desempenho do sorgo. *Nativa*, v. 7, n. 4, p. 330-335, 2019.

FOSKET, D. E. Plant Growth and Development: A Molecular Approach. San Diego: Academic Press, 1994. p. 271-340.

FRASCA, L. L. M.; NASCENTE, A. S.; LANNA, A. C.; CARVALHO, M. C. S. Características fisiognomônicas do feijoeiro de ciclo superprecoce tratado com promotores de crescimento. *Colloquium Agrarie*, v. 14, n. 3, p. 51-61, 2018.

FRASCA, L. L. de M. Et al. Bioestimulantes no crescimento vegetal e desempenho agronômico do feijão-comum de ciclo superprecoce. *Agrarian*, v.13, n.47, p.27-41, 2020.

GALINDO, F. et al. Extrato de algas como bioestimulante na nutrição e produtividade do trigo irrigado na região de Cerrado. *Colloquium Agrariae*, v. 15, n. 1, p. 130-140, 2019.

GHANNOUM, O., CONROY, J. P., DRISCOLL, S. P., PAUL, M. J., FOYER, C. H., & LAWLOR, D. W. Nonstomatal limitations are responsible for drought-induced photosynthetic inhibition in four C4 grasses. *New Phytologist*, v.159, n.3, p.599-608, 2003.

HAMZA, B.; SUGGARS, A. Biostimulants: myths and realities. *Turfgrass Trends*, Newton, v. 10, p. 6-10, 2001. Disponível em: <http://www.turfgrasstrends.com/turfgrasstrends/article/articleDetail.jsp?id=13205>. Acesso em: 20 mar. 2021.

HEDDEN, P. Regulators of growth: Gibberellins. In: THOMAS, B.; MURPHY, D. J.; MURRAY, B. G. (Org.). *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*. 3. ed. Oxfordshire: Academic Press, 2003. p. 985-995.

HENNING, A. A. Patologia e tratamento de sementes: noções gerais. 2005.

HENNING, F. A.; MERTZ, L. M.; JACOB JUNIOR, E. A.; MACHADO, R. D.; FISS, G.; ZIMMER, P. D. Composição química e mobilização de reservas em sementes de soja de alto e baixo vigor. *Bragantia*, v. 69, n. 3, p. 727-734, 2010.

HERMES, E. C. K.; NUNES, J.; NUNES, J. V. D. Influência do bioestimulante no enraizamento e produtividade da soja. *Cultivando O Saber*, Edição especial, p. 35-45, 2015.

IRFAN, M. et al. Physiological and biochemical changes in plants under waterlogging. *Protoplasma*, v. 241, p. 3-17, 2010.

IZIDÓRIO, T. H. C. et al. Bioestimulante via foliar em alface após o transplantio das mudas. *Revista de Agricultura Neotropical*, v. 2, n. 2, p. 49-56, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.32404/rean.v2i2.257>.

JESUS, S. V. & MARENCO, R. A. O SPAD-502 como alternativa para a determinação dos teores de clorofila em espécies frutíferas. *Acta Amazonica*, Manaus, v.38, n.4, p.815-818, 2008.

KARNOK, K.J. Promises, promises: can biostimulants deliver? *Golf Course Management Golf Course Management*, Blacksburg, v. 68, p. 67-71, 2000.

KHAN, W. et al. Seaweed Extracts as Biostimulants of Plant Growth and Development. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 28, p. 386-399, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x>.

KHRIPACH, V. A.; ZHABINSKII, V. N.; DE GROOT, A. E. *Brassinosteroids: a new class of plant hormones*. Academic Press, 1998.

KLAHOLD, C. A.; GUIMARÃES, V. F.; ECHE, M. M.; KLAHOLD, A.; CONTIERO, R. L.; BECKER, A. Resposta da soja (*Glycine Max (L.) Merrill*) à ação de bioestimulante. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 28, n. 2, p. 179-185, 2006.

KOCIRA, S.; SZAPARAGA, A.; KOCIRA, A.; CZERWINSKA, E.; WÓJTOWICZ, A.; BRONOWICKA-MIELNICZUK, U.; KOSZEL, M.; FINDURA, P. Modeling Biometric Traits, Yield and Nutritional and Antioxidant Properties of Seeds of Three Soybean Cultivars Through the Application of Biostimulant Containing Seaweed and Amino Acids. *Front. Plant Sci*, n. 9, p. 388, 2018.

KOLB, R. M.; JOLY, C. A. Flooding tolerance of *Tabebuia cassinoides*: metabolic, morphological and growth responses. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, v. 204, n. 7, p. 528-535, 2009.

KOLLING, D. F.; SANGOI, L.; SOUZA, C. A.; SCHENATTO, D. E.; GIORDANI, W.; BONIATTI, C. M. Tratamento de sementes com bioestimulante ao milho submetido a diferentes variabilidades na distribuição espacial das plantas. *Ciência Rural, Santa Maria*, v. 46, n. 2, p. 248-253, fev., 2016.

KOVALSKI, A. R. Avaliação do Desempenho Agronômico de Diferentes Cultivares de Soja (*Glycine max (L.) Merrill*) Com Uso de Bioestimulantes e Herbicida Hormonal. *PesquisAgro*, v. 3, n. 1, p. 4-23, 2020.

KRAWCZUK, A. et al. The technical parameters of seaweed biostimulant spray application as a factor in the economic viability of soybean production. *Applied Sciences*, v. 13, n. 2, p. 1051, 2023.

KUMARAVELU, G. et al, Triacontanol induced changes in the growth, photosynthetic pigments, cell metabolites, flowering and yield of green gram. *Biologia Plant.* 43 (2): 287 - 290. 2000.

RYMUZA, K.; RADZKA, E.; CAŁA, J. The effect of applied biostimulants on the yielding of three non-genetically modified soybean cultivars. *Agriculture*, v. 13, n. 4, p. 900, 2023.

LACERDA, M. P. Caracterização fisiológica de plântulas de soja submetidas a diferentes tratamentos químicos. 2014. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2014.

LI, J.; LI, C.; SMITH, S. M. *Hormone Metabolism and Signaling in Plants*. Amsterdam: Elsevier, 2017. p. 1-38.

LIAQAT, S.; SAFFEULLAH, P.; UMAR, S.; SIDDIQI, T. O. The molecular mechanism of brassinosteroides in mediating the abiotic stress responses of plants. In: AFTAB, T.; HAKEEM, K. R. (Org.). *Frontiers in Plant-Soil Interaction: Molecular Insights into Plant Adaptation*. 1. ed. Amsterdam: Elsevier, 2021. p. 547-566.

LIMA, A. R. C. A tecnologia dos bioestimulantes sobre os indicadores de produtividade, qualidade industrial e química de grãos de aveia. 2017. 53p. Trabalho de Conclusão de Curso- Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2017.

LOAKE, G. J.; AYYAR, P.; HOWAT, S. Jasmonates. In: THOMAS, B.; MURPHY, D. J.; MURRAY, B. G. (Org.). *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*. 2. ed. Oxfordshire: Academic Press, 2017. p. 430-436.

LONG, E. The importance of biostimulants in turfgrass management. Set. 2021. Disponível em: <http://www.golfenviro.com/Article%20Archive/Biostimulants-Roots.htm>. Acesso em 20 de agosto de 2023.

MACHADO, R. P. Aplicação de diferentes promotores de crescimento em Mirindiba (*Lafoensia glyptocarpa* Koehne): avaliação do desenvolvimento das mudas, em fases distintas do ciclo de produção. 2009. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, 2009.

MARENCO, R. A., LOPES, N. F. Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. Viçosa MG: UFV, 451 p., 2005.

MÓGOR, Á. F. et al. Biostimulant properties of cyanobacterial hydrolysate related to polyamines. *Journal of Applied Phycology*, v. 30, n. 1, p. 453-460, 2018.

MONGRAND, S.; HARE, P. D.; CHUA, N. H. Abscisic Acid. In: HENRY, H. L.; NORMAN, A. W. (Org.). *Encyclopedia of Hormones*. 1. ed. Oxfordshire: Academic Press, 2003. p. 1-10.

MOTERLE, L. M.; SANTOS, R. F.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; BARBOSA, M. C. Efeito da aplicação de biorregulador no desempenho agronômico e produtividade da soja. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 30, p. 701-709, 2008.

MUROFUSHI, N.; YAMANE, H.; SAKAGAMI, Y.; IMASEKI, H.; KAMIYA, Y.; IWAMURA, H.; HIRAI, N.; TSUJI, H.; YOKOTA, T.; UEDA, J. *Plant Hormones*. In: BARTON, S. D.; NAKANISHI, K.; METH-COHN, O. (Org.). *Comprehensive Natural Products Chemistry*. Oxford: Pergamon, 1999. p. 19-136.

NAHAKPAM, S.; SHAH, K.; KUNDU, M.; HEIKHAM, R. S. Rose of phytohormones as master regulators during the abiotic stress. In: RAI, A. C.; RAI, A.; RAI, K. K.; RAI, V. P.; KUMAR, A. (Org.). *Stress Tolerance in Horticultural Crops: Challenges and Mitigation Strategies*. 1. ed. Sawston: Woodhead Publishing, 2021. p. 347-369.

NAMBARA, E. Abscisic Acid. In: THOMAS, B.; MURPHY, D. J.; MURRAY, B. G. (Org.). *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*. 2. ed. Oxfordshire: Academic Press, 2017. p. 361-366.

NAPIER, R. M. Regulators of growth: Auxins. In: THOMAS, B.; MURPHY, D. J.; MURRAY, B. G. (Org.). Encyclopedia of Applied Plant Sciences. 2. ed. Oxfordshire: Academic Press, 2017. p. 985-995.

OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; ALVES, R. C.; LIMA, L. A.; SANTOS, S. T.; RÉGIS, L. R. L. Produção de feijão caupi em função da salinidade e regulador de crescimento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 11, p. 1049-1056, 2015.

OLIVEIRA, I. C.; REGO, C. H. Q.; CARDOSO, F. B.; ZUFFO, A. M.; CÂNDIDO, A. C. S.; ALVES, C. Z. Root protrusion in quality evaluation of chia seeds. *Revista Caatinga*, v. 32, n. 1, p. 282 – 287, 2019.

OLIVEIRA, L. M. et al. Influence of foliar applications on the fiber and mineral content in soybeans. *Agricultural Sciences*, v. 7, n. 4, p. 245-252, 2016.

OLIVEIRA, S.; LEMES, E. S.; NEVES, E. H.; RITTER, R.; MENDONÇA, A. O.; MENEGHELLO, G. E. Uso de biorregulador e seus reflexos na produção e na qualidade de sementes de trigo. *Scientia Plena*, v. 16, n. 1, p. 1-11, 2020.

OLIVEIRA, V. R. de. Tratamento industrial de sementes: quantificação do ingrediente ativo em lotes de milho doce. 2016. 63f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.

PATRIGNANI, A.; OCHSNER, T.E. Canopeo: A Powerful New Tool for Measuring Fractional Green Canopy Cover. *Agronomy Journal*, 107: 2312-2320, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj15.0150>. Acesso em: 15 de ago. 2024.

PETROZZA, A. et al. Physiological responses to Megafol® treatments in tomato plants under drought stress: A phenomic and molecular approach. *Scientia Horticulturae*, v. 174, p. 185-192, 2014.

PHILLIPS, D. V. Performance of foliar fungicide on soybeans in Georgia. *Plant Disease*, v. 68, n. 7, p. 558-560, 1984. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PD-69-558>.

PIMENTEL, C. Metabolismo de carbono na agricultura tropical. Seropédica: Edur, 1998. 150 p.

RAMOS JUNIOR, E.U.; LEMOS, L.B.; SILVA, T.R.B. Componentes da produção, produtividade de grãos e características tecnológicas de cultivares de feijão. *Bragantia*, v.64, n.1, p.75-82, 2005.

REPKE, R. A. et al. Increased soybean tolerance to high temperature through biostimulant based on *Ascophyllum nodosum* (L.) seaweed extract. *Journal of Applied Phycology*, v. 34, n. 6, p. 3205-3218, 2022.

ROCHA, R. R. Produtividade da soja x aplicação de bioestimulantes. Campo e Negócio Online. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/produtividade-da-soja-x-aplicacao-de-bioestimulantes/>. Acesso em: 20 jul. 2024.

ROSA, V. R. Ação de bioestimulantes na mitigação do estresse por deficiência hídrica em soja. 2020. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2020.

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Synergistic biostimulatory action: Designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 2018, v.9, 2018.

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Toward a sustainable agriculture through plant biostimulants: From experimental data to practical applications. *Agronomy*, v. 10, n. 10, p. 1461, 2020.

RUSSO, R.O.; BERLYN, G.P. The use of organic biostimulants to help low input sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*, New York, v.1, n.2, p. 19-42, 1992.

SAMBATTI, V. C.; GOMES, H. L. L.; DELAZEN, G. Technical and economic viability of biostimulant applied in post-emergence of common bean. *Agrarian*, v. 13, n. 50, p. 536-547, 2020.

SANTINI, J. K. et al. Viabilidade técnico-econômica do uso de bioestimulantes em semente de soja. 2015.

SANTOS, D. M.; ROCHA, F. F.; OLIVEIRA, J. A. Impacto de bioreguladores na produtividade da soja. *Journal of Agricultural Science*, v. 78, n. 2, p. 90-98, 2021.

SANTOS, G. B. et al. Environmental factors affecting soybean growth and productivity: A case study. *Field Crops Research*, v. 250, p. 107787, 2020.

SEIXAS, C.D.S., NEUMAIER N., BALBINOT JUNIOR, A. A., KRZYZANOVSKI, F. C., LEITE, R. M. V. B. (editores técnicos). *Tecnologias de Produção de Soja*. Embrapa Soja, Londrina, 347 p., 2020.

SCHMÜLLING, T. Cytokinin. In: LENNARZ, W. J.; LANE, M. D. (Org.). *Encyclopedia of Biological Chemistry*. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2013. p. 627-631.

SHAMSI, I. H.; SAGONDA, T.; ZHANG, X.; ZVOBGO, G.; JOAN, H. I. The Role of Growth Regulators in Senescence. In: SARWAT, M.; TUTEJA, N. (Org.). *Senescence Signaling and Control in Plants*. 1. ed. Amsterdam: Elsevier, 2019. p. 99-110.

SHARMA, H. S. S. et al. Plant biostimulants: a review of the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. *Journal of applied phycology*, v. 26, p. 465-490, 2014.

SILVA, R. F. et al. Biostimulants and their effects on nutrient absorption in soybean plants. *Agronomy Journal*, v. 111, n. 5, p. 1355-1363, 2019.

SILVA, T. C. et al. Desempenho agronômico da soja em resposta ao tratamento da semente com bioestimulantes. Trends in Agricultural and Environmental Sciences, p. e240005-e240005, 2024.

SNIFEN, C. J.; O'CONNOR, J. D.; VAN SOEST, P. J. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. II. Carbohydrate and protein availability. Journal of Science, v. 70, p. 3562-3577, 1992.

SOARES, J. N. Caracterização fisiológica e responsividade de grupos de maturação da cultura da soja submetida a aplicação de bioestimulante. 2017. 94p. Dissertação de Mestrado - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP, Piracicaba, 2017.

SOUZA, C. R. et al. Impact of nitrogen fertilization on the architecture and yield of soybean. Brazilian Journal of Crop Science, v. 22, n. 3, p. 132-140, 2018.

SOUZA, E. M.; ALVES, E. U.; SILVA, M. L. M.; ARAÚJO, L. R.; NETA, M. M. S. S. Substrate moisture and temperature in Cajanus cajan (L.) Millspaugh germination. Semina: Ciências Agrárias, v. 38, n. 4, suplemento 1, p. 2375-2386, 2017.

SZPARAGA, A. et al. Modification of growth, yield, and the nutraceutical and antioxidative potential of soybean through the use of synthetic biostimulants. Frontiers in Plant Science, v. 9, p. 1401, 2018.

SPONSEL, V. M. Gibberellins. In: HENRY, H. L.; NORMAN, A. W. (Org.). Encyclopedia of Hormones. 1. ed. Oxfordshire: Academic Press, 2003. p. 29-40.

SRIVASTAVA, L. M. Plant Growth and Development: Hormones and Environment. 1. ed. San Diego: Academic Press, 2002. p. 772.

TAIZ, L. ZEIGLER, E. Fisiologia Vegetal. (5. ed.) Artmed, 819 p., 2013.

TAIZ, L.; ZEIGLER, E.; MOLLEE, I.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. (6ed.) Artmed, 2017.

THIENGO, C. C.; SANTANA, P. H. L.; BURAK, D. L.; OLIVEIRA, D. M.; GUIDINELLE, R. B. Resposta do capim-marandu e milheto em rejeito de mineração à aplicação de bioestimulantes vegetais. Magistra, v. 31, p. 465-478, 2020.

TORRES, M. F. O. et al. Curva de embebição e viabilidade de sementes de Sapindus saponaria L. Global Science and Technology, v. 13, n. 1, 2020.

VASCONCELOS, M. C. et al. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de Moringa oleifera por diferentes metodologias. Agropecuária científica no semiárido, v.14, n.4, p.311-317, 2019.

VENDRUSCOLO, E. P. et al. Development and quality of Sweet maize inoculated with diazotrophic bacteria and treated thiamine. Revista de Agricultura Neotropical, v. 5, n. 4, p. 45-51, 2018.

VEIGA, F. L. et al. Avaliação dos teores foliares de clorofila, com o uso do SPAD-502, em função de cultivares e de regulador de crescimento em algodoeiro. In: Congresso brasileiro do algodão. Sustentabilidade da cotonicultura Brasileira e Expansão dos Mercados. 2009. p. 1186-1190.

VIEIRA, E. L.; CASTRO, P. R. C. Ação de bioestimulantes na germinação de sementes, vigor das plântulas, crescimento radicular e produtividade de soja. Revista Brasileira de Sementes, v. 23, n. 2, p. 222-228, 2001.

VIEIRA, E.L. Ação de bioestimulante na germinação de sementes, vigor de plântulas, crescimento radicular e produtividade de soja (*Glycine Max. (L) Merrill*), feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*) e arroz (*Oryza sativa L.*). 2001. 122p. Tese (Doutorado em Agronomia, na área de Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

WADAS, W.; DZIUGIEL, T. Changes in assimilation area and chlorophyll content of very early potato (*Solanum tuberosum L.*) cultivars as influenced by biostimulants. Agronomy, v. 10, n. 3, p. 387, 2020.

YANG, X. et al. Response Mechanism of Plants to Drought Stress. Horticulturae, v. 7, n. 50, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/horticulturae7030050>.

ZHANG, X.; ERVIN, E.; SCHMIDT, R.E. Plant growth can enhance the recovery of Kentucky bluegrass sod from heat injury. Crop Science, Madison, v. 43, p. 952-956, 2003.

ZILIO, M. et al. Effects of micronutrient fertilizers on the nutritional composition of soybean. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, v. 180, n. 2, p. 210-218, 2017.

ZUCATTI, J.; BATALHON, L.; HAHN, L. Aplicação via fertirrigação e foliar de bioestimulantes na produção de tomate cultivado a campo. Encyclopédia Biosfera, v. 17, n. 33, 2020.