

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO -  
CAMPUS RIO VERDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA

BIOESTIMULANTE À BASE DE *Ascophyllum nodosum* NA ATENUAÇÃO DE  
INJÚRIAS CAUSADAS POR HERBICIDAS EM SORGO E SOJA

Autor: Gabriel Bressiani Melo  
Orientador: Prof. Dr. Alessandro Guerra da Silva  
Coorientador: Prof. Dr. Alan Carlos Costas

Rio Verde - GO  
Junho – 2022

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO -  
CAMPUS RIO VERDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA

BIOESTIMULANTE À BASE DE *Ascophyllum nodosum* NA ATENUAÇÃO DE  
INJÚRIAS CAUSADAS POR HERBICIDAS EM SORGO E SOJA

Autor: Gabriel Bressiani Melo  
Orientador: Prof. Dr. Alessandro Guerra da Silva

Tese apresentada como parte das exigências para obtenção do título de DOUTOR EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de Concentração Produção Vegetal Sustentável do Cerrado.

Rio Verde - GO  
Junho - 2022

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

MM528b Melo, Gabriel Bressiani  
BIOESTIMULANTE À BASE DE *Ascophyllum nodosum* NA  
ATENUAÇÃO DE INJÚRIAS CAUSADAS POR HERBICIDAS EM  
SORGO E SOJA / Gabriel Bressiani Melo; orientador  
Alessandro Guerra da Silva; co-orientador Alan  
Carlos da Costa. -- Rio Verde, 2022.  
100 p.

Tese (Doutorado em Doutorado em ciências agrárias  
- Agronomia) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio  
Verde, 2022.

1. *Ascophyllum nodosum*. 2. estresse abiótico. 3.  
estresse oxidativo. 4. *Glycine max* L. 5. *Sorghum*  
*bicolor*. I. Guerra da Silva, Alessandro, orient. II.  
Carlos da Costa, Alan, co-orient. III. Título.

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

### IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- |  |   |
|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico              |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado)      | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação)             | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Gabriel Bressiani Melo

Matrícula:

2018202320140035

Título do trabalho:

**BIOESTIMULANTE À BASE DE *Ascophyllum nodosum* NA ATENUAÇÃO DE INJÚRIAS CAUSADAS POR HERBICIDAS EM SORGO E SOJA**

### RESTRICÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIIF Goiano: 29 /07 /2022

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

### DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:


- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde

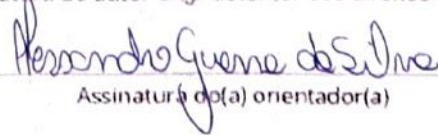
27 /07 /2022

Local

Data

  
Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

  
Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 46/2022 - NREPG-RV/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

## **ATA Nº/91 BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE TESE**

Aos vinte e sete dias do mês de junho do ano de dois mil e vinte e dois, às 09:00h (nove horas), reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: Prof. Dr. Alessandro Guerra da Silva (Orientador), Alan Carlos da Costa (Avaliador interno); Prof. Dr. Guilherme Braga Pereira Braz (Avaliador externo); Prof. Dr. Paulo Eduardo Menezes Silva (Avaliador interno); e Prof. Dr. Itamar Rosa Teixeira (Avaliador externo) sob a presidência do(a) primeiro(a), em sessão pública realizada por vídeo conferência do IF Goiano – Campus Rio Verde, para procederem a avaliação da defesa de Tese, em nível de Doutorado, de autoria de **GABRIEL BRESSIANI MELO**, discente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo(a) presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Alessandro Guerra da Silva, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida o(a) autor (a) da Tese para, em 40 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o(a) examinado(a), tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, e procedidas às correções recomendadas, a Tese foi **APROVADA**, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **DOCTOR(a) EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS-AGRONOMIA**, na área de concentração Produção Vegetal Sustentável no Cerrado, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGCA-AGRO da versão definitiva da Tese, com as devidas correções. Assim sendo, esta ata perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60** (sessenta) dias da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Tese em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Tese de Doutorado, e para constar, eu, Vanilda Maria Campos, secretária do PPGCA-AGRO, lavrei a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Prof. Dr. Alessandro Guerra da Silva (Presidente)

Prof. Dr. Alan Carlos da Costa (Avaliador interno)

Prof. Dr. Guilherme Braga Pereira Braz (Avaliador externo)

Prof. Dr. Paulo Eduardo Menezes Silva (Avaliador interno)

Prof. Dr. Itamar Rosa Teixeira (Avaliador externo)

Documento assinado eletronicamente por:

- **Paulo Eduardo de Menezes Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 28/06/2022 14:38:18.
- **Alan Carlos da Costa, PRO-REITOR - CD2 - PROPPI-REI**, em 28/06/2022 09:16:33.
- **Guilherme Braga Pereira Braz, Guilherme Braga Pereira Braz - Professor Avaliador de Banca - Universidade de Rio Verde (01815216000178)**, em 27/06/2022 16:40:50.
- **Itamar Rosa Teixeira, Itamar Rosa Teixeira - Professor Avaliador de Banca - Ueg (01112580000171)**, em 27/06/2022 16:27:30.
- **Alessandro Guerra da Silva, Alessandro Guerra da Silva - 203405 - Pesquisador das ciências agrárias - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (10651417000500)**, em 27/06/2022 15:50:24.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 24/06/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 402015

Código de Autenticação: 608e439112



INSTITUTO FEDERAL GOIANO  
Campus Rio Verde  
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970  
(64) 3620-5600

Ao meu amor Luana Fernandes dos Santos;  
Ao meu orientador Alessandro Guerra da Silva;  
À minha avó Inês Sierra Bressiani e ao meu avô José Bressiani  
Zuil Campos Melo (*in memoriam*)

**OFEREÇO**

A Deus Pai, todo poderoso, criador do céu e da Terra;  
À minha mãe Ângela Claudia Sierra Bressiani Melo.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me proteger e ter me dado forças e persistência para chegar até aqui.

À minha querida mãe, o maior exemplo de ser humano que conheci. Dá seu sangue e suor por sua família, tudo que conquistei até hoje se deve a esta mulher e é ela meu maior orgulho na vida.

À minha amada Luana Fernandes dos Santos, que esteve sempre do meu lado, apoiando e incentivando na busca de minhas conquistas, dedicando seu tempo e atenção para que meus sonhos fossem alcançados e a elaboração deste trabalho fosse possibilitada.

Aos meus irmãos e avós, que sempre me apoiaram e incentivaram meus projetos de vida, dando conforto, alento e muitos momentos felizes, em quem sempre busquei minhas forças e inspirações para seguir em frente.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Alessandro Guerra da Silva, por todos os ensinamentos passados no âmbito profissional e pessoal, estimulando meu crescimento e amadurecimento.

Ao meu ex-professor e atual coorientador, Prof. Dr. Alan Carlos Costa, pelos ensinamentos e apoio durante todo o tempo de pós-graduação, que serviu como segunda opinião em diversos momentos de condução do meu trabalho.

Ao meu braço direito na condução dos experimentos, Dr. Adinan Alves Silva, pelos conselhos, dicas, apoio, correções e ajuda em todas as etapas do desenvolvimento deste trabalho.

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano Campus Rio Verde, pela oportunidade de cursar o doutorado em Ciências Agrárias – Agronomia, onde pude aprender coisas maravilhosas, com professores incríveis.

À Universidade de Rio Verde – UniRV, pela enorme parceria na condução dos trabalhos, cedendo estrutura, materiais, mão de obra e recursos em todas as etapas de elaboração do projeto.

Ao produtor rural Oscar Durigan e funcionários da fazenda Pindaíbas, por todo apoio na condução dos experimentos na propriedade.

E também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES),



pela disponibilização de bolsas de apoio financeiro.

## BIOGRAFIA DO AUTOR

Gabriel Bressiani Melo, nascido em Brasília-DF em 27 de novembro de 1994. Concluiu o ensino médio no Colégio Estadual Felismina Cardoso Batista, na cidade de Campos Belos-GO. Graduado como Bacharel em Agronomia no ano de 2015, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde. Foi aluno de iniciação científica nos laboratórios de física do solo por um ano (2013/2014), forragicultura e pastagem por seis meses (2014) e fitotecnia por um ano (2014/2015). Em agosto de 2016, ingressou na pós-graduação *Stricto Sensu*, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, no mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, desenvolvendo projeto na linha de pesquisa “Tecnologias sustentáveis em sistemas de produção e uso do solo e água”. Recebeu o título de mestre em agosto de 2018. Em setembro do mesmo ano, ingressou no doutorado do programa de pós-graduação supracitado. Em junho de 2022, defendeu sua tese.

## ÍNDICE GERAL

	Página
ÍNDICE DE TABELAS .....	12
ÍNDICE DE FIGURAS .....	15
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	19
RESUMO GERAL.....	22
GENERAL ABSTRACT .....	24
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	3
OBJETIVOS.....	5
APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTE À BASE DE <i>Ascophyllum nodosum</i> É CAPAZ DE ATENUAR A INTOXICAÇÃO CAUSADA POR TEMBOTRIONE EM PLANTAS DE SORGO? .....	6
1. INTRODUÇÃO .....	8
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	9
2.1. Condições de condução experimental.....	9
Avaliação das trocas gasosas e da fluorescência da clorofila <i>a</i> . 10	
1.1. 10	
1.2. Avaliação do estresse oxidativo.....	11
1.3. Determinação da concentração de pigmentos do cloroplasto....	11
1.4. Avaliações morfológicas.....	11
1.5. Avaliações agronômicas .....	12
1.6. Análises estatísticas .....	12
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	12
4. CONCLUSÕES .....	19
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	20
6. MATERIAL SUPLEMENTAR.....	23
APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTE À BASE DE <i>Ascophyllum nodosum</i> É CAPAZ DE REDUZIR A INTOXICAÇÃO CAUSADA POR LACTOFEN EM PLANTAS DE SOJA? .....	25
1. INTRODUÇÃO .....	27
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	28
2.1 Condições de condução experimental.....	28
2.2 Avaliação das trocas gasosas e da fluorescência da clorofila <i>a</i> . 29	

2.3	Avaliação do estresse oxidativo.....	29
2.4	Determinação da concentração de pigmentos do cloroplasto....	30
2.5	Avaliações morfológicas.....	30
2.6	Avaliações agronômicas .....	31
2.7	Análises estatísticas .....	31
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.	CONCLUSÕES .....	38
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	38
6.	MATERIAL SUPLEMENTAR.....	46
	APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTE À BASE DE <i>Ascophyllum nodosum</i> É CAPAZ DE ATENUAR AS INJÚRIAS CAUSADAS POR LACTOFEN NA SOJA?.....	48
1.	INTRODUÇÃO.....	50
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	51
2.1	Condições de condução experimental.....	51
2.2	Avaliações.....	53
2.3	Análises estatísticas .....	54
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
3.1	Safra 2017/18.....	54
3.2	Safra 2018/19.....	66
4.	CONCLUSÕES .....	72
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	73
	MATERIAL SUPLEMENTAR.....	77
6.	.....	77
	CONCLUSÃO GERAL.....	78

## ÍNDICE DE TABELAS

Página

**CAPÍTULO I – APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTE À BASE DE *Ascophyllum nodosum* É CAPAZ DE ATENUAR A INTOXICAÇÃO CAUSADA POR TEMBOTRIONE EM PLANTAS DE SORGO?**

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância da fotossíntese ( $A$ ), transpiração ( $E$ ), eficiência no uso da água ( $A E^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), eficiência de carboxilação ( $A C_i^{-1}$ ), razão entre concentração interna e externa de  $CO_2$  ( $C_i C_a^{-1}$ ), fluorescência ( $F_v F_m^{-1}$ ), rendimento quântico efetivo do fotossistema II ( $\Phi PSII$ ), taxa de transporte de elétrons (ETR) e quenching não fotoquímico (NPQ) de plantas de sorgo submetidas à aplicação de bioestimulante de extrato de algas em distintas épocas em função do herbicida tembotrione.....23

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância da atividade das enzimas ascorbato peroxidase (Apx), superóxido dismutase (Sod), catalase (Cat), peroxidase (Pox), conteúdo de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), da taxa de extravasamento de eletrólitos (TLE), concentração de malonaldeído (Mda), teor de clorofila  $a$  (Cla),  $b$  (Clb) e total (CIT), razão entre clorofila  $a$  e  $b$  ( $Cla Clb^{-1}$ ) e teor de carotenoides (Car) de plantas de sorgo submetidas à aplicação de bioestimulante de extrato de algas em distintas épocas em função do herbicida tembotrione.....23

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância da altura de plantas (AP), número de folhas (NF) e grãos (NG), massa seca das folhas (MSF), do colmo (MSC) e das raízes (MSR), área foliar (IAF), grau de fitointoxicação (GF), massa de cem grãos (MMG) e produção de grãos (PROD) de plantas de sorgo submetidas à aplicação de bioestimulante de extrato de algas em distintas épocas em função do herbicida tembotrione.....25

## CAPÍTULO II – APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTE À BASE DE *Ascophyllum nodosum* É CAPAZ DE REDUZIR A INTOXICAÇÃO CAUSADA POR LACTOFEN EM PLANTAS DE SOJA?

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância da fotossíntese ( $A$ ), transpiração ( $E$ ), eficiência no uso da água ( $A E^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), eficiência de carboxilação ( $A C_i^{-1}$ ), razão entre concentração interna e externa de  $CO_2$  ( $C_i C_a^{-1}$ ), fluorescência ( $F_v F_m^{-1}$ ), rendimento quântico efetivo do fotossistema II ( $\Phi_{PSII}$ ), taxa de transporte de elétrons (ETR) e quenching não fotoquímico (NPQ) de plantas de soja submetidas à aplicação de bioestimulante de extrato de algas em distintas épocas em função do herbicida lactofen.....43

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância da atividade das enzimas superóxido dismutase (Sod), catalase (Cat), peroxidase (Pox) e ascorbato peroxidase (Apx), conteúdo de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), da taxa de extravasamento de eletrólitos (TLE), concentração de malonaldeído (Mda), teor de clorofila  $a$  (Cla),  $b$  (Clb) e total (CIT), razão entre clorofila  $a$  e  $b$  ( $Cla Clb^{-1}$ ) e teor de carotenoides (Car) de plantas de soja submetidas à aplicação de bioestimulante de extrato de algas em distintas épocas em função do herbicida lactofen.....43

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância da altura de plantas (AP), número de trifólios (NT), ramos (NR) e nós (NN), massa seca das folhas (MSF), do colmo (MSC) e das raízes (MSR), área foliar (IAF), grau de fitointoxicação (GF), altura da primeira vagem (APV), número de vagens (NV), massa de cem grãos (MCG), número de grãos (NG) e produção de grãos (PROD) de plantas de soja submetidas à aplicação de bioestimulante de extrato de algas em distintas épocas em função do herbicida lactofen.....44

## CAPÍTULO III – APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTE À BASE DE *Ascophyllum nodosum* É CAPAZ DE ATENUAR AS INJÚRIAS CAUSADAS POR LACTOFEN NA SOJA?

**Tabela 1.** Valores da altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem e número de ramificações em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-

GO,	safra
2017/18.....	52

**Tabela 2.** Valores do número de vagens nas hastes principal, secundárias e total em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2017/18.....56

**Tabela 3.** Valores do número de grãos por planta, massa de mil grãos e produtividade de grãos em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO,

safra
2017/18.....
60

**Tabela 4.** Valores de altura de plantas, número de vagens na haste principal, número de grãos por planta e produtividade de grãos em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO,

safra
2018/19.....
64

**Tabela 5.** Resumo da análise de variância de alturas de plantas (AP) e de inserção da primeira vagem (AIV), população (POP), número de ramificações (RAM), número de vagens na haste principal (VP), secundárias (VS) e total (VT), número de grãos por planta (NG), massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PROD) em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2017/18.....74

**Tabela 6.** Resumo da análise de variância de alturas de plantas (AP) e de inserção da primeira vagem (AIV), população (POP), número de ramificações (RAM), número de vagens na haste principal (VP), secundárias (VS) e total (VT), número de grãos por planta (NG), massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PROD) em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2018/19.....74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Página

**CAPÍTULO I – APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTE À BASE DE *Ascophyllum nodosum* É CAPAZ DE ATENUAR A INTOXICAÇÃO CAUSADA POR TEMBOTRIONE EM PLANTAS DE SORGO?**

**Figura 1.** Fotossíntese (A), condutância estomática (B), transpiração (C), eficiência no uso da água (D), razão entre concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (E) e eficiência de carboxilação (F) de plantas de sorgo submetidas à aplicação de bioestimulante de extrato de algas em distintas épocas em função do herbicida tembotrione.....13

**Figura 2.** Fluorescência (A), quenching não fotoquímico (B), rendimento quântico efetivo do fotossistema II (C) e taxa de transporte de elétrons (D) de plantas de sorgo submetidas à aplicação de bioestimulante de extrato de algas em distintas épocas em função do herbicida tembotrione.....15

**Figura 3.** Teor de carotenoides (A), conteúdo de peróxido de hidrogênio (B), atividade da enzima catalase (C), peroxidase (D), taxa de extravasamento de eletrólitos (E) e atividade da enzima ascorbato peroxidase (F) de plantas de sorgo submetidas à aplicação de bioestimulante de extrato de algas em distintas épocas em função do herbicida tembotrione.....16

**Figura 4.** Fitointoxicação (A), área foliar (B), altura de plantas (C), massa de cem grãos (D), número de grãos (E) e produção de grãos (F) de plantas de sorgo submetidas à aplicação de bioestimulante de extrato de algas em distintas épocas em função do herbicida tembotrione.....18

**CAPÍTULO II – APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTE À BASE DE *Ascophyllum nodosum* É CAPAZ DE REDUZIR A INTOXICAÇÃO CAUSADA POR LACTOFEN EM PLANTAS DE SOJA?**



<b>Figura 1.</b> Atividade da enzima ascorbato peroxidase (A), conteúdo de peróxido de hidrogênio (B), teor de clorofila <i>a</i> (C), <i>b</i> (D), total (E) e razão entre clorofila <i>a</i> e <i>b</i> (F) de plantas de soja submetidas à aplicação de bioestimulante de extrato de algas em distintas épocas em função do herbicida lactofen.....	33
<b>Figura 2.</b> Fotossíntese (A), transpiração (B), eficiência no uso da água (C), condutância estomática (D), razão entre concentração interna e externa de CO <sub>2</sub> (E) e eficiência de carboxilação (F) de plantas de soja submetidas à aplicação de bioestimulante de extrato de algas em distintas épocas em função do herbicida lactofen.....	34
<b>Figura 3.</b> Grau de fitointoxicação (A), área foliar (B), número de ramos (C) e vagens (D), massa de cem grãos (E) e produção de grãos (F) de plantas de soja submetidas à aplicação de bioestimulante de extrato de algas em distintas épocas em função do herbicida lactofen.....	36

### **CAPÍTULO III – APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTE À BASE DE *Ascophyllum nodosum* É CAPAZ DE ATENUAR AS INJÚRIAS CAUSADAS POR LACTOFEN NA SOJA?**

<b>Figura 1.</b> Valores médios de precipitação (mm) e de temperatura média do ar (°C) durante a condução do experimento de aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safras 2017/18 e 2018/19.....	48
<b>Figura 2.</b> Regressão polinomial da altura de plantas em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2017/18. DAA: dias após aplicação de lactofen.....	53
<b>Figura 3.</b> Regressão polinomial da altura de inserção da primeira vagem em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2017/18. DAA: dias após aplicação de lactofen.....	55

- Figura 4.** Regressão polinomial do número de ramificações em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2017/18. DAA: dias após aplicação de lactofen.....55
- Figura 5.** Regressão polinomial do número de vagens na haste principal em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2017/18.....57
- Figura 6.** Regressão polinomial do número de vagens total em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2017/18.....58
- Figura 7.** Regressão polinomial do número de grãos por planta em função das doses do bioestimulante do ensaio de recuperação de produtividade de plantas de soja intoxicadas. Montividiu-GO, safra 2017/18.....58
- Figura 8.** Regressão polinomial da massa de mil grãos em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2017/18. DAA: dias após aplicação de lactofen.....59
- Figura 9.** Regressão polinomial da produtividade de grãos em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2017/18.....61
- Figura 10.** Valores da rentabilidade em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2017/18.....62
- Figura 11.** Regressão polinomial da altura de plantas em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2018/19.....65

- Figura 12.** Regressão polinomial da altura de inserção da primeira vagem em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2018/19.....66
- Figura 13.** Regressão polinomial do número de vagens na haste principal em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2018/19.....66
- Figura 14.** Regressão polinomial do número de vagens total em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2018/19.....67
- Figura 15.** Regressão polinomial do número de grãos por planta em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2018/19.....68
- Figura 16.** Regressão polinomial da produtividade de grãos em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2018/19.....68
- Figura 17.** Valores da rentabilidade em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2017/18. DAA: dias após aplicação de lactofen.....69

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo / Sigla	Significado	Unidade de Medida
%	porcentagem	-
'	minutos	-
®	marca registrada	-
$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	micromol de dióxido de carbono por metro quadrado por segundo	-
$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	micromol de dióxido de carbono por metro quadrado por segundo por milimol de água por metro quadrado por segundo	-
$\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	micromol de água por metro quadrado por segundo	-
$\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	micromol por metro por segundo	-
$\mu\text{mol}^{-1} \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ proteína}$	micromol por minuto por miligrama de proteína	-
A	fotossintética líquida	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
A/C <sub>i</sub>	eficiência de carboxilação	-
A/E	eficiência instantânea do uso da água	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Al	alumínio	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
AP	altura de plantas	cm
APV	inserção da primeira vagem	cm
Apx	ascorbato peroxidase	$\mu\text{mol}^{-1} \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ proteína
Ca	cálcio	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
CaCl <sub>2</sub>	cloreto de cálcio	-
CaCO <sub>3</sub>	carbonato de cálcio	-
Car	conteúdo de carotenoides	$\text{mg g}^{-1}$
Cat	catalase	$\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1}$ $\text{mg}^{-1} \text{ proteína}$
C <sub>i</sub> /C <sub>a</sub>	razão entre a concentração interna e externa de CO <sub>2</sub>	-
Cl <sub>a</sub>	clorofila <i>a</i>	$\text{mg g}^{-1}$
Cl <sub>a</sub> /Cl <sub>b</sub>	razão entre clorofila <i>a</i> e <i>b</i>	-
Cl <sub>b</sub>	clorofila <i>b</i>	$\text{mg g}^{-1}$
CIT	clorofila total	$\text{mg g}^{-1}$
cm	centímetros	-
cm <sup>2</sup>	centímetro quadrado	-
$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	centimol de carga por decímetro cúbico	-
CO <sub>2</sub>	dióxido de carbono	$\mu\text{mol}$
C <sub>org</sub>	carbono orgânico	%
CTC	capacidade de troca catiônica	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
DAA	dias após aplicação	-
DAE	dias após a emergência	-

<i>E</i>	taxa transpiratória	$\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
EROs	espécies reativas de oxigênio	-
et al.	e colaboradores	-
ETR	taxa aparente de transporte de elétrons	-
EWRC	European Weed Research Council	-
$F_v/F_m$	fluorescência	-
g	gramas	-
$\text{g dm}^{-3}$	grama por decímetro cúbico	-
$\text{g kg}^{-1}$	grama por quilo	-
GF	grau de fitointoxicação	-
$g_s$	condutância estomática de vapor d'água	$\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
h	horas	-
H + Al	hidrogênio + alumínio	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
$\text{H}_2\text{O}$	água	mmol
$\text{H}_2\text{O}_2$	peróxido de hidrogênio	$\text{nmol g}^{-1}$
ha	hectare	-
IAF	área foliar	$\text{cm}^2$
IRGA	analisador de gases por infravermelho	-
K	potássio	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
$\text{K}_2\text{O}$	óxido de potássio	%
kg	quilograma	-
$\text{kg ha}^{-1}$	quilogramas por hectare	-
$\text{kgf cm}^{-2}$	quilograma-força por centímetro quadrado	-
L	litros	-
$\text{L p.c. ha}^{-1}$	litros por hectare	-
m	metros	-
m%	saturação por alumínio	%
M.O.	matéria orgânica	$\text{g dm}^{-3}$
$\text{m}^2$	metros quadrados	-
Mda	concentração de malonaldeído	$\text{nmol g}^{-1}$
Mg	magnésio	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
$\text{mg dm}^{-3}$	miligrama por decímetro cúbico	-
$\text{mg g}^{-1}$	miligrama por grama	-
mL	mililitros	-
mm	milímetros	-
MMG	massa de mil grãos	g
$\text{mmol g}^{-1}$	milimol por grama	-
$\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	milimol de água por metro quadrado por segundo	-
$\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	milimol por metro por segundo	-
MSC	massa seca do colmo	g
MSF	massa seca das folhas	g
MSR	massa seca das raízes	g
N	nitrogênio	%
n.	número	-
NG	número de grãos	-
nm	nanômetros	-
NN	número de nós	-
NPQ	quenching não fotoquímico	-
NR	número de ramos	-

NT	número de trifólios	-
NV	número de vagens	-
O	longitude oeste	-
°	graus	-
°C	graus Célsius	-
P	fósforo	mg dm <sup>-3</sup>
p.	página	-
pH	potencial de hidrogênio	-
POP	população de plantas	-
Pox	peroxidase	μmol <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> mg <sup>-1</sup> proteína
ppm	partes por milhão	-
ΦPSII	rendimento quântico efetivo do fotossistema II	-
PROD	produtividade de grãos	g ou kg ha <sup>-1</sup>
R\$	reais	-
R\$ ha <sup>-1</sup>	reais por hectare	-
RENT	rentabilidade	R\$ ha <sup>-1</sup>
R <sub>x</sub>	estádio reprodutivo	-
S	latitude sul	-
SB	soma de bases	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Sod	superóxido dismutase	min <sup>-1</sup> mg <sup>-1</sup> proteína
TLE	taxa de extravasamento de eletrólitos	-
v%	saturação por bases	%
v.	volume	-
VP	número de vagens na haste principal	-
VS	número de vagens na haste secundária	-
VT	número de vagens total	-
V <sub>x</sub>	estádio vegetativo	-
p.c.	produto comercial	-

## RESUMO GERAL

MELO, GABRIEL BRESSIANI. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, junho de 2022. **Bioestimulante à base de *Ascophyllum nodosum* na atenuação de injúrias causadas por herbicidas em sorgo e soja.** Orientador: Dr. Alessandro Guerra da Silva. Coorientador: Dr. Alan Carlos Costa.

A interferência causada por plantas daninhas nas grandes culturas, somada ao aumento na resistência em decorrência do uso massivo de poucas moléculas herbicidas, torna necessário a ampliação e diversificação dos princípios ativos. Todavia, alguns herbicidas, mesmo sendo seletivos, causam fitointoxicação, como o lactofen na soja e o tembotrione no sorgo. Portanto, são necessárias estratégias para permitir maior adoção desses herbicidas a exemplo do uso de bioestimulantes. Neste sentido, com o objetivo de observar os efeitos da aplicação de um bioestimulante à base de *Ascophyllum nodosum* sobre a diminuição da intoxicação do herbicida lactofen em plantas de soja e do tembotrione em sorgo, foram conduzidos três experimentos. Nos experimentos conduzidos em casa de vegetação com plantas de soja e sorgo, foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, sendo avaliados cinco tratamentos (controle, bioestimulante, herbicida; herbicida + bioestimulante e herbicida + bioestimulante 6 DAA) e quatro repetições. Também foi conduzido em campo um experimento na cultura da soja nas safras 2017/18 e 2018/19, empregando o delineamento de blocos ao acaso, com seis repetições e quatorze tratamentos. Estes tratamentos foram compostos por doses crescentes do bioestimulante (0,33; 0,66 e 0,99 L p.c. ha<sup>-1</sup>), aplicadas em quatro épocas em relação à aplicação do herbicida lactofen (0; 3; 6 e 9 DAA), mais a testemunha sem aplicação do bioestimulante, e um tratamento adicional sem aplicação de lactofen e de bioestimulante. A aplicação do bioestimulante contribuiu para a redução na fitointoxicação, com retenção de pigmentos, proteção do aparato fotossintético e redução do estresse oxidativo. Como resultado, ocorreram menores danos aos tecidos, mantendo a capacidade vegetativa e produtiva das plantas, que se converte em recuperação na lucratividade da cultura. Neste sentido, a aplicação do bioestimulante à base de *A. nodosum* é uma estratégia interessante para aumentar a diversificação de princípios ativos de moléculas herbicidas no controle de plantas daninhas, possibilitando maior adoção do herbicida lactofen na cultura da soja e do tembotrione na cultura do sorgo.

**PAVAVRAS-CHAVE:** *Ascophyllum nodosum*, estresseabiótico, estresse oxidativo,  
*Glycine max* L, lactofen, *Sorghum bicolor*, tembotrione.



## GENERAL ABSTRACT

MELO, GABRIEL BRESSIANI. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, June 2022. **Biostimulant based on *Ascophyllum nodosum* in the attenuation of injuries caused by herbicides in sorghum and soybean** Advisor: Dr. Alessandro Guerra da Silva. Co-advisor: Dr. Alan Carlos Costa.

The interference caused by weeds in large crops added to the increase in resistance due to the massive use of few herbicide molecules, makes it necessary to expand and diversify the active principles. However, some herbicides, even being selective, cause phytotoxicity, such as lactofen in soybean and tembotrione in sorghum. Therefore, strategies are needed to allow greater adoption of these herbicides, such as the use of biostimulants. In this sense, with the objective of observing the effects of the application of a biostimulant based on *Ascophyllum nodosum* on the reduction of intoxication of the herbicide lactofen in soybean plants and of tembotrione in sorghum, three experiments were carried out. In the experiments carried out in a greenhouse with soybean and sorghum plants, a completely randomized design was used, evaluating five treatments (control; biostimulant; herbicide; herbicide + biostimulant; and herbicide + biostimulant 6 DAA) and four replications. An experiment was also carried out in the field in the soybean crop in the 2017/18 and 2018/19 harvests, using a randomized block design with six replications and fourteen treatments. These were composed of increasing doses of the biostimulant (0.33; 0.66 and 0.99 L p.c. ha<sup>-1</sup>) applied at four times in relation to the application of the lactofen herbicide (0; 3; 6 and 9 DAA), plus the control without application of biostimulant and an additional treatment without application of lactofen and biostimulant. The application of the biostimulant contributed to the reduction in phytotoxicity, with pigment retention, protection of the photosynthetic apparatus and reduction of oxidative stress. As a result, less tissue damage occurred, maintaining the vegetative and productive capacity of the plants, which translates into recovery in the profitability of the crop. In this sense, the application of the biostimulant based on *A. nodosum* is an interesting strategy to increase the diversification of active principles of herbicide molecules in the control of weeds, allowing greater adoption of the herbicide lactofen in soybean and tembotrione in soybean. sorghum.

**KEY WORDS:** *Ascophyllum nodosum*, abiotic stress, oxidative stress, *Glycine max* L, lactofen, *Sorghum bicolor*, tembotrione

## INTRODUÇÃO GERAL

A interferência das plantas daninhas pode gerar perdas consideráveis de produtividade, dependendo da cultura, do nível de infestação e do tempo de convivência com a comunidade infestante (Dan et al., 2010). Soma-se a isso o aumento significativo de plantas daninhas resistentes às principais moléculas herbicidas do mercado, dificultando e encarecendo as práticas de controle químico destas culturas (Adegas et al., 2017).

Neste sentido, é primordial o aumento na diversificação de princípios ativos de herbicidas visando a aumentar a eficiência no controle de plantas daninhas e a reduzir a pressão de seleção causada pelo uso massivo e contínuo de determinadas moléculas (Inoue & Oliveira Jr., 2011). Essa estratégia se faz necessária sobretudo em culturas de grande importância econômica, como a soja e o sorgo.

Todavia, algumas moléculas de herbicidas, apesar da eficiência comprovada e potencial para uso, têm limitação na sua adoção em virtude de problemas de fitointoxicação causados à cultura. Como exemplo, têm-se o lactofen utilizado na soja e o tembotrione no sorgo, ambos conhecidos por causarem degradação de pigmentos e danos por estresse oxidativos às culturas (Matringe et al., 1989; Grossmann & Ehrhardt, 2007). Visando a buscar alternativas viáveis para o controle de plantas daninhas, torna-se, portanto, interessante a criação de estratégias para minimizar os problemas de fitointoxicação causados por estes herbicidas a exemplo do *Ascophyllum nodosum*, bioestimulante à base de extrato de algas.

Esta espécie de alga, encontrada nas águas do atlântico norte sob condições extremas de temperatura e agitação das marés (Vadas & Wright, 1986), consegue desenvolver mecanismos para sua sobrevivência, acumulando grande quantidade de compostos orgânicos, como fitormônios, aminoácidos e metabólitos secundários (Lorenzo et al., 2017), tornando seu extrato uma rica fonte natural às plantas (Koyama et al., 2012).

A bioestimulação de culturas por meio do extrato de algas vem sendo feita há bastante tempo (Masny et al., 2004), com efeitos comprovados de aumento do sistema radicular, melhoria na germinação de sementes e estabelecimento das plântulas, melhoria na mobilização, absorção e particionamento de nutrientes, melhoria no enraizamento, crescimento e florescimento de plantas e aumento de produtividade (Sharma et al., 2014).

Além disso, a aplicação de extrato de *A. nodosum* sobre as plantas provoca acréscimo no conteúdo de clorofila foliar e diminui os danos causados por estresse oxidativo (Zhang & Ervin, 2004; Spann & Little, 2011; Petrozza et al., 2014; Xu & Leskova, 2015), apresentando, portanto, grande potencial para amenizar a fitointoxicação causada por tembotrione e lactofen nas culturas do sorgo e da soja, respectivamente. Apesar disso, há grande carência de informações sobre o tema na literatura, fazendo-se necessário o desenvolvimento de trabalhos que explorem o potencial do uso de produtos bioestimulantes à base de *A. nodosum* para reduzir as limitações, ampliando as possibilidades de uso de herbicidas no manejo fitossanitário da soja e do sorgo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DAN, H. A.; BARROSO, A. L. L.; DAN, L. G. M.; PROCÓPIO, S. O.; FERREIRA FILHO, W. C.; MENEZES, C. C. E. Tolerância do sorgo granífero ao herbicida tembotrione. **Planta Daninha**, v. 28, p. 615-620, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000300019>
- ADEGAS, F. S.; VARGAS, L.; GAZZIERO, D. L. P.; KARAM, D.; SILVA, A. F. Impacto econômico da resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil. **Circular Técnica**. Londrina: Embrapa Soja, 11 p., 2017.
- INOUE, M. H.; OLIVEIRA JR, R. S. Resistência de plantas daninhas a herbicidas. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, p. 193-213, 2011.
- MATRINGE, M.; CAMADRO, J. M.; LABBE, P.; SCALLA, R. Protoporphyrinogen oxidase as a molecule target for diphenyl ether herbicides. **Biochemical Journal**, London, v.260, n.1, p.231-235, 1989. <https://doi.org/10.1042/bj2600231>
- GROSSMANN, K.; EHRHARDT, T. On the mechanism of action and selectivity of the corn herbicide topramezone: a new inhibitor of 4- hydroxyphenylpyruvate dioxygenase. **Pest Management Science**, Sussex, v. 63, n. 5, p. 429-439, 2007. <https://doi.org/10.1002/ps.1341>
- KOYAMA, R.; BETTONI, M. M.; RODER, C.; ASSIS, A. M.; ROBERTO, S. F.; MÓGOR, A. F. Extrato da alga *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis no desenvolvimento vegetativo e na produção do tomateiro. **Revista Ciências Agrárias**, v. 55, n. 4, p. 282-287, 2012. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2012.067>
- MASNY, A.; BASAK, A.; ZURAWICZ, E. Effects of foliar application of KELPAK SL and GOEMAR BM 86 preparations on yield and fruit quality in two strawberry cultivars. **Journal of Fruit and Ornamental Plant Research**, v. 12, p. 23-27, 2004.
- SHARMA, H. S. S.; FLEMING, C.; SELBY, C.; RAO, J. R.; MARTIN, T. Plant biostimulants: a review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. **Journal of Applied Phycology**, Dordrecht, v. 26, n. 1, p. 465–490, 2014.
- VADAS, R. L.; WRIGHT W. A. Recruitment, growth and management of *Ascophyllum nodosum*. **Actas II Congresso**. Algas Mar. Chilenas, p. 101-113, 1986.
- PETROZZA, A.; SANTANIELLO, A.; SUMMERER, S.; DITOMMASO, G.; DITOMMASO, D.; PAPARELLI, E. Physiological responses to Megafol<sup>®</sup> treatments in tomato plants under drought stress: a phenomic and molecular approach. **Scientia Horticulturae**, v. 174, p. 185-192, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.023>
- XU, C.; LESKOVAR, D. I. Effects of *A. nodosum* seaweed extracts on spinach growth, physiology and nutrition value under drought stress. **Scientia Horticulturae**, v. 183, p. 39-47, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.12.004>

LORENZO, J. M.; AGREGÁN, R.; MUNEKATA, P. E.; FRANCO, D.; CARBALLO, J.; ŞAHIN, S.; BARBA, F. J. Proximate composition and nutritional value of three macroalgae: *Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus* and *Bifurcaria bifurcata*. **Marine drugs**, v. 15, n. 11, p. 360, 2017. <https://doi.org/10.3390/md15110360>

SPANN, T. M.; LITTLE, H. A. Applications of a commercial extract of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* increases drought tolerance in container-grown 'Hamlin'sweet orange nursery trees. **HortScience**, v. 46, n. 4, p. 577-582, 2011. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.4.577>

ZHANG, X; ERVIN, E. H. Cytokinin-containing seaweed and humic acid extracts associated with creeping bentgrass leaf cytokinins and drought resistance. **Crop science**, v. 44, n. 5, p. 1737-1745, 2004. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.1737>

## OBJETIVOS

### **Geral**

Avaliar a capacidade de redução da fitointoxicação de plantas de sorgo e soja tratadas com herbicidas pela aplicação de um bioestimulante à base de extrato de *Ascophyllum nodosum*.

### **Específicos**

I. Avaliar os efeitos da aplicação do bioestimulante sobre a fisiologia, metabolismo, morfologia e características agronômicas das plantas de sorgo tratadas com o herbicida tembotrione;

II. Avaliar os efeitos da aplicação do bioestimulante sobre a fisiologia, metabolismo, morfologia e características agronômicas da soja tratada com o herbicida lactofen; e

III. Encontrar o posicionamento ideal acerca de doses e épocas de aplicação do bioestimulante para redução dos danos produtivos e econômicos causados pela aplicação do herbicida lactofen em plantas de soja em campo.

## CAPÍTULO 1

APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTE À BASE DE *Ascophyllum nodosum* É CAPAZ DE ATENUAR A INTOXICAÇÃO CAUSADA POR TEMBOTRIONE EM PLANTAS DE SORGO?



**Resumo:** A falta de herbicidas registrados para o controle de gramíneas na cultura do sorgo é um problema que restringe o potencial produtivo dos cultivos. Neste sentido, visando a criar uma alternativa para o controle de gramíneas, objetivou-se avaliar o efeito de um bioestimulante composto por extrato de *A. nodosum* na redução da intoxicação de plantas de sorgo, causada pela aplicação de tembotrione em pós-emergência. Para tal, foi conduzido um ensaio em casa de vegetação, utilizando delineamento inteiramente casualizado, composto por cinco tratamentos (controle; bioestimulante; tembotrione; tembotrione + bioestimulante aplicado simultaneamente; e tembotrione + bioestimulante 6 DAA) e quatro repetições. O herbicida foi aplicado no estágio V<sub>4</sub> na dose de 120 g i.a. ha<sup>-1</sup>. Foi utilizado o bioestimulante Megafol<sup>®</sup> na dose de 1,0 L p.c. ha<sup>-1</sup>. A aplicação do bioestimulante contribuiu para a redução da intoxicação das plantas de sorgo provocada pelo tembotrione, observando efeitos na retenção de carotenoides, proteção do aparato fotossintético e redução do estresse oxidativo, o que diminuiu os danos aos tecidos, mantendo a capacidade vegetativa e produtiva das plantas.

**Palavras-chave:** Extrato de algas, estresse abiótico, estresse oxidativo, *Sorghum bicolor*

## 1. INTRODUÇÃO

A interferência de plantas daninhas no sorgo, como em qualquer outra cultura, pode comprometer sua produção. Estima-se que a convivência das plantas daninhas com o sorgo durante as primeiras semanas após a emergência da cultura pode promover reduções de 40 a 97% no rendimento de grãos (Dan et al., 2010) e de 18 a 80% na produção de biomassa (Andres et al., 2009).

Em função da intensidade de perdas visualizadas pela convivência do sorgo com as plantas daninhas, torna-se necessário o emprego de medidas para o controle da comunidade infestante, sendo o uso de herbicidas o de maior viabilidade técnica para as extensas áreas em que este cereal é cultivado. Entretanto, poucos são os herbicidas registrados para uso no sorgo, sobretudo para controle de gramíneas, uma vez que não existem opções de graminicidas recomendados para a cultura em aplicações em pós-emergência (Cunha et al., 2016). Desta forma, a busca por herbicidas eficientes no controle de gramíneas seletivos ao sorgo consiste em importante demanda para garantir a estabilidade produtiva da cultura.

Entre alguns herbicidas com espectro de controle sobre gramíneas com potencial para utilização na cultura do sorgo, pode-se destacar o tembotrione (Dan et al., 2012). Este herbicida pertence ao grupo químico das tricetonas, cujo mecanismo de ação inibe a enzima 4-hidroxifenilpiruvato dioxigenase (4-HPPD), impedindo a biossíntese de carotenoides, que atuam na proteção da clorofila ao absorverem elétrons excitados liberados durante o processo de fotossíntese (Abit et al., 2009). A não produção dos carotenoides causa degradação oxidativa da clorofila e da membrana plasmática, o que causa o extravasamento do conteúdo celular, levando ao branqueamento das novas folhas emitidas pela planta, seguido de necrose dos tecidos e morte da planta (Grossmann & Ehrhardt, 2007).

Este herbicida é considerado seletivo para o milho, que apresenta tolerância ao mecanismo de ação por meio do rápido metabolismo de suas moléculas, principalmente pela ação da hemoproteína citocromo P-450 (Mançaneres et al., 2019). Entretanto o tembotrione não é considerado seletivo para o sorgo, apesar de estudos demonstrarem elevado grau de tolerância dependendo da cultivar, da dose e da época de aplicação do herbicida (Dan et al., 2010; Cunha et al., 2016; Pandian et al., 2020). Portanto, visando a ampliar a possibilidade do uso de tembotrione no sorgo, torna-se interessante a adoção de mais estratégias que minimizem a fitointoxicação causada à cultura.

Neste contexto, a aplicação de bioestimulantes derivados de extrato de algas *Ascophyllum nodosum* tem mostrado efeito sobre a minimização de estresses abióticos em diversos tipos de plantas, como grama (Zhang & Ervin, 2004), citros (Spann & Little, 2011), tomate (Petrozza et al., 2014) e espinafre (Xu & Leskovar, 2015), sobretudo para o estresse oxidativo, como o causado pelo tembotrione em sorgo. Este efeito está relacionado com o incremento na proteção dos fotossistemas e redução das espécies reativas de oxigênio pelo aumento da produção de enzimas antioxidantes, fato que minimiza os danos nos tecidos vegetais (Santaniello et al., 2017). Entretanto, poucas são as informações acerca dos efeitos destes produtos na redução de estresses no sorgo, sobretudo com enfoque na redução de danos por intoxicação de herbicidas.

Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de um bioestimulante composto por extrato de *A. nodosum* na redução da intoxicação causada pelo tembotrione em plantas de sorgo.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Condições de condução experimental**

O ensaio foi conduzido em casa de vegetação climatizada (com temperatura média de 27°C e umidade relativa do ar de 65%), pertencente ao Laboratório de Ecofisiologia e Produção Vegetal do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde (17°48,110' S; 50°54,318' O; 749 m de altitude) no período compreendido entre maio e agosto de 2021.

Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado, composto por cinco tratamentos (controle; aplicação de bioestimulante; aplicação de tembotrione; aplicação de tembotrione em mistura com o bioestimulante; e aplicação de tembotrione com aplicação de bioestimulante após 6 dias), com quatro repetições, resultando em 20 parcelas experimentais. Foi utilizado o bioestimulante Megafol<sup>®</sup>, derivado de compostos naturais, tendo como matérias-primas ureia, acetato de potássio, vinhaça, extrato de algas e água, sendo composto por 9% de C<sub>org</sub>, 8% de K<sub>2</sub>O, 3% de N e 79% de ingredientes inertes (Valagro, 2019).

As parcelas foram constituídas por vasos de polietileno de capacidade de 10 L, distribuídos de maneira uniforme e equidistante em bancadas. Foi utilizada como substrato de cultivo das plantas uma mistura de terra, coletada na camada de 0 a 20 cm de um Latossolo Vermelho distroférico, e areia na proporção 2:1. O substrato foi previamente submetido à correção química por meio da calagem e gessagem, tendo

sido, por ocasião da semeadura, adubado conforme recomendação para a cultura (Sousa & Lobato, 2004). O híbrido de sorgo granífero utilizado foi o Buster<sup>®</sup>, de ciclo precoce. Para cada vaso, foram semeadas cinco sementes a 2 cm de profundidade, sendo o desbaste feito aos sete dias após a emergência (DAE), deixando apenas três plantas por parcela. A irrigação foi feita diariamente, com a umidade mantida em torno de 90% da umidade na capacidade de campo do substrato.

Com intuito de causar fitointoxicação, quando a cultura atingiu estágio V<sub>4</sub>, foi aplicado o herbicida tembotrione na dose de 120 g i.a. ha<sup>-1</sup>. O bioestimulante, por sua vez, foi aplicado na dose de 1,0 L p.c. ha<sup>-1</sup>. As aplicações foram feitas por meio de um pulverizador costal pressurizado por CO<sub>2</sub>, munido de barra com quatro pontas de pulverização tipo TT 110-02 de leque duplo e volume de calda equivalente a 250 L p.c. ha<sup>-1</sup>, quando regulado a 2,5 kgf cm<sup>-2</sup>.

Após dez dias de aplicação do tembotrione, foram feitas as avaliações fisiológicas e morfológicas das plantas, bem como a coleta de material para avaliações metabólicas. Para estas avaliações, foram utilizadas duas plantas escolhidas aleatoriamente em cada vaso.

#### **1.1. Avaliação das trocas gasosas e da fluorescência da clorofila *a***

As variáveis de trocas gasosas e de fluorescência da clorofila *a* foram obtidas pela análise da folha mais jovem completamente expandida. As avaliações foram feitas entre 8 e 11h, sem a presença de nebulosidade, utilizando um analisador de gases por infravermelho (IRGA), com radiação fotossinteticamente ativa constante (1.500 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), concentração controlada de CO<sub>2</sub> (400 ppm), temperatura (25°C) e umidade relativa (50%). As trocas gasosas foram avaliadas para registro da taxa fotossintética líquida, taxa transpiratória, condutância estomática de vapor d'água e razão entre a concentração interna e externa de CO<sub>2</sub>. A eficiência instantânea do uso da água foi calculada pela razão entre a taxa fotossintética e a transpiratória. A eficiência de carboxilação foi calculada pela razão entre a taxa fotossintética e a concentração interna de carbono na folha.

Com auxílio do fluorômetro acoplado ao IRGA, as variáveis de fluorescência da clorofila *a* foram obtidas no mesmo folíolo em que foram feitas as medições das trocas gasosas. Foram determinadas as variáveis fluorescência, rendimento quântico efetivo do fotossistema II (Genty et al., 1989), taxa aparente de transporte de elétrons (Bilger et al., 1995) e quenching não fotoquímico (Bilger & Björkman, 1990).

### 1.2. Avaliação do estresse oxidativo

O controle das espécies reativas de oxigênio foi avaliado por meio da determinação da atividade das enzimas superóxido dismutase (Giannopolitis & Ries, 1977), catalase (Anderson et al., 1995), peroxidase (Kar & Mishra, 1976) e ascorbato peroxidase (Nakano & Asada, 1981). Danos em membranas celulares foram mensurados mediante avaliações do conteúdo de peróxido de hidrogênio (Gay & Gebicki, 2000), da taxa de extravasamento de eletrólitos (Vasquez-Tello et al., 1990) e pela determinação da concentração de malonaldeído (Du & Bramlage, 1992).

### 1.3. Determinação da concentração de pigmentos do cloroplasto

Para a determinação da concentração dos pigmentos cloroplastídicos, três discos foliares de 0,5 cm de diâmetro foram imersos em 5 mL de dimetilsulfóxido (DMSO), saturado com carbonato de cálcio, em frascos protegidos da luz. Após seis horas de incubação das amostras a 60°C, foram feitas leituras da absorvância do extrato nos comprimentos de onda de 665, 649 e 480 nm. Foram determinados o teor de clorofila *a*, teor de clorofila *b*, teor de clorofila total, razão entre clorofila *a* e *b* e teor de carotenoides. As concentrações dos pigmentos foram calculadas segundo equações propostas por Wellburn (1994).

### 1.4. Avaliações morfológicas

As variáveis morfológicas foram determinadas pela contagem do número de folhas. A determinação da altura de plantas foi feita pela medição do colo até a extremidade da folha bandeira. A massa seca das folhas, do colmo e das raízes foi feita por meio da coleta, secagem e pesagem dos materiais. A área foliar das plantas foi estimada com o uso do software ImageJ (Cosmulescu et al., 2020).

Também foram feitas avaliações visuais do grau de fitointoxicação através de notas atribuídas pela escala EWRC (EWRC, 1964). Esta escala conta com valores de 1 a 9, em que 1 significa ausência de sintomas; 2, pequenas alterações, como descoloração, deformação visíveis em algumas plantas; 3, pequenas alterações visíveis em muitas plantas, como clorose e encarquilhamento; 4, forte descoloração ou razoável deformação, sem ocorrência de necrose; 5, necrose de algumas folhas, acompanhada de deformação em folhas e brotos; 6, redução no porte das plantas, encarquilhamento e necrose das folhas; 7, mais de 80% das folhas destruídas; 8, danos extremamente graves, sobrando pequenas áreas verdes nas plantas; e 9, morte das plantas.

### 1.5. Avaliações agronômicas

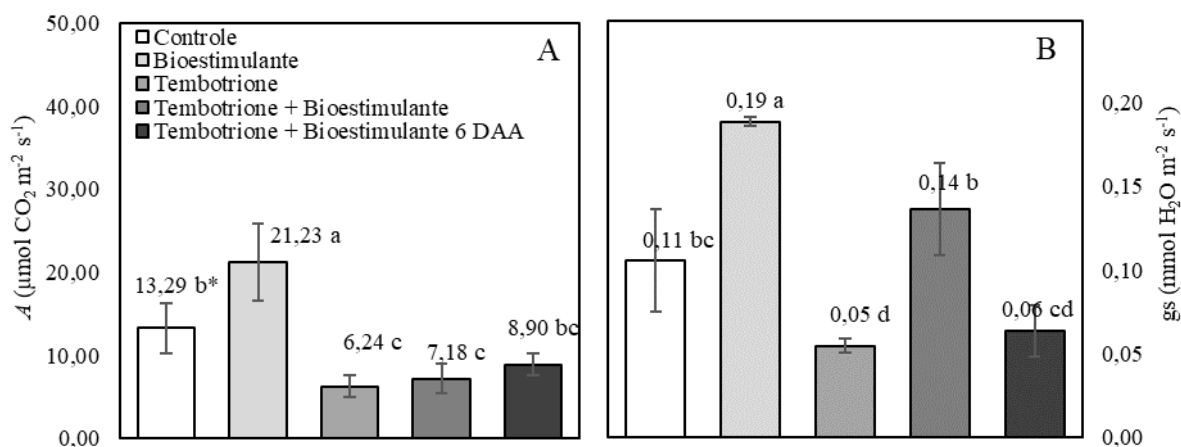
Após as avaliações fisiológicas, metabólicas e morfológicas, foi mantida apenas uma planta por vaso, que foi conduzida até o ponto de colheita para avaliações de massa de cem grãos, pela contagem e posterior pesagem de cem grãos a partir da amostra de produção, com correção da umidade para 13%; do número de grãos, determinado pela contagem dos grãos; e produção de grãos, pela colheita das plantas, debulha das panículas, com posterior pesagem dos grãos, com correção da umidade para 13%.

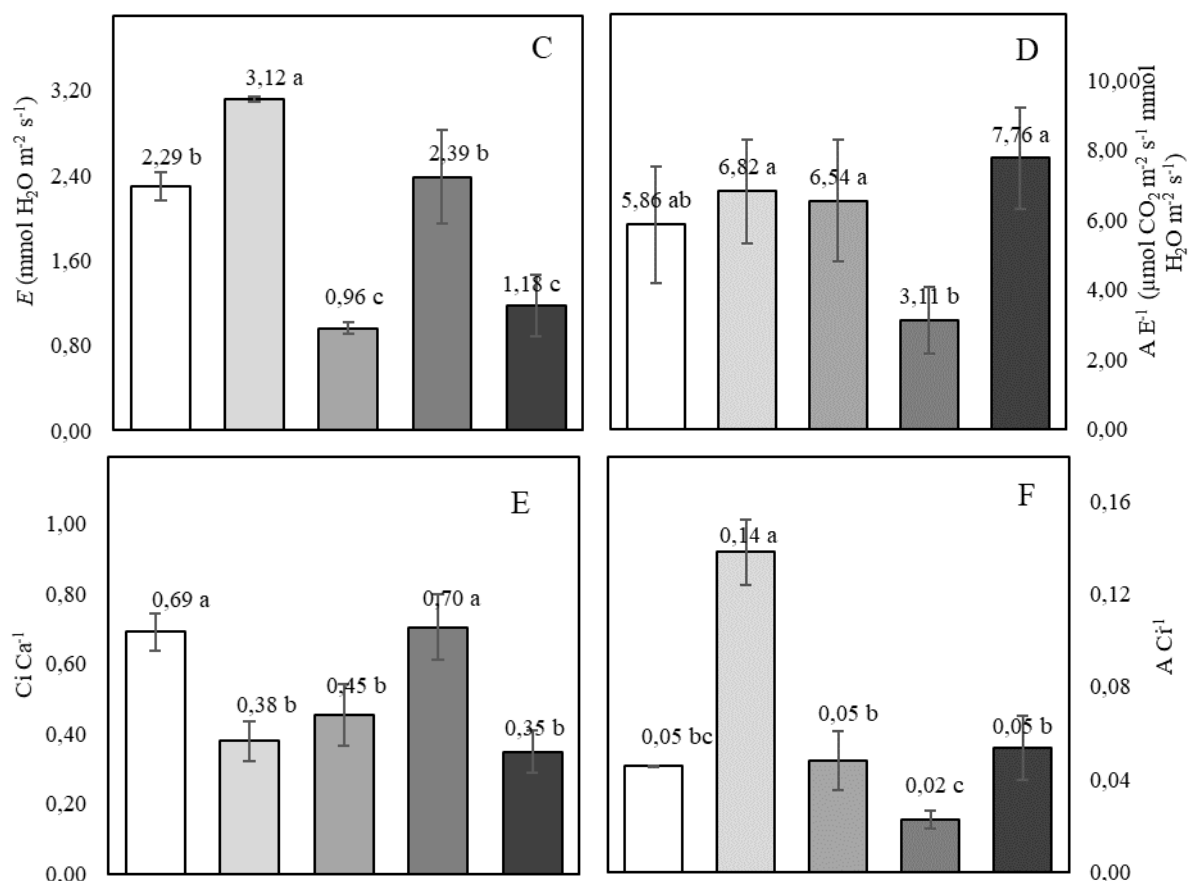
### 1.6. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo emprego do teste F a 5% de probabilidade. Uma vez constatada significância, foi empregado teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação entre as médias dos tratamentos.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação isolada do herbicida tembotrione acarretou redução 53% na fotossíntese das plantas em comparação ao tratamento controle (Figura 1A). Por outro lado, quando o bioestimulante foi aplicado aos 6 dias após o herbicida (6 DAA), houve recuperação da taxa fotossintética, cujo valor se igualou estatisticamente ao controle. Além disso, a aplicação isolada do bioestimulante promoveu aumento de 60% na taxa fotossintética das plantas em comparação com a testemunha. O aumento na capacidade fotossintética proporcionado pelo bioestimulante se reflete em maior produção energética pela planta, o que culmina em aumento do potencial produtivo nas plantas saudáveis ou na maior resiliência aos efeitos do estresse abiótico (Singh & Thakur, 2018), como a fitointoxicação causada pelo tembotrione.





\*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Figura 1.** Fotossíntese (A), condutância estomática (B), transpiração (C), eficiência no uso da água (D), razão entre concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (E) e eficiência de carboxilação (F) de plantas de sorgo submetidas à aplicação de bioestimulante de extrato de algas em distintas épocas em função do herbicida tembotrione.

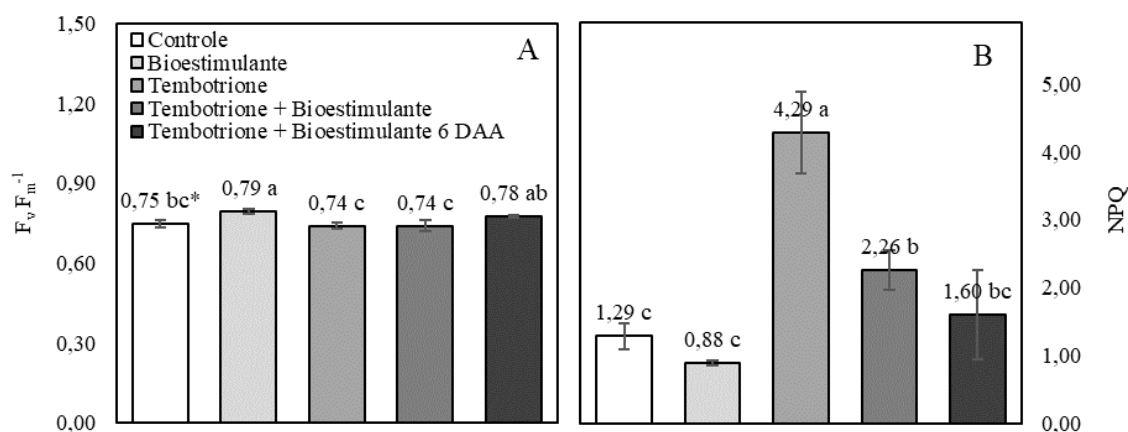
A aplicação isolada do herbicida reduziu a condutância estomática em 54% em relação ao tratamento controle (Figura 1B), resultando em diminuição da transpiração em 58% (Figura 1C). Este efeito pode ter relação com danos às células estomáticas em decorrência do estresse oxidativo provocado pelo lactofen (Shabala et al., 2012).

Apesar disso, quando o bioestimulante foi aplicado simultaneamente ao herbicida, resultou em manutenção da condutância estomática (Figura 1B) e transpiração (Figura 1C). Todavia, como o aumento da transpiração não foi acompanhado de aumento na taxa fotossintética (Figura 1A), as plantas neste tratamento tiveram menor eficiência no uso da água (Figura 1D). Além disso, a maior condutância estomática resultou em maior quantidade de CO<sub>2</sub> absorvido nas plantas deste tratamento, o que não se converteu em maior fotossíntese, que se manteve igual ao tratamento com aplicação isolada de herbicida (Figura 1A). Como resultado, houve acúmulo de CO<sub>2</sub> no interior da folha, acarretando maior razão  $\text{Ci/Ca}^{-1}$  (Figura 1E) e

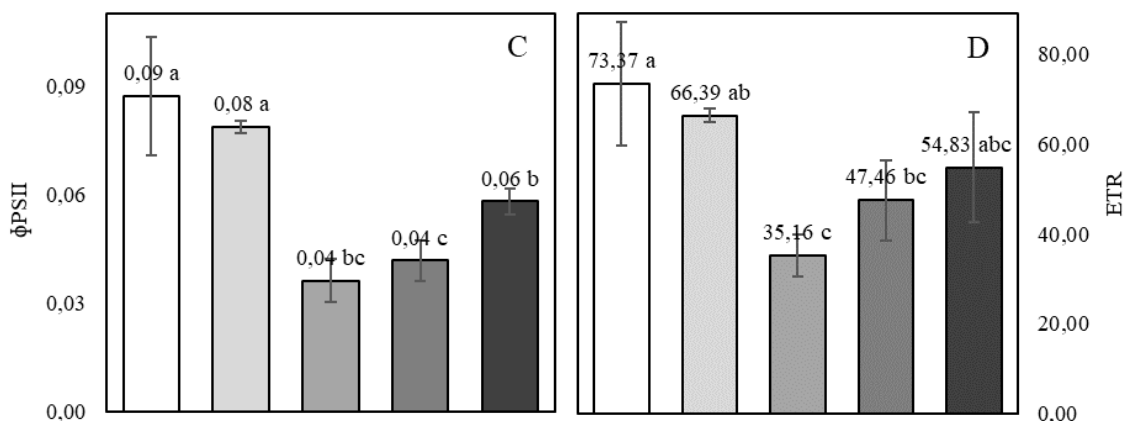
menor eficiência de carboxilação dessas plantas (Figura 1F), que, no entanto, ainda se mantiveram iguais ao tratamento controle. Por outro lado, a aplicação do bioestimulante aos 6 DAA não apresentou diferenças em relação ao tratamento com aplicação isolada do tembotrione para nenhum parâmetro de trocas gasosas.

Quando o bioestimulante foi aplicado isoladamente, ocorreu aumento de 73% na condutância estomática em relação ao controle (Figura 1B), resultando em aumento de 27% na transpiração (Figura 1C). O aumento na capacidade de regulação estomática pode ter sido decorrente não apenas do efeito do extrato de *A. nodosum* presente no bioestimulante (Martynenko et al., 2016), como também da presença de potássio na composição do produto, conhecido por sua ação osmorreguladora nas células estomáticas (Wang et al., 2013). No entanto, apesar da maior abertura estomática observada, este tratamento apresentou valor de concentração interna de CO<sub>2</sub> 82% inferior ao tratamento controle (Figura 1E), o que ocorreu devido ao aumento observado na taxa fotossintética (Figura 1A). Os valores mais baixos de CO<sub>2</sub>, combinados com a alta taxa fotossintética, resultaram em aumento de 180% na eficiência carboxilativa neste tratamento em relação ao controle (Figura 1F).

Com relação à fluorescência, o tratamento com aplicação isolada do bioestimulante foi o único que diferiu do tratamento controle, acarretando aumento de 5% (Figura 2A). Apesar disso, foi observado aumento do quenching não fotoquímico nos tratamentos com aplicação do herbicida (Figura 2B). Isto indica, portanto, que o excesso de energia foi dissipado por outros mecanismos que não a fluorescência, como, por exemplo, a produção de espécies reativas de oxigênio (Krause & Jahns, 2004).







\*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

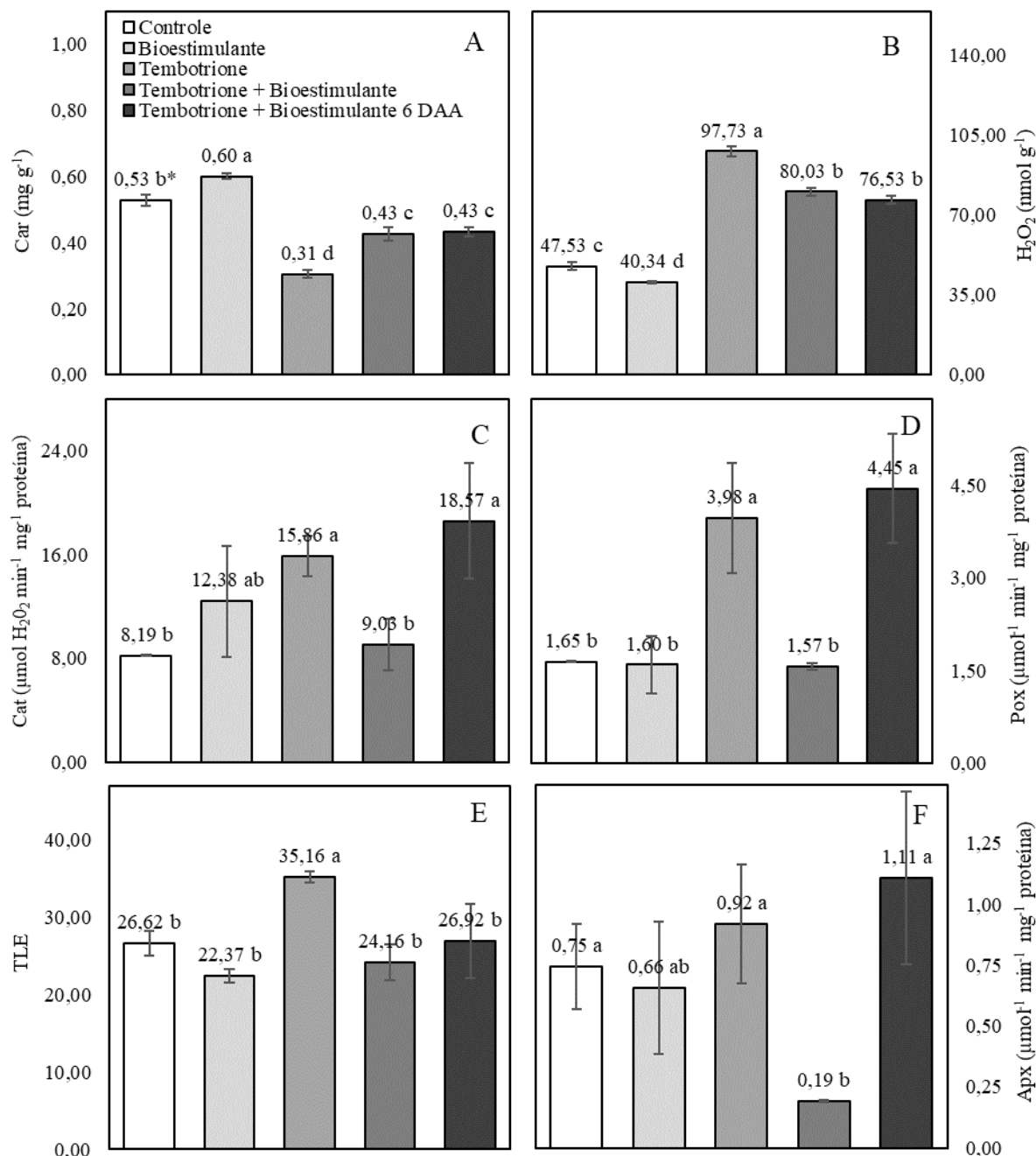
**Figura 2.** Fluorescência (A), quenching não fotoquímico (B), rendimento quântico efetivo do fotossistema II (C) e taxa de transporte de elétrons (D) de plantas de sorgo submetidas à aplicação de bioestimulante de extrato de algas em distintas épocas em função do herbicida tembotrione.

A aplicação de tembotrione acarretou diminuição no rendimento quântico efetivo do fotossistema II em todos os tratamentos (Figura 2C). Além disso, quando o herbicida foi aplicado isoladamente, houve redução de 56% na taxa de transporte de elétrons em relação ao controle (Figura 2D), evidenciando, portanto, que a aplicação do herbicida resulta em danos ao aparato fotossintético, prejudicando a recepção e o transporte de energia na cadeia transportadora de elétrons (Dan et al., 2012). Em consequência, como já observado, houve redução na atividade fotossintética (Figura 1A). Além disso, como parte significativa da energia recebida não foi convertida em fotossíntese, ocorreu aumento de 233% no quenching não fotoquímico (Figura 2B).

Por outro lado, no tratamento com aplicação do bioestimulante aos 6 DAA de tembotrione ocorreu menor redução no  $\phi$ PSII (Figura 2C) enquanto a taxa de transporte de elétrons se igualou ao controle (Figura 2D). Isso evidencia maior proteção ao aparato fotossintético proporcionado pelo bioestimulante, o que se refletiu na redução do quenching não fotoquímico (Figura 2B) e no aumento de fotossíntese líquida observados neste tratamento (Figura 1A).

Com menor quantidade de energia solar sendo dissipada pela fotossíntese no tratamento com a aplicação isolada do herbicida, ocorre aumento nas formas alternativas de dissipação de energia. Uma dessas alternativas é o ciclo das xantofilas, que ajuda a amenizar a inibição fotoquímica dos fotossistemas e a produção de espécies reativas de oxigênio (Latowski et al., 2011). Entretanto, este mecanismo depende da

presença de carotenoides, que foi 42% inferior neste tratamento em relação ao controle (Figura 3A), em decorrência do mecanismo de ação do tembotrione (Abit et al., 2009). Isso ajuda a explicar o acréscimo de 106% na produção de peróxido de hidrogênio (Figura 3B) observado neste tratamento.



\*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Figura 3.** Teor de carotenoides (A), conteúdo de peróxido de hidrogênio (B), atividade da enzima catalase (C), peroxidase (D), taxa de extravasamento de eletrólitos (E) e atividade da enzima ascorbato peroxidase (F) de plantas de sorgo submetidas à aplicação de bioestimulante de extrato de algas em distintas épocas em função do herbicida tembotrione.

Para conter o aumento na produção de peróxido de hidrogênio no tratamento com aplicação isolada de tembotrione, houve aumento na atividade das enzimas antioxidantes catalase (Figura 3C) e peroxidase (Figura 3D). Todavia este efeito não foi suficiente para conter o estresse oxidativo, acarretando danos às estruturas celulares, tendo causado aumento de 32% no extravasamento de eletrólitos (Figura 3E).

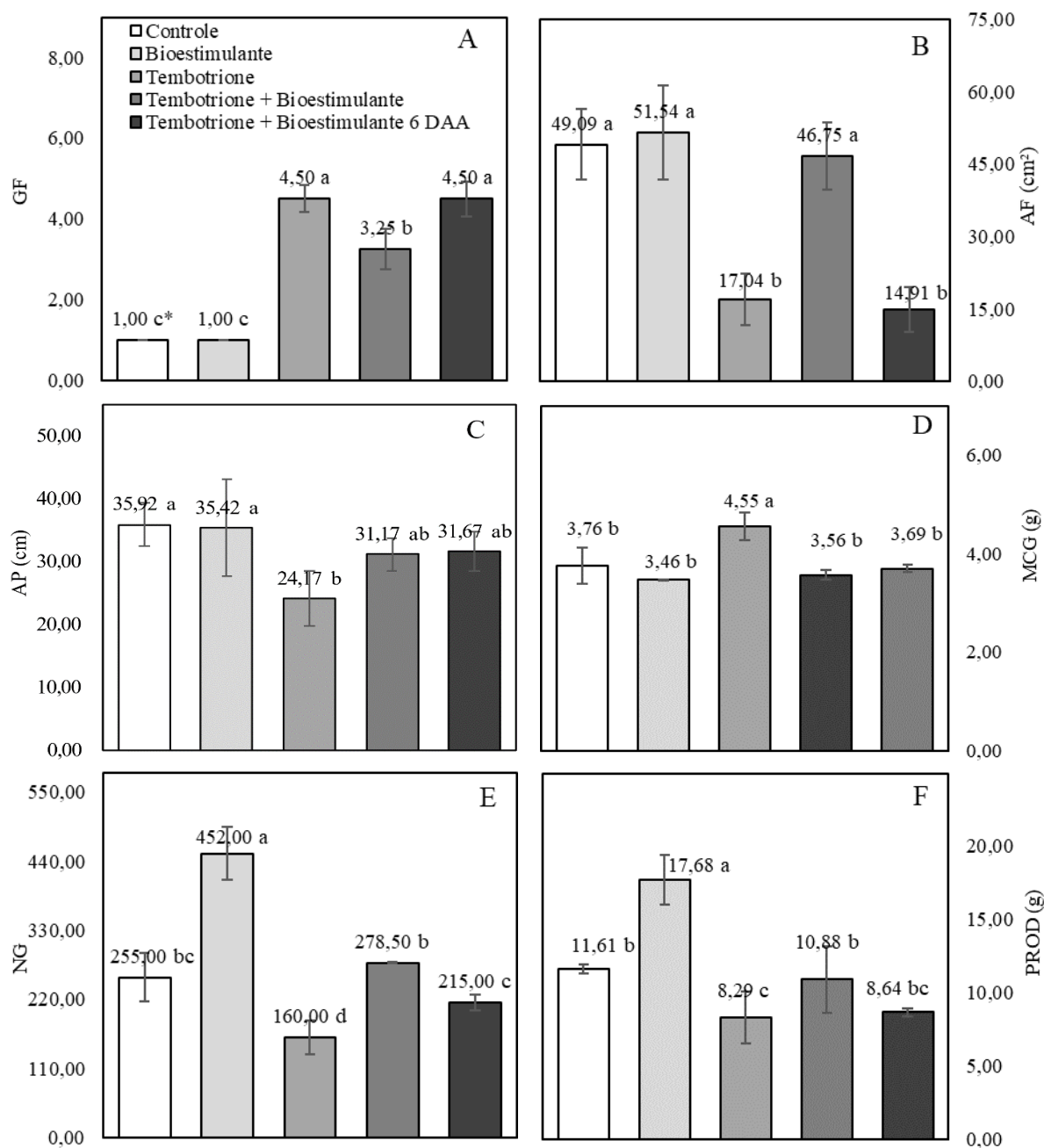
Por outro lado, quando o bioestimulante foi aplicado conjuntamente ao herbicida, independentemente da época, houve maior retenção de carotenoides (Figura 3A) e, conseqüentemente, menor dissipação não fotoquímica da energia luminosa (Figura 2D), o que acarretou diminuição significativa na produção de peróxido de hidrogênio (Figura 3B). A redução do estresse oxidativo proporcionada pelo bioestimulante diminuiu os danos celulares, levando a uma menor taxa de extravasamento de eletrólitos (Figura 3E).

Fica claro, portanto, que o estímulo à conservação dos carotenoides proporcionado pelo bioestimulante se mostrou fundamental para auxiliar na redução dos danos por estresse oxidativo provocado pelo herbicida. Este efeito é confirmado pelo tratamento com aplicação isolada de bioestimulante, em que ocorre maior produção de carotenoides em relação ao controle (Figura 3A), que leva à redução de peróxido de hidrogênio (Figura 3B). Soma-se a isso a diminuição de danos às estruturas celulares, representada pela menor taxa de extravasamento de eletrólitos (Figura 3E).

Com relação à ação antioxidante, nos tratamentos com aplicação de tembotrione houve comportamento diferente em função da época de aplicação do bioestimulante. Quando aplicado aos 6 dias após o herbicida, ocorreu aumento na atividade das enzimas antioxidantes (Figuras 3C, D e F). Por outro lado, quando o bioestimulante foi aplicado simultaneamente ao herbicida, ocorreu menor atividade enzimática antioxidante. Todavia, em ambos os casos, ocorreu redução no conteúdo de peróxido de hidrogênio (Figura 3B) em relação à aplicação isolada do tembotrione. Isso mostra que o bioestimulante controla o estresse oxidativo não apenas pelo aumento na atividade antioxidante, mas também diminuindo os danos ao aparato fotossintético (Figuras 2B e C), o que se converte em melhor aproveitamento da energia luminosa (Figura 2D), diminuindo a formação de espécies reativas ao oxigênio.

O aumento do estresse oxidativo provocado pela aplicação isolada de tembotrione resultou em aumento da intoxicação, causando danos morfológicos às plantas de sorgo, com aparecimento de clorose e de necrose nas folhas (Figura 4A). Por

outro lado, com a aplicação simultânea do bioestimulante, foram observados menos danos às plantas, em decorrência da redução dos efeitos deletérios do herbicida pelo aumento da proteção dos tecidos.



\*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Figura 4.** Fitointoxicação (A), área foliar (B), altura de plantas (C), massa de cem grãos (D), número de grãos (E) e produção de grãos (F) de plantas de sorgo submetidas à aplicação de bioestimulante de extrato de algas em distintas épocas em função do herbicida tembotrione.

De maneira complementar, quando o herbicida foi aplicado isoladamente, houve redução de 65% na área foliar (Figura 4B) e 32% na altura das plantas (Figura

4C). Por outro lado, no tratamento com aplicação simultânea do bioestimulante, ocorreu manutenção de ambas as variáveis em relação ao tratamento controle. Este efeito se deve não somente a uma maior proteção contra o estresse oxidativo proporcionada pelo bioestimulante, mas também ao estímulo ao desenvolvimento vegetativo das plantas provocado pela presença de precursores hormonais presentes no extrato de *A. nodosum* (Jannin et al., 2013).

A redução dos danos morfológicos provocados pelo tembotrione em razão da utilização do bioestimulante foi fundamental para recuperar a capacidade de produção das plantas de sorgo. Nos tratamentos com aplicação do bioestimulante juntamente com o herbicida, independentemente da época, ocorreu aumento do número de grãos produzidos, resultando em manutenção na produção das plantas em relação ao tratamento controle (Figura 4F), sendo que, no tratamento com aplicação simultânea do bioestimulante com o herbicida, o aumento de produção foi de até 31%. Além disso, a aplicação isolada do bioestimulante promoveu aumento de 77% no número de grãos e de 52% na produção de grãos em relação ao tratamento controle.

Por outro lado, a aplicação isolada do herbicida até resultou em aumento na massa de cem grãos em relação aos demais tratamentos (Figura 4D), mas provocou redução no número de grãos (Figura 4E), ocasionando menor produção de grãos (Figura 4F).

Portanto, tanto quando aplicado simultaneamente, ou quando aos 6 DAA, o bioestimulante é uma alternativa interessante para ser avaliada em condições de campo quanto à viabilidade de uso do tembotrione para o controle de plantas daninhas na cultura do sorgo, uma vez que diminui os efeitos deletérios causados pelo herbicida. Além disso, mesmo em plantas saudáveis, o uso do bioestimulante é capaz de promover aumento na produção de grãos. Portanto, seu uso se torna interessante, independentemente da ocorrência de estresse. No entanto, é preciso salientar a necessidade de trabalhos que avaliem a viabilidade econômica desta solução em ambas as condições.

#### 4. CONCLUSÕES

A aplicação do bioestimulante contribui para a redução na intoxicação das plantas de sorgo provocada pelo tembotrione, com retenção de carotenoides, proteção do aparato fotossintético e redução do estresse oxidativo.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIT, J. M.; AL-KHATIB, K.; REGEHR, D. L.; TUINSTRA, M. R.; CLAASSEN, M. M.; GEIER, P. W.; STAHLMAN, P. W.; GORDON, B. W.; CURRIE, R. S. Differential response of grain sorghum hybrids to foliar-applied mesotrione. **Weed Technology**, Champaign, v. 23, n. 1, p. 28-33, 2009. <https://doi.org/10.1614/WT-08-086.1>

ANDERSON, M. D.; PRASAD, T. K.; STEWART, C. R. Changes in isozyme profiles of catalase, peroxidase, and glutathione reductase during acclimation to chilling in mesocotyls of maize seedlings. **Plant Physiology**, v. 109, n. 4, p. 1247-1257, 1995. <https://doi.org/10.1104/pp.109.4.1247>

ANDRES, A.; CONCENÇO, G.; SCHWANKE, A. M. L.; THEISEN, G.; MELO, P. T. B. S. Períodos de interferência de plantas daninhas na cultura do sorgo forrageiro em terras baixas. **Planta Daninha**, v. 27, n. 2, p. 229-234, 2009.

BILGER, W.; BJÖRKMAN, O. Role of xanthophyll cycle in photoprotection elucidated by measurements of light-induced absorbance changes, fluorescence and photosynthesis in leaves of *Hedera canariensis*. **Photosynthesis Research**, v. 25, p. 173-185, 1990. <https://doi.org/10.1007/BF00033159>

BILGER, W.; SCHREIBER, U.; BOCK, M. Determination of the quantum efficiency of photosystem II and of non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the field. **Oecologia**, v. 102, p.425-432, 1995. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00341354>

COSMULESCU, S.; SCRIECIU, F.; MANDA, M. Determination of leaf characteristics in different medlar genotypes using the ImageJ program. **Horticultural Science**, v. 47, n. 2, p. 117-121, 2020. <https://doi.org/10.17221/97/2019-HORTSCI>

CUNHA, F. N.; VIDAL, V. M.; SILVA, N. F.; SOARES, F. A. L.; BATISTA, P. F.; SANTOS, M. A.; MORAIS, W. A.; TEIXEIRA, M. B. Seletividade do herbicida tembotrione à cultura do sorgo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 2, p. 281-293, 2016.

DAN, H. A.; BARROSO, A. L. L.; DAN, L. G. M.; PROCÓPIO, S. O.; FERREIRA FILHO, W. C.; MENEZES, C. C. E. Tolerância do sorgo granífero ao herbicida tembotrione. **Planta Daninha**, v. 28, p. 615-620, 2010.

DAN, H. D. A.; BARROSO, A. L. D. L.; JUNIOR, R. S. D. O.; DAN, L. G. D. M.; PROCÓPIO, S. D. O.; CONSTANTIN, J.; BRAZ, G. B. P. Potential Use of Tembotrione (HPPD-Inhibitor Herbicides) in Grain Sorghum. In: **Weed Control**. IntechOpen, 2012. <https://doi.org/10.5772/33759>

DU, Z.; BRAMLAGE, W. J. Modified thiobarbituric acid assay for measuring lipid oxidation in sugar-rich plant tissue extracts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 40, n. 9, p. 1566-1570, 1992. <http://dx.doi.org/10.1021/JF00021A018>

EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL – EWRC. Report of the 3th and 4th meetings of EWRC- Committee of methods in weed research. **Weed Research**, v. 4, n. 1, p. 88, 1964.

GAY, C.; GEBICKI, J. M. A. Critical evaluation of the effect of sorbitol on the ferricyxlenol orange hydroperoxide assay. **Analytical biochemistry**, v. 284, p. 217-220, 2000. <https://doi.org/10.1006/abio.2000.4696>

GENTY, B.; BRIANTAIS, J. M.; BAKER, N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica et Biophysica Acta**. v. 990, p. 87-92, 1989. [https://doi.org/10.1016/S0304-4165\(89\)80016-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4165(89)80016-9)

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, v. 59, p. 309–314, 1977. <https://doi.org/10.1104/pp.84.2.450>

GROSSMANN, K.; EHRHARDT, T. On the mechanism of action and selectivity of the corn herbicide topramezone: a new inhibitor of 4- hydroxyphenylpyruvate dioxygenase. **Pest Management Science**, v. 63, n. 5, p. 429-439, 2007.

JANNIN, L.; ARKOUN, M.; ETIENNE, P.; LAÏNÉ, P.; GOUX, D.; GARNICA, M. Brassica napus growth is promoted by *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. seaweed extract: microarray analysis and physiological characterization of N, C, and S metabolisms. **Journal of plant growth regulation**, v. 32, n. 1, p. 31-52, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00344-012-9273-9>

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Plant physiology**, v. 57, n. 2, p. 315-319, 1976. <https://doi.org/10.1104/pp.57.2.315>

KRAUSE, G. H.; JAHNS, P. Non-photochemical energy dissipation determined by chlorophyll fluorescence quenching: characterization and function. In: **Chlorophyll a fluorescence**. Springer, Dordrecht, 2004. p. 463-495. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3218-9\\_18](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3218-9_18)

LATOWSKI, D.; KUCZYŃSKA, P.; STRZAŁKA, K. Xanthophyll cycle—a mechanism protecting plants against oxidative stress. **Redox Report**, v. 16, n. 2, p. 78-90, 2011. <https://doi.org/10.1179/174329211X13020951739938>

MANÇANARES, L. B.; NETTO, A. G.; ANDRADE, F. J.; PRESOTO, J. C.; SILVA, L. J. F.; CARVALHO, S. J. P. Seletividade de tembotrione aplicado em diferentes estádios fenológicos da cultura do milho safrinha. **Revista Agrogeoambiental**, v. 10, n. 4, 2019.

MARTYNENKO, A.; SHOTTON, K.; ASTATKIE, T.; PETRASH, G.; FOWLER, C.; NEILY, W.; CRITCHLEY, A. T. Thermal imaging of soybean response to drought stress: the effect of *Ascophyllum nodosum* seaweed extract. **Springerplus**, v. 5, n. 1, p. 1-14, 2016. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3019-2>

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, v. 22, n. 5, p. 867-880, 1981. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232>

PANDIAN, B. A.; VARANASI, A.; VENNAPUSA, A. R.; SATHISHRAJ, R.; LIN, G.; ZHAO, M.; TUNNELL, M.; TESSO, T.; LIU, S.; PRASAD, V. P. V.; Jugulam, M. Characterization, genetic analyses, and identification of QTLs conferring metabolic

resistance to a 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase inhibitor in sorghum (*Sorghum bicolor*). **Frontiers in Plant Science**, v. 11, 14p., 2020.

PETROZZA, A.; SANTANIELLO, A.; SUMMERER, S.; DITOMMASO, G.; DITOMMASO, D.; PAPARELLI, E. Physiological responses to Megafol® treatments in tomato plants under drought stress: a phenomic and molecular approach. **Scientia Horticulturae**, v. 174, p. 185-192, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.023>

SANTANIELLO, A.; SCARTAZZA, A.; GRESTA, F.; LORETI, E.; BIASONE, A.; DITOMMASO, D.; PIAGGESI, A.; PERATA, P. *Ascophyllum nodosum* seaweed extract alleviates drought stress in arabidopsis by affecting photosynthetic performance and related gene expression. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 15p., 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01362>

SHABALA, L.; MACKAY, A.; TIAN, Y.; JACOBSEN, S. E.; ZHOU, D.; SHABALA, S. Oxidative stress protection and stomatal patterning as components of salinity tolerance mechanism in quinoa (*Chenopodium quinoa*). **Physiologia Plantarum**, v. 146, n. 1, p. 26-38, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01599.x>

SINGH, J.; THAKUR, J. K. Photosynthesis and abiotic stress in plants. In: **Biotic and abiotic stress tolerance in plants**. Springer, Singapore, p. 27-46, 2018. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-9029-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-10-9029-5_2)

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado**: Correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília, Embrapa, 416 p., 2004.

SPANN, T. M.; LITTLE, H. A. Applications of a commercial extract of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* increases drought tolerance in container-grown 'Hamlin'sweet orange nursery trees. **HortScience**, v. 46, n. 4, p. 577-582, 2011. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.4.577>

VALAGRO. **Bioestimulantes**. Disponível em: <[www.valagro.com/brazil/pt/produtos/farm/bioestimulante/megafol/](http://www.valagro.com/brazil/pt/produtos/farm/bioestimulante/megafol/)> Acesso em 30 de fevereiro de 2019.

VASQUEZ-TELLO, A.; ZUILY-FODIL, Y.; PHAM THI, A. T.; SILVA, J. B. V. Electrolyte and Pi leakages and soluble sugar content as physiological tests for screening resistance to water stress in Phaseolus and Vigna species. **Journal of Experimental Botany**, v. 41, n. 7, p. 827-832, 1990. <https://doi.org/10.1093/jxb/41.7.827>

WANG, M.; ZHENG, Q.; SHEN, Q.; GUO, S. The critical role of potassium in plant stress response. **International journal of molecular sciences**, v. 14, n. 4, p. 7370-7390, 2013. <https://doi.org/10.3390/ijms14047370>

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophyll a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, v.144, p.307-313, 1994. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2)



XU, C.; LESKOVAR, D. I. Effects of *A. nodosum* seaweed extracts on spinach growth, physiology and nutrition value under drought stress. **Scientia Horticulturae**, v. 183, p. 39-47, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.12.004>

ZHANG, X; ERVIN, E. H. Cytokinin-containing seaweed and humic acid extracts associated with creeping bentgrass leaf cytokinins and drought resistance. **Crop science**, v. 44, n. 5, p. 1737-1745, 2004. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.1737>

## 6. MATERIAL SUPLEMENTAR

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância da fotossíntese ( $A$ ), transpiração ( $E$ ), eficiência no uso da água ( $A E^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), eficiência de carboxilação ( $A C_i^{-1}$ ), razão entre concentração interna e externa de  $CO_2$  ( $C_i C_a^{-1}$ ), fluorescência ( $F_v F_m^{-1}$ ), rendimento quântico efetivo do fotossistema II ( $\Phi PSII$ ), taxa de transporte de elétrons (ETR) e quenching não fotoquímico (NPQ) de plantas de sorgo submetidas à aplicação de bioestimulante de extrato de algas em distintas épocas em função do herbicida tembotrione.

Fontes de variação	$A$	$E$	$A E^{-1}$	$g_s$	$A C_i^{-1}$
Tratamentos	*	*	*	*	*
CV (%)	15,24	12,28	17,91	18,06	17,27
Fontes de variação	$C_i C_a^{-1}$	$F_v F_m^{-1}$	$\Phi PSII$	ETR	NPQ
Tratamentos	*	*	*	*	*
CV (%)	13,97	1,85	13,96	16,93	16,87

\* e ns: significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância da atividade das enzimas ascorbato peroxidase (Apx), superóxido dismutase (Sod), catalase (Cat), peroxidase (Pox), conteúdo de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), da taxa de extravasamento de eletrólitos (TLE), concentração de malonaldeído (Mda), teor de clorofila *a* (Cla), *b* (Clb) e total (CIT), razão entre clorofila *a* e *b* ( $Cla Clb^{-1}$ ) e teor de carotenoides (Car) de plantas de sorgo submetidas à aplicação de bioestimulante de extrato de algas em distintas épocas em função do herbicida tembotrione.

Fontes de variação	Apx	Sod	Cat	Pox	$H_2O_2$	TLE
Tratamentos	*	ns	*	*	*	*
CV (%)	18,15	16,20	13,89	15,11	2,41	9,39

Fontes de variação	Mda	Cla	Clb	CIT	Cla Clb <sub>1</sub>	Car
Tratamentos	ns	ns	ns	ns	ns	*
CV (%)	21,48	12,45	11,89	12,11	13,61	3,26

\* e ns: significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância da altura de plantas (AP), número de folhas (NF) e grãos (NG), massa seca das folhas (MSF), do colmo (MSC) e das raízes (MSR), área foliar (IAF), grau de fitointoxicação (GF), massa de cem grãos (MMG) e produção de grãos (PROD) de plantas de sorgo submetidas à aplicação de bioestimulante de extrato de algas em distintas épocas em função do herbicida tembotrione.

Fontes de variação	AP	NF	NG	MSF	MSC
Tratamentos	*	ns	*	ns	ns
CV (%)	14,62	7,48	10,64	14,68	17,59

Fontes de variação	MSR	IAF	GF	MCG	PROD
Tratamentos	ns	*	*	*	*
CV (%)	19,87	16,22	11,60	5,65	13,31

\* e ns: significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

## CAPÍTULO 2

APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTE À BASE DE *Ascophyllum nodosum* É CAPAZ DE REDUZIR A INTOXICAÇÃO CAUSADA POR LACTOFEN EM PLANTAS DE SOJA?

**Resumo:** Na busca por diversificação das opções de controle de plantas daninhas na cultura da soja, tem ocorrido procura por herbicidas alternativos registrados para a cultura, alguns, inclusive, com potencial de causar fitointoxicação das plantas, caso do lactofen, que tem baixa adesão no mercado. Neste sentido, visando a aumentar a possibilidade de uso do herbicida na cultura, foi avaliado o desempenho de um bioestimulante composto por extrato de *A. nodosum* na redução da intoxicação de plantas de soja causada pela aplicação de lactofen. Para tal, foi conduzido um experimento em casa de vegetação, utilizando delineamento inteiramente casualizado, composto por cinco tratamentos (controle, bioestimulante, lactofen, lactofen + bioestimulante e lactofen + bioestimulante 6 DAA) e quatro repetições. O herbicida foi aplicado no estágio V<sub>4</sub> na dose de 120 g i.a. ha<sup>-1</sup>. Foi utilizado o bioestimulante Megafof<sup>®</sup> na dose de 1,0 L p.c. ha<sup>-1</sup>. A aplicação do bioestimulante contribuiu para redução da intoxicação das plantas de soja provocada pelo lactofen, com retenção das moléculas de clorofila, redução do estresse oxidativo e manutenção da taxa fotossintética, consequentemente, ocorrendo menores danos aos tecidos. O bioestimulante foi mais eficaz quando aplicado simultaneamente ao lactofen, apresentando respostas mais efetivas na redução do estresse oxidativo provocado pelo herbicida. Todavia, em qualquer época de aplicação, houve manutenção da produção de grãos.

**Palavras-chave:** Extrato de algas, estresse abiótico, estresse oxidativo, *Glycine max* L.

## 1. INTRODUÇÃO

A baixa diversificação de princípios ativos de herbicidas utilizados na soja RR<sup>®</sup> tem resultado em grande pressão de seleção e desenvolvimento de plantas daninhas resistentes aos principais produtos disponíveis no mercado (Adegas et al., 2017). Neste contexto, na busca de diversificar as opções de controle, tem ocorrido procura por herbicidas registrados para a cultura, alguns, inclusive, com baixa adesão no mercado, caso do lactofen, reconhecido por sua boa eficácia, mas com elevado potencial de causar intoxicação às plantas de soja em determinados posicionamentos (Mangialardi et al., 2016).

O lactofen é um herbicida do grupo químico éter difenílico, cujo mecanismo de ação é baseado na inibição da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX). Como resultado, ocorre acúmulo de protoporfirinogênio IX no cloroplasto, que é extravasado para o citoplasma, se oxidando naturalmente e formando a protoporfirina IX. Como consequência, ocorre inibição da síntese de clorofila além de acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROs), causando estresse oxidativo (Orlowski et al., 2016).

Mesmo em plantas tolerantes como a soja, a aplicação de lactofen causa intoxicação caracterizada por clorose e necrose foliar, que se iniciam logo após a aplicação do herbicida em condições de alta luminosidade (Júnior & Waureck, 2020). Os danos provocados pelo lactofen resultam em diminuição no porte das plantas e até redução de produção (Espinosa et al., 1995; Gallon et al., 2016), o que limita sua utilização, apesar de eficiência comprovada no controle de plantas daninhas que o herbicida apresenta (Barros et al., 2000).

Neste sentido, o desenvolvimento de estratégias que diminuam o efeito de intoxicação causado por lactofen em plantas de soja é fundamental para possibilitar mais opções de herbicidas eficientes no controle de plantas daninhas sem impactos sobre o desempenho da cultura. Uma destas estratégias pode ser o uso de bioestimulantes compostos de extrato de algas *Ascophyllum nodosum*. Estes produtos, graças ao conjunto de compostos orgânicos como fitormônios, aminoácidos e metabólitos secundários presentes em sua composição (Lorenzo et al., 2017), são capazes de reduzir as EROs pelo estímulo à produção de enzimas antioxidantes. Além disso, são capazes de minimizar os danos causados pelo estresse oxidativo nos tecidos vegetais (Santaniello et al., 2017; Shukla et al., 2019).

A redução de estresse oxidativo pela aplicação de bioestimulantes à base de extrato de algas *A. nodosum* tem mostrado resultados positivos em diversos tipos de plantas, como grama (Zhang & Ervin, 2004), citros (Spann & Little, 2011), tomate (Petrozza et al., 2014) e espinafre (Xu & Leskovar, 2015). Nestas plantas, a aplicação de bioestimulante promoveu recuperação na capacidade fotossintética, desenvolvimento e produção. Entretanto, há carência de informações acerca dos efeitos destes produtos na redução de estresses abióticos na soja, sobretudo com enfoque na redução de danos por fitointoxicação causada pela aplicação de herbicidas.

Diante disso, objetivou-se avaliar o efeito de um bioestimulante composto por extrato de *A. nodosum* na redução da intoxicação causada pelo lactofen em plantas de soja.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Condições de condução experimental

O ensaio foi conduzido em casa de vegetação climatizada (com temperatura média de 27°C e umidade relativa do ar de 65%) pertencente ao Laboratório de Ecofisiologia e Produção Vegetal do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde (17°48,110' S; 50°54,318' O; 749 m de altitude) no período compreendido entre fevereiro e abril de 2021.

Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado, composto por cinco tratamentos (controle, aplicação de bioestimulante, aplicação de lactofen aplicação de lactofen em mistura com o bioestimulante e aplicação de lactofen com aplicação de bioestimulante após 6 dias), com quatro repetições, resultando em 20 parcelas experimentais. O lactofen foi aplicado na dose de 168 g i.a. ha<sup>-1</sup>. O bioestimulante utilizado foi o Megafol<sup>®</sup>, derivado de compostos naturais, tendo como matérias-primas ureia, acetato de potássio, vinhaça, extrato de algas e água. É composto por 9% de C<sub>org</sub>, 8% de K<sub>2</sub>O, 3% de N e 79% de ingredientes inertes (Valagro, 2019). O bioestimulante foi aplicado na dose de 1,0 L p.c. ha<sup>-1</sup>.

As parcelas foram constituídas por vasos de polietileno de capacidade de 10 L, distribuídos de maneira uniforme e equidistante em bancadas. Foi utilizada como substrato de cultivo das plantas uma mistura de terra, coletada na camada de 0 a 20 cm de um Latossolo Vermelho Distroférico, e areia, na proporção 2:1. O substrato foi previamente submetido a calagem e gessagem para correção química, e por ocasião da semeadura, foi adubado conforme recomendação para a cultura (Sousa & Lobato,

2004). A cultivar de soja utilizada foi a 77HO110 IPRO<sup>®</sup>, que tem grupo de maturação 7.7 e hábito de crescimento indeterminado. Para cada vaso, foram semeadas cinco sementes, a 2 cm de profundidade, sendo deixadas apenas três plantas aos sete dias após a emergência (DAE). A irrigação foi feita diariamente, com a umidade mantida em torno de 90% da umidade na capacidade de campo do substrato.

Com o intuito de causar intoxicação às plantas de soja, quando a cultura atingiu estágio V<sub>4</sub>, foi feita a aplicação dos tratamentos contendo herbicida. As aplicações foram feitas por um pulverizador costal pressurizado por CO<sub>2</sub> munido de barra com quatro pontas de pulverização tipo TT 110-02 de leque duplo e volume de calda equivalente a 250 L p.c. ha<sup>-1</sup>, quando regulado a 2,5 kgf cm<sup>-2</sup>.

Após dez dias de aplicação do lactofen, foram feitas as avaliações fisiológicas e morfológicas das plantas, bem como a coleta de material para avaliações metabólicas. Para estas avaliações, foram utilizadas duas plantas escolhidas aleatoriamente em cada vaso.

### **2.2 Avaliação das trocas gasosas e da fluorescência da clorofila *a***

As variáveis de trocas gasosas e de fluorescência da clorofila *a* foram obtidas pela análise do folíolo central da folha mais jovem completamente expandida. As avaliações foram feitas entre 8 e 11 h, sem a presença de nebulosidade, utilizando um analisador de gases por infravermelho (IRGA), com radiação fotossinteticamente ativa constante (1.500 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), concentração controlada de CO<sub>2</sub> (400 ppm), temperatura (25°C) e umidade relativa (50%). As trocas gasosas foram avaliadas para registro da taxa fotossintética líquida, taxa transpiratória, condutância estomática de vapor d'água e razão entre a concentração interna e externa de CO<sub>2</sub>. A eficiência instantânea do uso da água foi calculada pela razão entre a taxa fotossintética e a transpiratória. A eficiência de carboxilação foi calculada pela razão entre a taxa fotossintética e a concentração interna de carbono na folha.

Com auxílio do fluorômetro acoplado ao IRGA, as variáveis de fluorescência da clorofila *a* foram obtidas no mesmo folíolo em que foram feitas as medições das trocas gasosas. Foram determinadas as variáveis fluorescência, rendimento quântico efetivo do fotossistema II (Genty et al., 1989), taxa aparente de transporte de elétrons (Bilger et al., 1995) e quenching não fotoquímico (Bilger & Björkman, 1990).

### **2.3 Avaliação do estresse oxidativo**

O controle das espécies reativas de oxigênio foi avaliado pela determinação da atividade das enzimas superóxido dismutase (Giannopolitis & Ries, 1977), catalase (Anderson et al., 1995), peroxidase (Kar & Mishra, 1976) e ascorbato peroxidase (Nakano & Asada, 1981).

Danos em membranas celulares foram mensurados mediante avaliações do conteúdo de peróxido de hidrogênio (Gay & Gebicki, 2000), da taxa de extravasamento de eletrólitos (Vasquez-Tello et al., 1990) e pela determinação da concentração de malonaldeído (Du & Bramlage, 1992).

#### **2.4 Determinação da concentração de pigmentos do cloroplasto**

Para a determinação da concentração dos pigmentos cloroplastídicos, três discos foliares de 0,5 cm de diâmetro foram imersos em 5 mL de dimetilsulfóxido, saturado com carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), em frascos protegidos da luz. Após 6 h de incubação das amostras a 60°C, foram feitas leituras da absorbância do extrato nos comprimentos de onda de 665, 649 e 480 nm. Foram determinados o teor de clorofila *a*, *b* e total, razão entre clorofila *a* e *b* e teor de carotenoides. As concentrações dos pigmentos foram calculadas segundo equações propostas por Wellburn (1994).

#### **2.5 Avaliações morfológicas**

As variáveis morfológicas foram determinadas pela contagem do número de trifólios, ramos e nós. A determinação da altura de plantas foi feita pela medição do colo até a extremidade do último trifólio. A massa seca das folhas, colmo e raízes foi feita através de coleta, secagem e pesagem dos materiais. A área foliar das plantas foi estimada por meio do uso do software ImageJ (Cosmulescu et al., 2020).

Também foram feitas avaliações visuais do grau de fitointoxicação por meio notas atribuídas pela escala EWRC (EWRC, 1964). Esta escala conta com valores de 1 a 9, em que 1 significa ausência de sintomas; 2, pequenas alterações, como descoloração, deformação visíveis em algumas plantas; 3, Pequenas alterações visíveis em muitas plantas, como clorose e encarquilhamento; 4, forte descoloração ou razoável deformação, sem ocorrência de necrose; 5, necrose de algumas folhas, acompanhada de deformação em folhas e brotos; 6, redução no porte das plantas, encarquilhamento e necrose das folhas; 7, mais de 80% das folhas destruídas; 8, danos extremamente graves, sobrando pequenas áreas verdes nas plantas; e 9, morte das plantas.



## **2.6 Avaliações agronômicas**

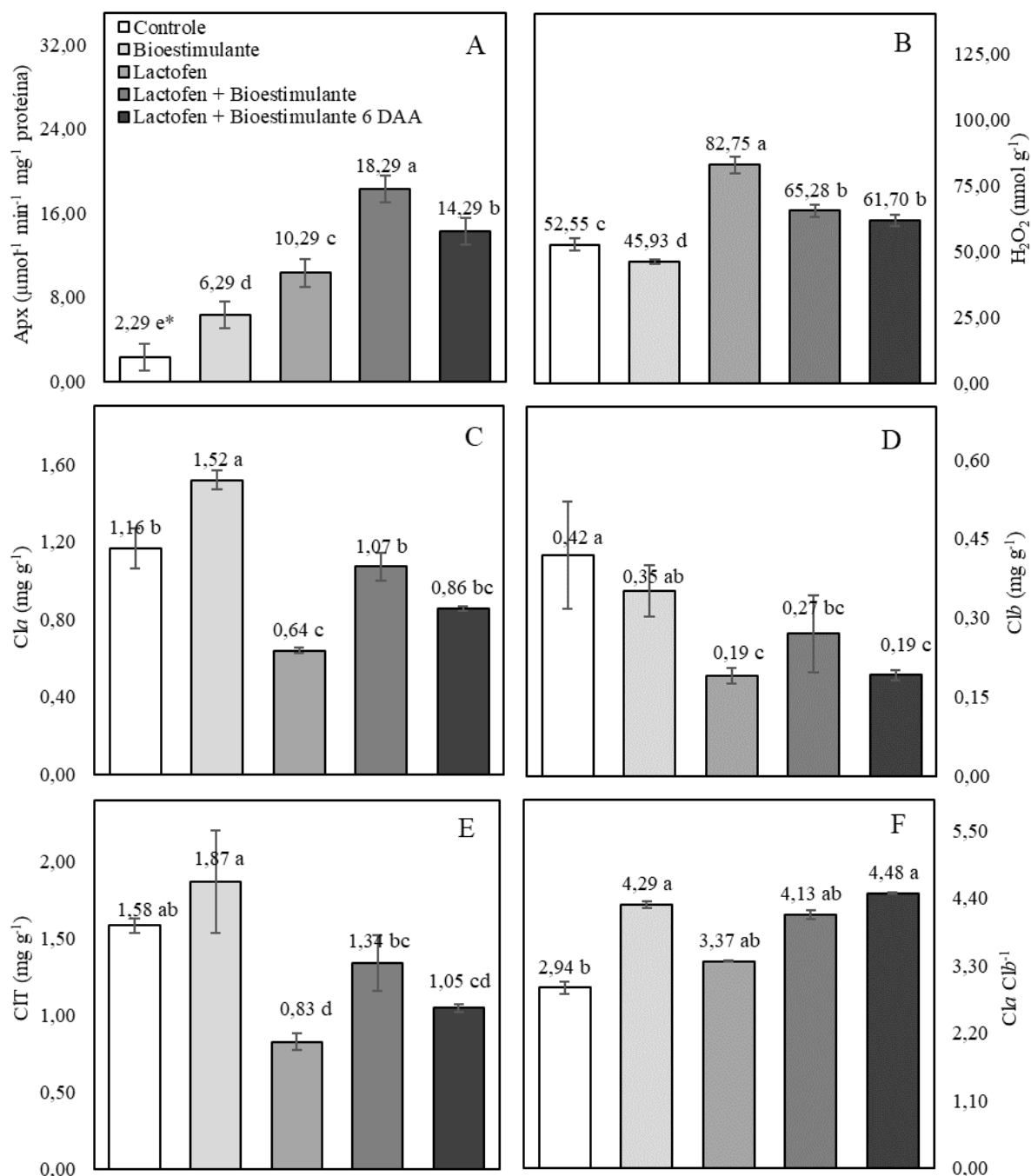
Após as avaliações fisiológicas, metabólicas e morfológicas, foi mantida apenas uma planta por vaso, que foi conduzida até o ponto de colheita para avaliações de altura de inserção da primeira vagem, pela medição do colo até a inserção da primeira vagem; contagem do número de vagens; massa de cem grãos, pela contagem e posterior pesagem de cem grãos a partir da amostra de produção, com correção da umidade para 13%; número de grãos, determinado pela contagem dos grãos; e produção de grãos, pela colheita das plantas, debulha das vagens e pesagem dos grãos com correção da umidade para 13%.

## **2.7 Análises estatísticas**

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo emprego do teste F a 5% de probabilidade. Uma vez constatada significância, foi empregado teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação entre as médias dos tratamentos.

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Como resultado do mecanismo de ação do lactofen baseado na inibição da enzima Protox (Orlowski et al., 2016), houve aumento na atividade de enzimas antioxidantes como a ascorbato peroxidase em todos os tratamentos com aplicação do herbicida (Figura 1<sup>a</sup>) para tentar conter o estresse oxidativo provocado pelo aumento excessivo na quantidade de espécies reativas de oxigênio (Inzé & Montagu, 1995). Mesmo assim, no tratamento em que o herbicida foi aplicado isoladamente, ocorreu aumento de 57% no conteúdo de peróxido de hidrogênio em relação ao tratamento controle (Figura 1B).



\*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

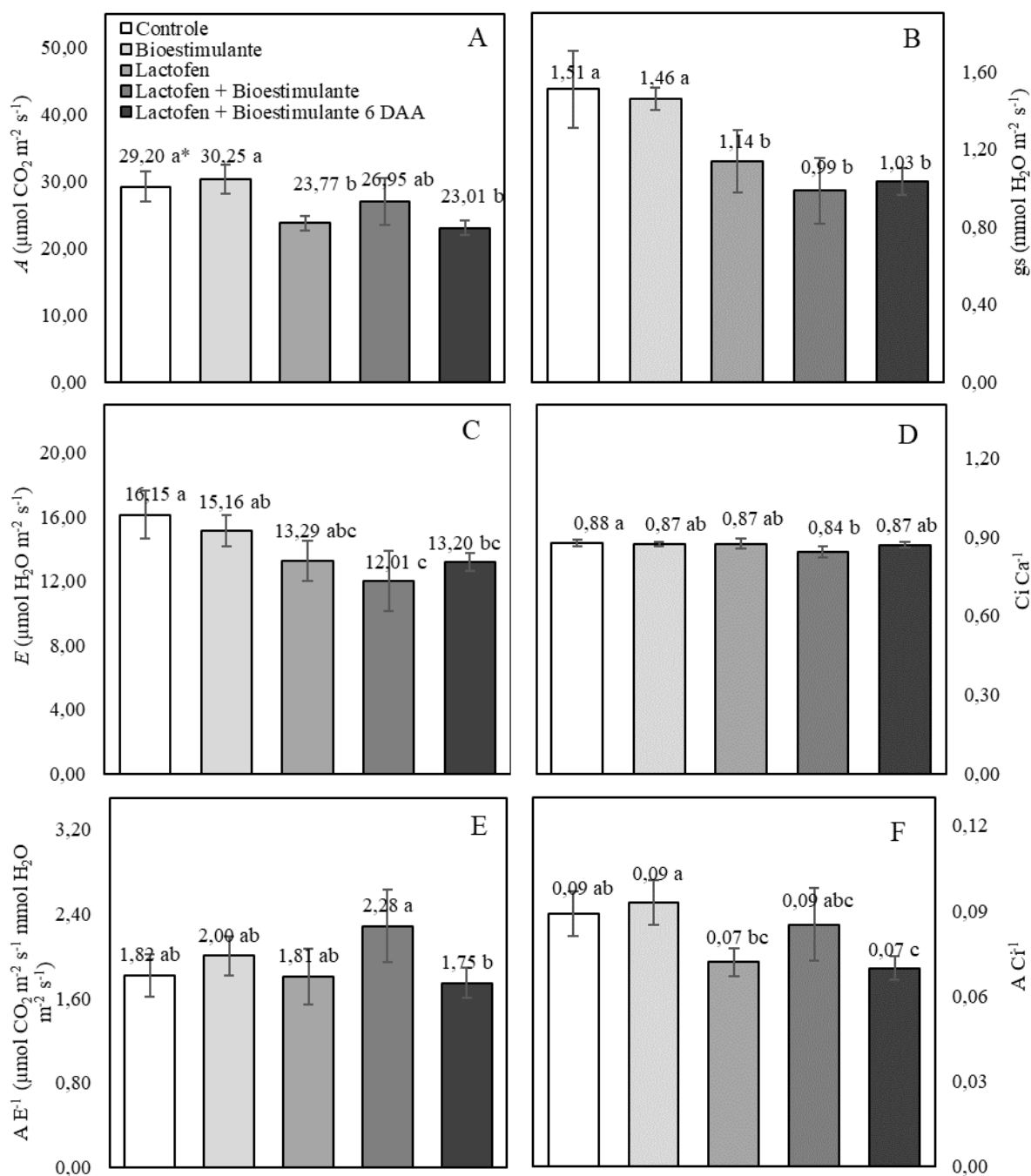
**Figura 1.** Atividade da enzima ascorbato peroxidase (A), conteúdo de peróxido de hidrogênio (B), teor de clorofila *a* (C), *b* (D), total (E) e razão entre clorofila *a* e *b* (F) de plantas de soja submetidas à aplicação de bioestimulante de extrato de algas em distintas épocas em função do herbicida lactofen.

Por outro lado, quando o bioestimulante foi aplicado, independentemente da época, ocorreu aumento ainda maior na atividade da enzima ascorbato peroxidase (Figura 1A), reduzindo o conteúdo de peróxido de hidrogênio em 23% em média (Figura 1B). Este efeito fica ainda mais evidente quando se observa que a mesma

situação ocorreu também para o tratamento controle em comparação com o tratamento com aplicação isolada de bioestimulante. Este resultado provavelmente se deve à ação do extrato de algas *A. nodosum* no estímulo à produção de enzimas antioxidantes pelas plantas, conferindo maior resistência aos danos oxidativos, comuns em vários tipos de estresses bióticos e abióticos (Santaniello et al., 2017; Shukla et al., 2019).

Também ficou evidente a ação do lactofen na inibição da síntese de clorofilas, provocando redução significativa no conteúdo de clorofila *a*, *b* e total no tratamento em que foi aplicado isoladamente quando comparado ao controle (Figuras 1C, D e E, respectivamente). Todavia, a aplicação simultânea do bioestimulante com o herbicida promoveu a manutenção destes pigmentos nas plantas, reduzindo o efeito deletério do herbicida. Inclusive, nas plantas saudáveis, a aplicação isolada do bioestimulante resultou em aumento de 24% no conteúdo de clorofila *a* em relação ao controle. Isso evidencia a capacidade deste produto no estímulo à síntese de clorofilas (Al-Ghamdi et al., 2018.), especialmente pela presença de nitrogênio na formulação (Gai et al., 2017). Este aumento na produção de clorofila *a* no tratamento com aplicação isolada do bioestimulante resultou em maior proporção em relação à clorofila *b* na comparação com o tratamento controle (Figura 1F).

A redução dos pigmentos fotossintetizantes causada pela aplicação isolada do herbicida (Figuras 1C e D) ocasiona diminuição na capacidade de absorção de energia luminosa pelas plantas (Wichert & Talbert, 1993). Este efeito, somado ao aumento de espécies reativas de oxigênio (Figura 1B), que degrada a estrutura dos cloroplastos (Khanna-Chopra, 2012), causou impacto direto sobre a fotossíntese líquida, com redução de 19% na taxa fotossintética em relação ao controle (Figura 2A). Por outro lado, quando o bioestimulante foi aplicado concomitantemente ao herbicida, não houve redução na fotossíntese. Isto provavelmente está relacionado ao estímulo à produção de clorofila *a*, aliado à redução do estresse oxidativo, com proteção das estruturas fotossintéticas, especialmente os fotossistemas (Staykov et al., 2021).



\*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Figura 2.** Fotossíntese (A), transpiração (B), eficiência no uso da água (C), condutância estomática (D), razão entre concentração interna e externa de  $CO_2$  (E) e eficiência de carboxilação (F) de plantas de soja submetidas à aplicação de bioestimulante de extrato de algas em distintas épocas em função do herbicida lactofen.

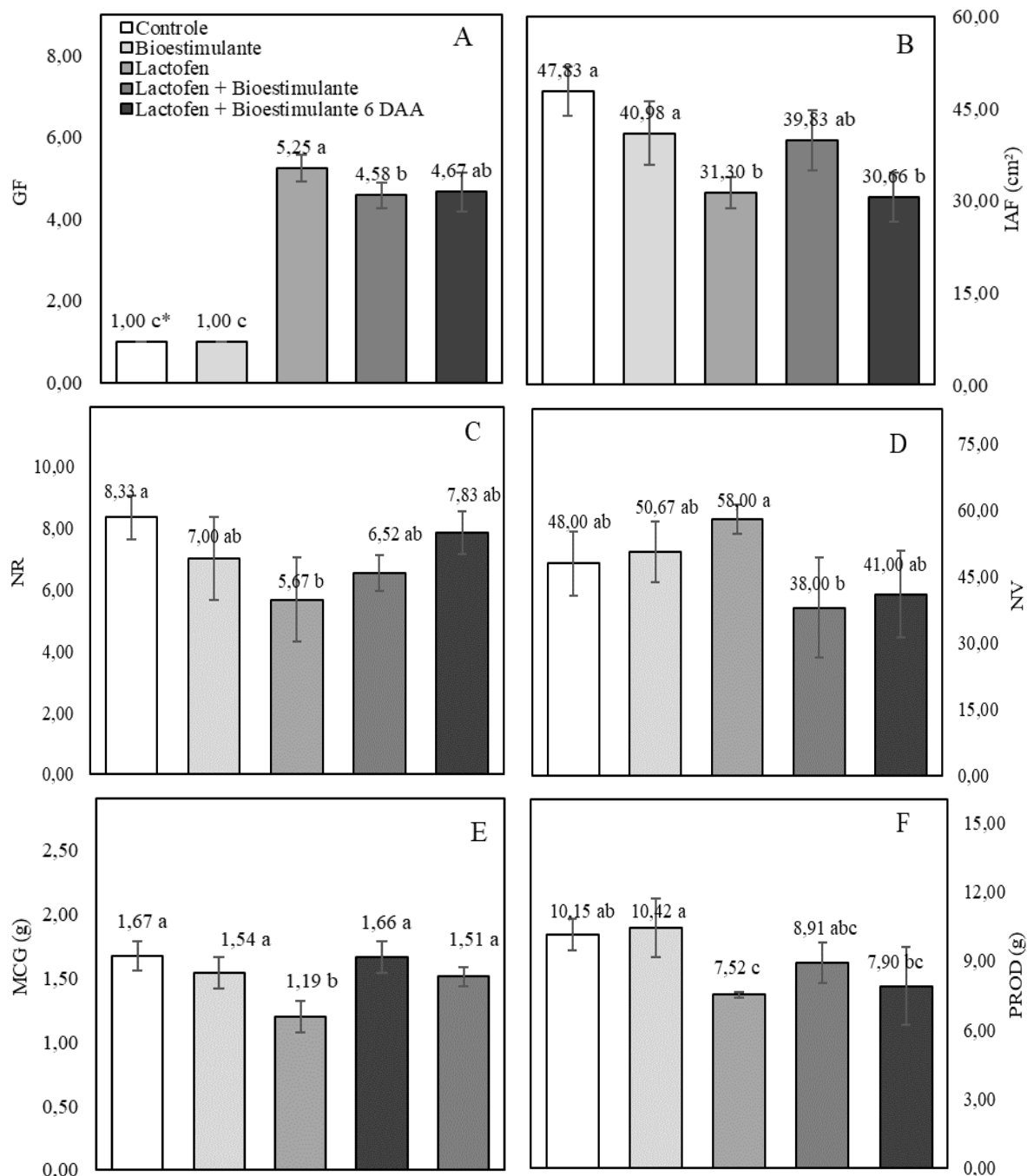
Em contrapartida, a aplicação do bioestimulante aos 6 DAA até resultou em maior conteúdo de clorofila *a* (Figura 1C) em comparação ao tratamento com aplicação isolada do herbicida. Entretanto, não houve manutenção dos valores em relação ao tratamento controle. Provavelmente, por isso, este tratamento não apresentou

recuperação da taxa fotossintética das plantas (Figura 2<sup>a</sup>), levando em consideração que a clorofila *a* é o principal pigmento fotossintetizante presente nas plantas (Buttery & Buzzell, 1977).

O lactofen provocou diminuição na condutância estomática em todos os tratamentos em que foi aplicado (Figura 2B). No tratamento com aplicação simultânea do bioestimulante, ocorreram os menores valores de taxa transpiratória (Figura 2C) e de concentração interna de CO<sub>2</sub> (Figura 2D), com redução de 26% e 5%, respectivamente, em comparação com o tratamento controle. Todavia a baixa transpiração e a menor concentração interna de CO<sub>2</sub>, combinadas com uma taxa fotossintética mais elevada observada no tratamento com aplicação concomitante do herbicida com o bioestimulante (Figura 2A), promoveram os maiores valores de eficiência no uso da água (Figura 2E) e eficiência de carboxilação (Figura 2F) entre os tratamentos com aplicação de herbicida. Ou seja, as plantas deste tratamento não tiveram sua capacidade fisiológica e metabólica comprometida em decorrência da limitação na abertura estomática, uma vez que aproveitaram melhor a água e o CO<sub>2</sub> disponíveis nas folhas.

O melhor aproveitamento do CO<sub>2</sub> disponível é fundamental para a planta, sobretudo naquelas plantas de ciclo C<sub>3</sub>, em que a competição entre fotossíntese e fotorrespiração ocorre de forma intensa (Walker et al., 2016; Iqbal et al., 2019). Normalmente, esta situação tende a se acentuar ainda mais em condições de estresse, em que a disponibilidade de CO<sub>2</sub> diminui, levando ao aumento da fotorrespiração e queda da fotossíntese líquida, por consequência (NOCTOR et al., 2002), o que não ocorreu neste tratamento.

O aumento do estresse oxidativo, combinado com o menor conteúdo de clorofila ocasionado pelo herbicida, resultou em plantas com sintomas de fitointoxicação. Foram observados clorose, necrose e deformação foliar, sintomas comuns em plantas de soja submetidas à aplicação de lactofen (Wichert & Talbert, 1993). Estes sintomas foram ainda mais pronunciados no tratamento com aplicação isolada do herbicida (Figura 3A), situação que resultou em redução de 35% na área foliar das plantas (Figura 3B).



\*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Figura 3.** Grau de fitointoxicação (A), área foliar (B), número de ramos (C) e vagens (D), massa de cem grãos (E) e produção de grãos (F) de plantas de soja submetidas à aplicação de bioestimulante de extrato de algas em distintas épocas em função do herbicida lactofen.

Por outro lado, com a aplicação simultânea do bioestimulante, o grau de fitointoxicação foi reduzido (Figura 3<sup>a</sup>), graças à diminuição do estresse oxidativo e à manutenção dos pigmentos de clorofila proporcionada pelo produto. Esta redução dos danos se refletiu na área foliar das plantas, que apresentaram o mesmo tamanho em

relação ao tratamento controle (Figura 3B), o que também pode ser consequência do estímulo à expansão celular proporcionado pelos precursores hormonais no extrato de *A. nodosum* presente no bioestimulante (Shukla et al., 2019). No entanto, quando o bioestimulante foi aplicado aos 6 DAA, não houve diminuição dos sintomas visuais de fitointoxicação.

Observa-se que o bioestimulante apresenta mais efetividade na redução da fitointoxicação quando aplicado de maneira conjunta com o lactofen. Isso pode estar relacionado ao mecanismo de ação dos compostos orgânicos presentes no extrato de *A. nodosum* diante da forma de ocorrência do estresse (Santaniello et al., 2017). Como observado, o bioestimulante teve mais efeito imediato no combate às ações deletérias do herbicida. Todavia herbicidas inibidores da Protox costumam causar reações em poucas horas após aplicação (Orlowski et al., 2016). Neste sentido, o intervalo de 6 dias entre a aplicação dos produtos pode ter sido longo demais para que ainda houvesse efeito do bioestimulante na mitigação dos efeitos do estresse. Após esse período, com os danos já ocorridos, pouco foi o efeito do bioestimulante na recuperação das plantas já debilitadas.

Os danos causados pelo lactofen aplicado isoladamente reduziram a ramificação das plantas em 32% em relação ao controle (Figura 3C). Apesar disso, a aplicação do bioestimulante, independentemente da época, estimulou o desenvolvimento vegetativo, resultando em plantas mais ramificadas, que não diferiram do tratamento controle (Figura 3C). Este estímulo à ramificação já foi relatado em diversos trabalhos (Guinan et al., 2012; Ali et al., 2016; Di Stasio et al., 2018; Shukla et al., 2019) e tem relação com a alteração no balanço hormonal da planta provocado pelo extrato de *A. nodosum*.

Curiosamente, o tratamento com aplicação isolada do herbicida apresentou plantas com o maior número de vagens (Figura 3D), enquanto com a aplicação simultânea do bioestimulante, houve número menor. Todavia os tratamentos com aplicação conjunta do bioestimulante apresentaram maior massa de cem grãos (Figura 3E), enquanto no tratamento somente com herbicida, ocorreu menor massa de cem grãos.

Como consequência da intoxicação causada às plantas, houve redução de 26% na produção de grãos no tratamento com aplicação isolada do herbicida em comparação ao tratamento controle (Figura 3F). Por outro lado, a diminuição dos danos causada pela aplicação do bioestimulante promoveu manutenção da produção em ambas as épocas

de aplicação. Portanto, a aplicação do bioestimulante se mostra como estratégia interessante para possibilitar maior adoção do lactofen na cultura da soja, uma vez que diminui o impacto negativo do herbicida sobre o desenvolvimento vegetativo e a capacidade produtiva das plantas, sendo necessário salientar a necessidade de trabalhos que avaliem a viabilidade econômica desta solução.

#### 4. CONCLUSÕES

A aplicação do bioestimulante contribui para a redução da intoxicação das plantas de soja provocada pelo lactofen, com retenção das moléculas de clorofila, redução do estresse oxidativo e manutenção da taxa fotossintética, conseqüentemente, ocorrem menores danos aos tecidos.

O bioestimulante foi mais eficaz quando aplicado simultaneamente ao lactofen, apresentando respostas mais efetivas na redução do estresse oxidativo provocado pelo herbicida. Todavia, em qualquer época de aplicação, houve manutenção da produção de grãos.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAPAR. *Bula Cobra*. Disponível em: <<http://www.adapar.pr.gov.br/arquivos/File/defis/DFI/Bulas/Herbicidas/COBRA.pdf>> Acesso em 22 de janeiro de 2018.

ADEGAS, F. S.; VARGAS, L.; GAZZIERO, D. L. P.; KARAM, D. Impacto econômico da resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil. **Circular Técnica**. Embrapa Soja, Londrina, 12p., 2017.

AGREGÁN, R.; MUNEKATA, P. E.; DOMÍNGUEZ, R.; CARBALLO, J.; FRANCO, D.; LORENZO, J. M. Proximate composition, phenolic 38rabidop and in vitro 38rabidopsis38 activity of aqueous extracts of the seaweeds *Ascophyllum nodosum*, *Bifurcaria bifurcata* and *Fucus vesiculosus*. Effect of addition of the extracts on the oxidative stability of canola oil under accelerated storage conditions. **Food Research International**, v. 99, p. 986-994, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.11.009>



AL-GHAMDI, A. A.; ELANSARY, H. O. Synergetic effects of 5-aminolevulinic acid and *Ascophyllum nodosum* seaweed extracts on *Asparagus* phenolics and stress related genes under saline irrigation. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 129, p. 273-284, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.06.008>

ALI, N.; FARRELL, A.; RAMSUBHAG, A.; JAYARAMAN, J. The effect of *Ascophyllum nodosum* extract on the growth, yield and fruit quality of tomato grown under tropical conditions. **Journal of Applied Phycology**, v. 28, n. 2, p. 1353-1362, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0608-3>

ANDERSON, M. D.; PRASAD, T. K.; STEWART, C. R. Changes in isozyme profiles of catalase, peroxidase, and glutathione reductase during acclimation to chilling in mesocotyls of maize seedlings. **Plant Physiology**, v. 109, n. 4, p. 1247-1257, 1995. <https://doi.org/10.1104/pp.109.4.1247>

BARROS, A. C.; UEDA, A.; SCHUMM, K. C. Eficiência e seletividade do lactofen em mistura com outros latifolicidas, na testemunha de plantas daninhas na cultura da soja. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 1, n. 1, p. 79-84, 2000.

BILGER, W.; BJÖRKMAN, O. Role of xanthophyll cycle in photoprotection elucidated by measurements of light-induced absorbance changes, fluorescence and photosynthesis in leaves of *Hedera canariensis*. *Photosynthesis Research*, v. 25, p. 173-185, 1990. <https://doi.org/10.1007/BF00033159>

BILGER, W.; SCHREIBER, U.; BOCK, M. Determination of the quantum efficiency of photosystem II and of non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the field. *Oecologia*, v. 102, p.425-432, 1995. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00341354>

BUTTERY, B. R.; BUZZELL, R. I. The relationship between chlorophyll content and rate of photosynthesis in soybeans. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 57, n. 1, p. 1-5, 1977. <https://doi.org/10.4141/cjps77-001>

COSMULESCU, S.; SCRIECIU, F.; MANDA, M. Determination of leaf characteristics in different medlar genotypes using the ImageJ program. **Horticultural Science**, v. 47, n. 2, p. 117-121, 2020. <https://doi.org/10.17221/97/2019-HORTSCI>

DI STASIO, E.; VAN OOSTEN, M. J.; SILLETTI, S.; RAIMONDI, G.; CARILLO, P.; MAGGIO, A. *Ascophyllum nodosum*-based algal extracts act as enhancers of growth, fruit quality, and adaptation to stress in salinized tomato plants. **Journal of Applied Phycology**, v. 30, n. 4, p. 2675-2686, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1439-9>

DU, Z.; BRAMLAGE, W. J. Modified thiobarbituric acid assay for measuring lipid oxidation in sugar-rich plant tissue extracts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 40, n. 9, p. 1566-1570, 1992. <http://dx.doi.org/10.1021/JF00021A018>

ESPINOSA, N.C.; SILVA, J. F.; SEDIYAMA, T.; CONDÉ, A. R. Tolerância de soja (*Glycine max*) ao herbicida lactofen. **Revista Ceres**, v. 42, n. 1, p. 10-24, 1995. <http://dx.doi.org/10.7824/rbh.v15i3.471>

EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL – EWRC. Report of the 3<sup>th</sup> and 4<sup>th</sup> meetings of EWRC- I of methods in weed research. **Weed Research**, v. 4, n. 1, p. 88, 1964.

GAI, Z.; ZHANG, J.; LI, C. Effects of starter nitrogen fertilizer on soybean root activity, leaf photosynthesis and grain yield. **Plos One**, v. 12, n. 4, p. e0174841, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174841>

GALLON, M.; BUZZELLO, G. L.; TREZZI, M. M.; DIESEL, F.; SILVA, H. L. Ação de herbicidas inibidores da PROTOX sobre o desenvolvimento, acamamento e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.15, n.3, p.232-240, 2016. <https://doi.org/10.7824/rbh.v15i3.471>

GAY, C.; GEBICKI, J. M. A. Critical evaluation of the effect of sorbitol on the ferricylenol orange hydroperoxide assay. **Analytical Biochemistry**, v. 284, p. 217-220, 2000. <https://doi.org/10.1006/abio.2000.4696>

GENTY, B.; BRIANTAIS, J. M.; BAKER, N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta*. v. 990, p. 87-92, 1989. [https://doi.org/10.1016/S0304-4165\(89\)80016-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4165(89)80016-9)

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, v. 59, p. 309–314, 1977. <https://doi.org/10.1104/pp.84.2.450>

GUINAN, K. J.; SUJEETH, N.; COPELAND, R. B.; JONES, W.; O'BRIEN, N. M.; SHARMA, H. S.; O'SULLIVAN, J. T. Discrete roles for extracts of *Ascophyllum nodosum* in enhancing plant growth and tolerance to abiotic and biotic stresses. In: **I World Congress on the Use of Biostimulants in Agriculture 1009**. p. 127-135. 2012. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1009.15>

INZÉ, D.; MONTAGU, M. V. Oxidative stress in plants. *Current opinion in Biotechnology*, v. 6, n. 2, p. 153-158, 1995. [https://doi.org/10.1016/0958-1669\(95\)80024-7](https://doi.org/10.1016/0958-1669(95)80024-7)

IQBAL, N.; HUSSAIN, S.; RAZA, M. A.; YANG, C.; SAFDAR, M. E.; BRESTIC, M.; LIU, J. Drought tolerance of soybean (*Glycine max* L. Merr.) by improved photosynthetic characteristics and an efficient antioxidant enzyme system under a split-root system. *Frontiers in physiology*, v. 10, p. 786, 2019. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00786>

JUNIOR, C. L. K.; WAURECK, A. Associação do uso de bioestimulante e lactofen nas características e na produtividade da cultura da soja. *Revista Scientia Rural*, v. 1, n. 1, 9p., 2020.

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant physiology*, v. 57, n. 2, p. 315-319, 1976. <https://doi.org/10.1104/pp.57.2.315>

KHANNA-CHOPRA, R. Leaf senescence and abiotic stresses share reactive oxygen species-mediated chloroplast degradation. **Protoplasma**, v. 249, n. 3, p. 469-481, 2012.

<https://doi.org/10.1007/s00709-011-0308-z>

LORENZO, J. M.; AGREGÁN, R.; MUNEKATA, P. E.; FRANCO, D.; CARBALLO, J.; ŞAHIN, S.; BARBA, F. J. Proximate composition and nutritional value of three macroalgae: *Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus* and *Bifurcatedopsifurcata*. **Marine drugs**, v. 15, n. 11, p. 360, 2017. <https://doi.org/10.3390/md15110360>

MANGIALARDI, J. P.; ORLOWSKI, J. M.; LAWRENCE, B. H.; BOND, J. A.; GOLDEN, B. R.; CATCHOT, A.; EUBANK, T. W. Growth regulation with lactofen does not affect seed yield of irrigated soybean. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 3, p. 1112-1115, 2016. <https://10.2134/agronj2015.0505>

MÜLLER, D; LEYSER, O. Auxin, cytokinin and the control of shoot branching. **Annals of Botany**, v. 107, n. 7, p. 1203-1212, 2011. <https://doi.org/10.1093/aob/mcr069>

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, v. 22, n. 5, p. 867-880, 1981. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232>

NOCTOR, G.; VELJOVIC-JOVANOVIC, S. O. N. J. A.; DRISCOLL, S.; NOVITSKAYA, L.; FOYER, C. H. Drought and oxidative load in the leaves of C3 plants: a predominant role for photorespiration? **Annals of Botany**, v. 89, n. 7, p. 841-850, 2002. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf096>

ORLOWSKI, J. M.; GREGG, G. L.; LEE, C. D. Early - season lactofen application has limited effect on soybean branch and mainstem yield components. **Crop Science**, v. 56, n. 1, p. 432-438, 2016. <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.08.0482>

PACHECO, A. C.; SOBRAL, L. A.; GORNI, P. H.; CARVALHO, M. E. A. *Ascophyllum nodosum* extract improves phenolic compound content and antioxidant

activity of medicinal and functional food plant *Achillea millefolium* L. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, p. 418-423, 2019.

<https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.03.p1342>

PETROZZA, A.; SANTANIELLO, A.; SUMMERER, S.; DITOMMASO, G.; DITOMMASO, D.; PAPARELLI, E. Physiological responses to Megafol® treatments in tomato plants under drought stress: a phenomic and molecular approach. **Scientia Horticulturae**, v. 174, p. 185-192, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.023>

SANTANIELLO, A.; SCARTAZZA, A.; GRESTA, F.; LORETI, E.; BIASONE, A.; TOMAMASO, D.; PIAGGESI, A.; PERATA, P. *Ascophyllum nodosum* seaweed extract alleviates drought stress by affecting photosynthetic performance and related gene expression. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 15p., 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01362>

SHUKLA, P. S.; MANTIN, E. G.; ADIL, M.; BAJPAI, S.; CRITCHLEY, A. T.; PRITHIVIRAJ, B. *Ascophyllum nodosum*-based biostimulants: Sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance, and disease management. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, 22p., 2019. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00655>

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília, Embrapa, 416 p., 2004.

SPANN, T. M.; LITTLE, H. A. Applications of a commercial extract of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* increases drought tolerance in container-grown 'Hamlin'sweet orange nursery trees. **HortScience**, v. 46, n. 4, p. 577-582, 2011. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.4.577>

STAYKOV, N. S.; ANGELOV, M.; PETROV, V.; MINKOV, P.; KANOJIA, A.; GUINAN, K. J.; GECHEV, T. S. An *Ascophyllum nodosum*-derived biostimulant protects model and crop plants from oxidative stress. **Metabolites**, v. 11, n. 1, p. 24, 2021. <https://doi.org/10.3390/metabo11010024>

VALAGRO. **Bioestimulantes.** Disponível em: <[www.valagro.com/brazil/pt/produtos/farm/bioestimulante/megafol/](http://www.valagro.com/brazil/pt/produtos/farm/bioestimulante/megafol/)> Acesso em 30 de fevereiro de 2019.

VASQUEZ-TELLO, A.; ZUILY-FODIL, Y.; PHAM THI, A. T.; SILVA, J. B. V. Electrolyte and Pi leakages and soluble sugar content as physiological tests for screening resistance to water stress in Phaseolus and Vigna species. **Journal of Experimental Botany**, v. 41, n. 7, p. 827-832, 1990. <https://doi.org/10.1093/jxb/41.7.827>

WALKER, B. J.; VANLOOCKE, A.; BERNACCHI, C. J.; ORT, D. R. The Costs of Photorespiration to Food Production Now and in the Future. **Annual review of plant biology**, v. 67, p. 107, 2016. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-043015-111709>

WANG, F.; LIU, D.; QU, H.; CHEN, L.; ZHOU, Z.; WANG, P. A full evaluation for the enantiomeric impacts of lactofen and its metabolites on aquatic macrophyte *Lemna minor*. **Water Research**, v. 101, p. 55-63, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.05.064>

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophyll a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, v.144, p.307-313, 1994. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2)

WICHERT, R. A.; TALBERT, R. E. Soybean [*Glycine max* (L.)] response to lactofen. **Weed Science**, v. 41, n. 1, p. 23-27, 1993. <https://doi.org/10.1017/S0043174500057520>

XU, C.; LESKOVAR, D. I. Effects of *A. nodosum* seaweed extracts on spinach growth, physiology and nutrition value under drought stress. **Scientia Horticulturae**, v. 183, p. 39-47, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.12.004>

ZHANG, X; ERVIN, E. H. Cytokinin-containing seaweed and humic acid extracts associated with creeping bentgrass leaf cytokinins and drought resistance. **Crop Science**, v. 44, n. 5, p. 1737-1745, 2004. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.1737>



## 6. MATERIAL SUPLEMENTAR

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância da fotossíntese ( $A$ ), transpiração ( $E$ ), eficiência no uso da água ( $A E^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), eficiência de carboxilação ( $A C_i^{-1}$ ), razão entre concentração interna e externa de  $CO_2$  ( $C_i C_a^{-1}$ ), fluorescência ( $F_v F_m^{-1}$ ), rendimento quântico efetivo do fotossistema II ( $\Phi PSII$ ), taxa de transporte de elétrons (ETR) e quenching não fotoquímico (NPQ) de plantas de soja submetidas à aplicação de bioestimulante de extrato de algas em distintas épocas em função do herbicida lactofen.

Fontes de variação	$A$	$E$	$A E^{-1}$	$g_s$	$A C_i^{-1}$
Tratamentos	*	*	*	*	*
CV (%)	8,26	9,44	12,33	11,67	9,94
Fontes de variação	$C_i C_a^{-1}$	$F_v F_m^{-1}$	$\Phi PSII$	ETR	NPQ
Tratamentos	*	ns	ns	ns	ns
CV (%)	1,75	0,86	9,18	9,18	14,25

\* e ns: significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância da atividade das enzimas superóxido dismutase (Sod), catalase (Cat), peroxidase (Pox) e ascorbato peroxidase (Apx), conteúdo de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), da taxa de extravasamento de eletrólitos (TLE), concentração de malonaldeído (Mda), teor de clorofila  $a$  (Cla),  $b$  (Clb) e total (CIT), razão entre clorofila  $a$  e  $b$  ( $Cla Clb^{-1}$ ) e teor de carotenoides (Car) de plantas de soja submetidas à aplicação de bioestimulante de extrato de algas em distintas épocas em função do herbicida lactofen.

Fontes de variação	Sod	Cat	Pox	Apx	$H_2O_2$	TLE
Tratamentos	ns	ns	ns	*	*	ns
CV (%)	14,58	12,57	9,87	12,54	3,72	17,91
Fontes de variação	Mda	Cla	Clb	CIT	$Cla Clb^{-1}$	Car
Tratamentos	ns	*	*	*	*	ns
CV (%)	10,67	14,59	7,82	14,15	17,25	17,17

\* e ns: significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F. CV: coeficiente de variação.



**Tabela 3.** Resumo da análise de variância de altura de plantas (AP), número de trifólios (NT), ramos (NR) e nós (NN), massa seca das folhas (MSF), do colmo (MSC) e das raízes (MSR), área foliar (IAF), grau de fitointoxicação (GF), altura da primeira vagem (APV), número de vagens (NV), massa de cem grãos (MCG), número de grãos (NG) e produção de grãos (PROD) de plantas de soja submetidas à aplicação de bioestimulante de extrato de algas em distintas épocas em função do herbicida lactofen.

Fontes de variação	AP	NT	NR	NN	MSF	MSC	MSR
Tratamentos	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
CV (%)	6,87	23,32	14,18	3,20	11,47	17,48	8,98
Fontes de variação	IAF	GF	APV	NV	MCG	NG	PROD
Tratamentos	*	*	ns	*	*	ns	*
CV (%)	11,14	8,84	15,13	17,28	7,51	13,67	11,97

\* e ns: significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

### CAPÍTULO 3

APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTE À BASE DE *Ascophyllum nodosum* É CAPAZ DE ATENUAR AS INJÚRIAS CAUSADAS POR LACTOFEN NA SOJA?

**Resumo:** Graças à sua ação antioxidante, bioestimulantes à base de *A. nodosum* podem ser uma estratégia interessante no intuito de minimizar a fitointoxicação causada por herbicidas inibidores da enzima PROTOX sobre a soja, como o lactofen. Com intenção de verificar este efeito, foi conduzido um experimento à campo repetido nas safras 2017/18 e 2018/19, empregando o delineamento de blocos casualizados com seis repetições e quatorze tratamentos. Os tratamentos estavam dispostos em arranjo fatorial  $(3 \times 4) + 2$ , constituindo-se de doses crescentes do bioestimulante (0,33; 0,66 e 0,99 L p.c. ha<sup>-1</sup>) aplicadas em quatro épocas em relação à aplicação do lactofen (0; 3; 6 e 9 DAA). Os tratamentos adicionais foram compostos pela aplicação isolada de lactofen (sem bioestimulante) e uma testemunha sem aplicação de lactofen e bioestimulante. A aplicação do lactofen resulta em diminuição do porte das plantas de soja, que culmina em prejuízo sobre os componentes produtivos, acarretando menor produtividade de grãos e diminuição da rentabilidade. Por outro lado, quando associado à aplicação do bioestimulante, ocorre minimização dos danos, resultando em menor impacto sobre a produção e a lucratividade. A diminuição dos danos pela aplicação do lactofen é maior quando o bioestimulante é aplicado aos três dias após o herbicida, na dose de 0,33 L p.c. ha<sup>-1</sup>, ou, aos seis dias após o herbicida, na dose de 0,99 L p.c. ha<sup>-1</sup>. Todavia a aplicação mais precoce com doses mais baixas resulta em maior rentabilidade. Neste sentido, o bioestimulante à base de *A. nodosum* é uma alternativa viável para permitir maior adesão do herbicida lactofen para o controle de plantas daninhas na cultura da soja.

**Palavras-chave:** fitointoxicação, *Glycine max* L, redução de perdas.

## 1. INTRODUÇÃO

O uso recorrente e massivo de poucos princípios ativos no controle de plantas daninhas na cultura da soja RR<sup>®</sup> tem levado à seleção de plantas daninhas resistentes e à diminuição da eficiência de controle das espécies que compõem a comunidade infestante (Adegas et al., 2017). Em resposta a este problema, tem ocorrido pressão para a diversificação de princípios ativos, o que tem levado ao aumento na utilização de herbicidas que apresentavam baixa adesão de uso após a introdução das cultivares de soja RR<sup>®</sup> (Concenço & Grigolli, 2015).

Alguns destes produtos têm como mecanismo de ação a inibição da enzima PROTOX, que resulta em acúmulo de Proto IX no cloroplasto, que é extravasado para o citoplasma, se oxidando naturalmente e formando a protoporfirina IX (Wichert & Talbert, 1993). Este é um composto fotodinâmico que interage com o oxigênio formando espécies reativas (EROs), provocando estresse oxidativo nas plantas (Ferreira et al., 2011).

Um destes produtos é o lactofen, um latifolicida registrado para uso na cultura da soja. Apesar de ter eficiência comprovada no controle de plantas daninhas (Barros et al., 2000), o lactofen é reconhecido por sua reação de intoxicação das plantas de soja, causando clorose, necrose e redução no porte das plantas e até redução da produtividade (Silva et al., 1995; Gallon et al., 2016), o que restringe sua utilização.

Neste sentido, estratégias que minimizem o efeito de fitointoxicação deste herbicida sobre a soja são essenciais para permitir um maior leque de opções de produtos eficientes no controle de plantas daninhas sem impactos na performance da cultura. Uma alternativa na redução deste estresse é o uso de bioestimulantes, sobretudo os derivados de extrato de algas *Ascophyllum nodosum*. Graças ao pool de compostos orgânicos (fito-hormônios, aminoácidos e metabólitos secundários) presentes em sua composição (Lorenzo et al., 2017), estes produtos são capazes de reduzir as espécies reativas de oxigênio pelo estímulo à produção e à atividade de enzimas antioxidantes, bem como pela minimização dos danos causados por estes compostos nos tecidos vegetais (Santaniello et al., 2017).

A redução de estresse oxidativo pela aplicação de bioestimulantes à base de extrato de algas *A. nodosum* tem mostrado resultados positivos em diversos tipos de plantas, incluindo citros (Spann & Little, 2011), tomate (Petrozza et al., 2014), grama (Zhang & Ervin, 2004) e espinafre (Xu & Leskovar, 2015). Nestas plantas, a aplicação

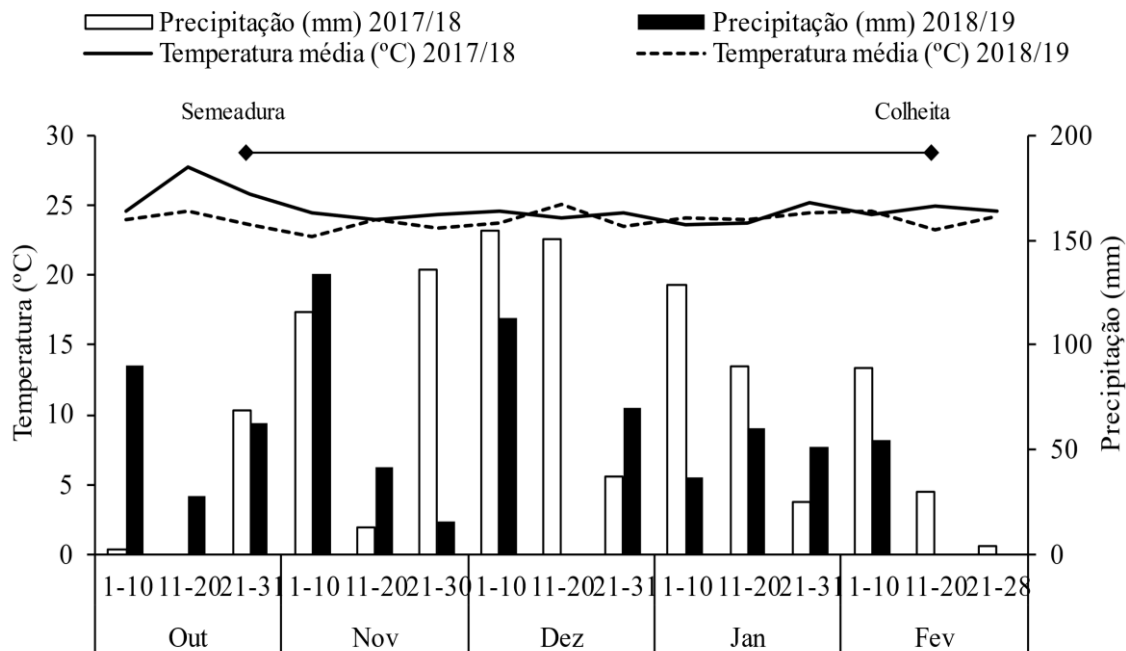
de bioestimulante promoveu recuperação na capacidade fotossintética, desenvolvimento e produção. Entretanto, há carência de informações acerca dos efeitos destes produtos na redução de estresses abióticos na soja, sobretudo com enfoque na redução de danos por fitointoxicação causada pela aplicação de herbicidas. Soma-se a isso a falta de recomendações técnicas acerca de doses e épocas de aplicação ideais para a cultura.

Neste sentido, objetivou-se avaliar o efeito de redução da intoxicação de plantas de soja por lactofen pela aplicação de um bioestimulante à base de extrato de algas *A. Nodosum* em diferentes doses e épocas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Condições de condução experimental

O experimento foi instalado a campo, no município de Montividiu, Goiás, nos anos agrícolas 2017/18 (17°31,296' S; 51°13,318' O; 878 m de altitude) e 2018/19 (17°31'30,29"S; 51°13'14,35"O; 866 m de altitude). O clima da região é classificado como Aw (clima tropical com estação seca de inverno) conforme classificação de Köppen. Os dados de precipitação e temperatura média do ar durante a condução dos experimentos estão apresentados na Figura 1.



**Figura 1.** Valores médios de precipitação (mm) e de temperatura média do ar (°C) durante a condução do experimento de aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safras 2017/18 e 2018/19.

A área experimental foi caracterizada por apresentar um Latossolo Vermelho distroférico, cultivada sob semeadura direta na palha há vinte anos, com cultivo de milho em sucessão à soja. Foram feitas amostragens de solo nas profundidades de 0 a 10 e de 10 a 20 cm. Posteriormente, foi feita a interpretação das características químicas do solo de acordo com Ribeiro et al. (1999), classificando os atributos em muito alto (MA), alto (A), médio (M), baixo (B) e muito baixo (MB). Os valores com as classificações dos parâmetros da análise do solo nas duas camadas amostradas para a safra 2017/18 foram, respectivamente: pH em CaCl<sub>2</sub>: 4,30 e 3,90 (B); Ca: 4,50 (MA) e 1,80 (M); Mg: 1,00 (A) e 0,30 (B); K: 0,26 e 0,21 (A); Al: 0,25 e 0,30 (B); H+Al: 3,50 e 4,70 (A); SB: 5,70 (A) e 2,30 (M); CTC: 9,30 (A) e 7,00 (M), em cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; P: 25,50 (MA) e 8,90 (M) mg dm<sup>-3</sup>; M.O.: 45,90 (A) e 32,10 (M) g dm<sup>-3</sup>; m%: 4,20 e 11,40 (MB); v%: 62 (A) e 33 (B); argila: 540 e 570; silte: 100 e 80; e areia: 360 e 350, em g kg<sup>-1</sup>.

Na safra 2018/19, os valores e classificações obtidos foram: pH em CaCl<sub>2</sub>: 5,29 e 5,29 (M); Ca: 4,30 (MA) e 3,80 (A); Mg: 0,80 e 0,70 (M); K: 0,49 e 0,47 (MA); Al: 0,05 e 0,05 (MB); H+Al: 4,60 e 4,10 (B); SB: 5,70 e 5,00 (A); CTC: 10,30 e 9,10 (A), em cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; P: 37,20 e 21,20 (MA); S: 8,10 e 8,70 (M) em mg dm<sup>-3</sup>; M.O.: 27,30 e 22,40 (M) g dm<sup>-3</sup>; m%: 0,80 e 1,00 (MB); v%: 55,00 e 55,00 (M); argila: 48 e 49%; silte: 8 e 10%; e areia: 44 e 41%.

Em ambos os anos, foi adotado esquema fatorial (3x4) + 2 com delineamento de blocos ao acaso, com quatorze tratamentos e seis repetições. Os tratamentos corresponderam à utilização de doses crescentes do bioestimulante Megafol<sup>®</sup> (0,33; 0,66 e 0,99 L p.c. ha<sup>-1</sup>), aplicadas em quatro épocas em relação à aplicação do herbicida lactofen (0; 3; 6 e 9 dias após aplicação de lactofen), mais a testemunha (0,00 L p.c. ha<sup>-1</sup> de Megafol<sup>®</sup>), e um tratamento adicional (sem aplicação de lactofen e Megafol<sup>®</sup>). O bioestimulante Megafol<sup>®</sup> é derivado de compostos naturais, tendo como ingredientes a ureia, acetato de potássio, vinhaça e extrato de algas (*A. Nodosum*). Sua composição é caracterizada por conter 9% de C<sub>org</sub>, 8% de K<sub>2</sub>O, 3% de N e 79% de ingredientes inertes (Valagro, 2018).

As parcelas experimentais continham cinco linhas de 6,0 m de comprimento, espaçadas de 0,5 m. A área útil foi obtida levando em consideração as duas linhas centrais, desconsiderando 0,5 m de cada extremidade, apresentando, portanto, 5,0 m<sup>2</sup>.

Na primeira safra, foi utilizada a cultivar M7110 IPRO<sup>®</sup> (grupo de maturação 6.8 e de hábito de crescimento indeterminado), com densidade de semeadura de 465 mil

sementes  $\text{ha}^{-1}$ . Já na segunda safra, em função da disponibilidade de sementes no mercado e representatividade de cultivo na região, usou-se a cultivar Brasmax Única 68I68 RSF IPRO® (grupo de maturação 6.8 e de hábito de crescimento indeterminado), com densidade de semeadura de 400 mil sementes  $\text{ha}^{-1}$ . A semeadura foi feita de forma mecanizada, com uso de semeadora pneumática de cinco linhas, e profundidade de semeadura de 3 cm. Esta operação foi feita após o estabelecimento do período chuvoso na região, o qual ocorreu em 30 de outubro de 2017 e 25 de outubro de 2018, para o primeiro e segundo ano de experimento, respectivamente. A adubação foi baseada em informações contidas nas análises químicas do solo e nas recomendações para obtenção de altas produtividades na cultura da soja (Sousa & Lobato, 2004). Para não afetar o desenvolvimento das plantas, o manejo fitossanitário (controle de plantas daninhas, pragas e doenças) foi feito em função das necessidades da cultura.

O herbicida lactofen foi aplicado no estágio  $V_4$  na dose de 168 g i.a.  $\text{ha}^{-1}$ , conforme recomendação para uso na cultura da soja (Wichert & Talbert, 1993). As aplicações do herbicida e do bioestimulante foram feitas por um pulverizador costal pressurizado por  $\text{CO}_2$ , munido de barra com quatro pontas de pulverização tipo TT 110-02 de leque duplo e volume de calda equivalente a 150 L p.c.  $\text{ha}^{-1}$ , quando regulado a 2,5  $\text{kgf cm}^{-2}$ .

A colheita da primeira safra foi feita em 17 de fevereiro de 2018 (105 dias após a emergência). A segunda safra, por sua vez, foi colhida em 14 de fevereiro de 2019 (106 dias após a emergência).

## 2.2 Avaliações

Por ocasião da colheita dos experimentos, na área útil das parcelas, foram escolhidas cinco plantas aleatoriamente, nas quais foram feitas as seguintes avaliações: altura de plantas (AP), pela medição do colo até a extremidade do último trifólio; altura de inserção da primeira vagem (APV), pela medição do colo até a inserção da primeira vagem; contagem do número de ramos (NR), número de vagens na haste principal (VP) hastes secundárias (VS) e número de vagens total (VT), bem como o número de grãos por planta (NG). Na área útil das parcelas também foram determinadas a população de plantas (POP), pela contagem do número de plantas; massa de mil grãos (MMG), com contagem e posterior pesagem de mil grãos da amostra de produtividade, com correção da umidade para 13%, e a produtividade de grãos (PROD), pela colheita das plantas, com debulha das vagens e pesagem dos grãos, com correção da umidade para 13%.

Para a determinação da rentabilidade do uso do bioestimulante (Equação 1), foi levado em consideração o valor da saca de 60 kg de grãos de soja de R\$ 60,00 e R\$ 67,50 para as safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente. Também foram considerados o custo da aplicação mecanizada (R\$ 25,00 ha<sup>-1</sup>) e o preço do bioestimulante Megafol<sup>®</sup> nas doses dos respectivos tratamentos, por ocasião da implantação do ensaio (R\$ 54,40 L<sup>-1</sup> e R\$ 59,90 L<sup>-1</sup> para as safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente). Os valores utilizados para o cálculo da rentabilidade do uso do bioestimulante foram obtidos no mercado no município de Rio Verde, Goiás.

(1)

$$RENT = \frac{(PROD\ Tratam(i) - PROD\ Test)}{60} \times (\text{valor saca de soja}) - (\text{custo da aplicação})$$

PROD Tratam(i): produtividade de grãos em cada dose do bioestimulante

PROD Test: produtividade de grãos do tratamento testemunha (0,00 L p.c. ha<sup>-1</sup> de Megafol<sup>®</sup>);

### 2.3 Análises estatísticas

Todos os dados foram submetidos à análise de variância com emprego do teste F (exceto para a variável rentabilidade) a 5% de probabilidade. Quando constatada significância para determinada fonte de variação, foram feitos os testes de comparação de médias entre os tratamentos. Para o fator épocas, foi feito o teste de Tukey a 5% de probabilidade, enquanto para o fator doses, foi aplicado o teste de regressão polinomial. Além disso, foi feito o teste de Dunnett a 5% de probabilidade para comparação das médias de cada tratamento com o tratamento adicional (sem aplicação de lactofen e Megafol<sup>®</sup>).

Optou-se por tratar o fator épocas como qualitativo, levando em consideração a realidade do manejo de aplicação de produtos foliares no campo, em que, na maioria das vezes, existem intervalos predefinidos para entrada na lavoura ou épocas de aplicação que coincidam com a de outros produtos fitossanitários. Neste contexto, encontrar épocas de aplicação com valores fragmentados (situação comum para fatores quantitativos em análises de regressão) deixa de fazer sentido.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Safra 2017/18



Em todos os tratamentos testados, as plantas apresentaram redução de porte com a aplicação do herbicida lactofen (Tabela 1), evidenciando a ação deletéria provocada pelo herbicida sobre o desenvolvimento da cultura da soja, como resultado do estresse oxidativo promovido pela inibição da enzima PROTOX (Gallon et al., 2016). Este herbicida, inclusive, tem sido utilizado a título de regulador de crescimento para a soja cultivada em alta população como estratégia para reduzir a ocorrência de tombamento por meio da diminuição de porte das plantas (Novakoski et al., 2020).

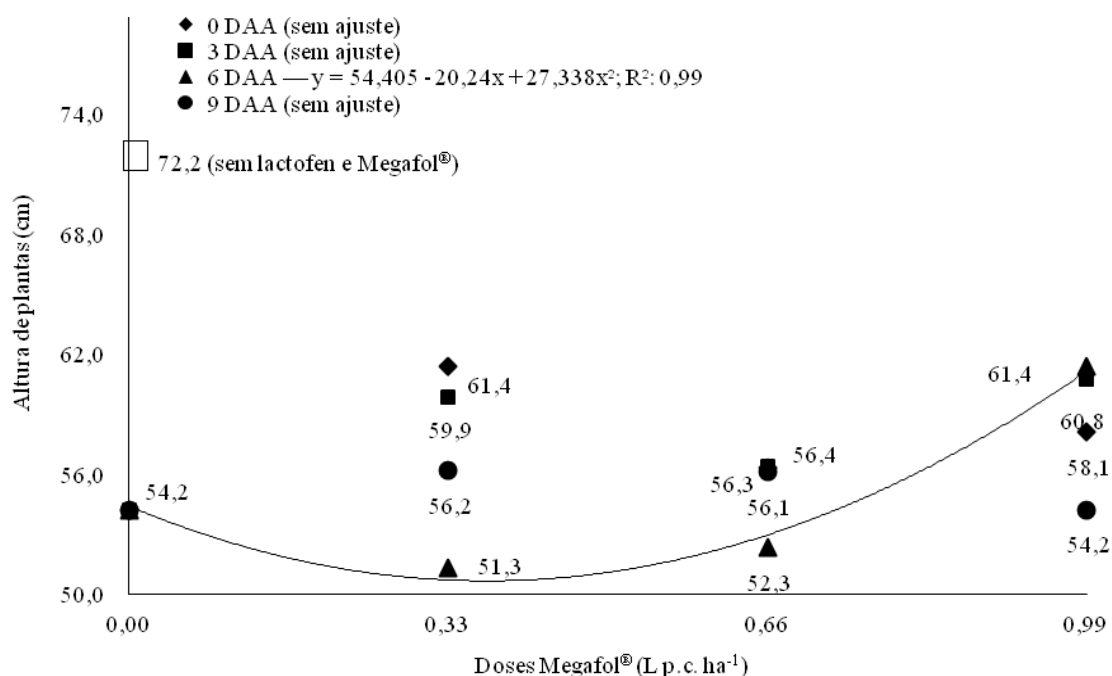
**Tabela 1.** Valores da altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem e número de ramificações em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2017/18.

Épocas de aplicação	Doses de Megafol® (L p.c. ha <sup>-1</sup> )				Médias
	0,00	0,33	0,66	0,99	
Altura de plantas (cm)					
0 DAA		61,4 a*	56,3 a*	58,1 ab*	57,5
3 DAA	54,2 *	59,9 ab*	56,4 a*	60,8 a*	57,8
6 DAA		51,3 c*	52,3 a*	61,4 a*	54,8
9 DAA		56,2 bc*	56,1 a*	54,2 b*	55,2
Médias		57,2	55,3	58,6	56,3
Sem lactofen e Megafol®	72,2				
Altura de inserção da primeira vagem (cm)					
0 DAA		10,6 ab	11,5 a	10,4 a	10,8
3 DAA	10,8	9,9 b	10,9 a	11,4 a	10,8
6 DAA		10,3 b	11,0 a	11,3 a	10,8
9 DAA		11,8 a	11,3 a	10,6 a	11,1
Médias		10,6	11,2	10,9	10,9
Sem lactofen e Megafol®	11,0				
Número de ramificações					
0 DAA		2,7 a	2,1 b	2,9 a*	2,6
3 DAA	2,8	2,7 a	2,2 b	1,8 a	2,4
6 DAA		3,0 a*	3,3 a*	2,0 a	2,8

9 DAA	2,3 a	1,8 b	2,1 a	2,2
Médias	2,7	2,3	2,2	2,5
Sem lactofen e Megafol®	4,0			

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \* diferença significativa entre o tratamento e o tratamento adicional pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. DAA: dias após aplicação de lactofen.

No entanto, a aplicação do bioestimulante minimizou o efeito de redução no porte das plantas provocado pelo herbicida lactofen (Figura 2). Quando aplicado aos 6 DAA, o aumento no porte das plantas ocorreu simultaneamente ao aumento de doses do Megafol®, resultando em acréscimo de 12% no porte da cultura na maior dose do produto em comparação à testemunha.

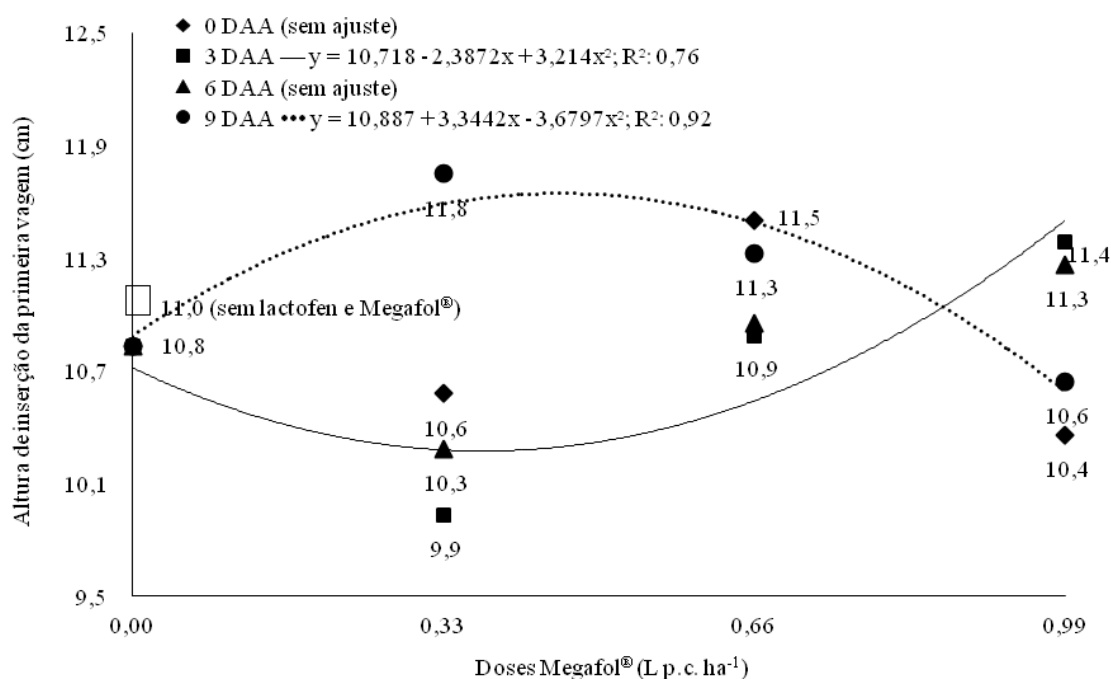


**Figura 2.** Regressão polinomial da altura de plantas em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2017/18. DAA: dias após aplicação de lactofen.

Com relação às épocas de aplicação, para a dose de 0,33 ha<sup>-1</sup> de Megafol®, foi observado menor redução no porte de plantas na aplicação feita aos 0 DAA do que nas aplicações feitas mais tardiamente (6 e 9 DAA) (Tabela 1). Já para a dose de 0,99 L p.c. ha<sup>-1</sup>, foram observadas maiores alturas de plantas nas épocas de aplicações intermediárias (3 e 6 DAA) em relação à última época (9 DAA).

Portanto, a capacidade de recuperação no desenvolvimento das plantas está relacionada tanto à dose do bioestimulante quanto à época de aplicação em função do estresse. Quando se aplica o bioestimulante mais precocemente, ocorre maior estímulo ao crescimento em dosagens mais baixas. Quando a aplicação é feita mais tardiamente, é necessário aumentar a dose para obter resposta semelhante.

A altura de inserção da primeira vagem, variável correlata à altura da planta, também teve valores superiores na maior dose testada do bioestimulante para a aplicação feita aos 3 DAA (Figura 3), com aumento de 6% em relação à testemunha. Por outro lado, para a aplicação feita aos 9 DAA, houve acréscimo de até 8% nos valores na dose de 0,45 L p.c. ha<sup>-1</sup>, com posterior decréscimo. Com relação às épocas (Tabela 1), ocorreram maiores valores de altura de inserção da primeira vagem para a época 9 DAA em relação às épocas 3 e 6 DAA na dose de 0,33 L p.c. ha<sup>-1</sup> do bioestimulante. Com o aumento da altura da primeira vagem, ocorre maior vão livre do solo, o que pode se refletir na diminuição das perdas durante a colheita mecanizada, proporcionando maior produtividade (Chioderoli et al., 2012).

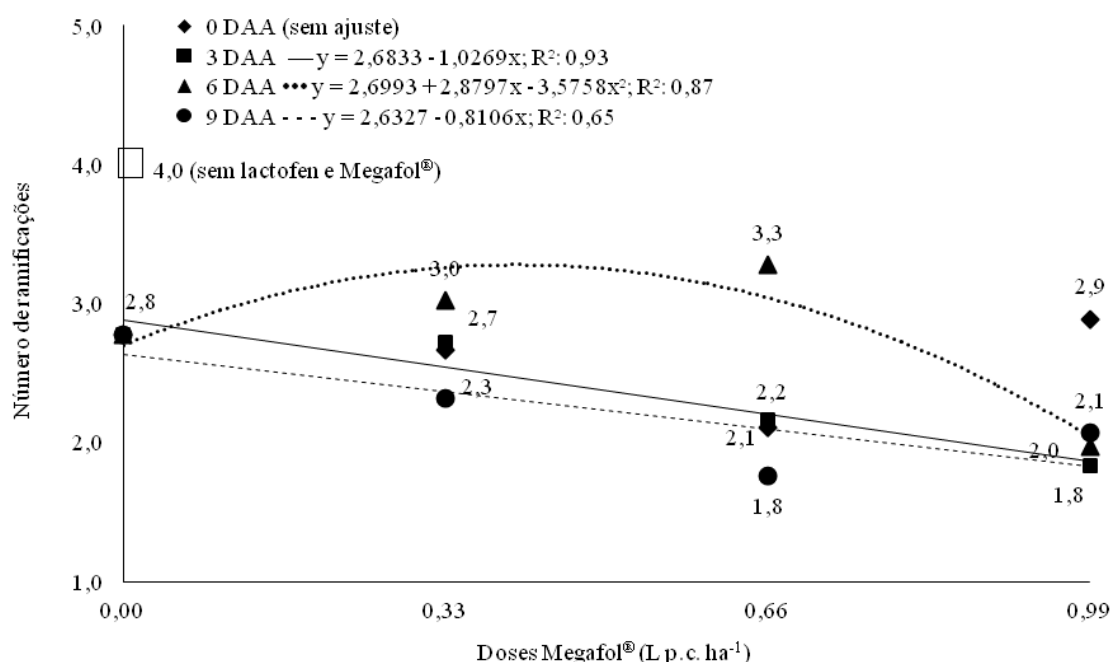


**Figura 3.** Regressão polinomial da altura de inserção da primeira vagem em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2017/18. DAA: dias após aplicação de lactofen.

A manutenção do porte das plantas observada nos tratamentos com aplicação do bioestimulante é decorrente do estímulo ao crescimento proporcionado pelos

componentes encontrados no produto, sobretudo, no extrato de *Ascophyllum nodosum*. Neste extrato, ocorre presença de precursores de fitormônios como auxina e citocinina que atuam no crescimento vegetal pelo aumento da divisão e expansão celular (Guinan et al., 2012; Ali et al., 2016; Di Stasio et al., 2018; Shukla et al., 2019).

A aplicação do bioestimulante também resultou em aumento na ramificação das plantas (Figura 4). Quando aplicado aos 6 DAA, proporcionou incremento no número de ramos até a dose de 0,40 L p.c. ha<sup>-1</sup> de Megafol<sup>®</sup>, com aumento de 17%. Por outro lado, houve decréscimo linear do número de ramificações da planta nas aplicações feitas aos 3 e 9 DAA, com o aumento das doses do bioestimulante (Figura 4). Este efeito pode ser reflexo da alteração no balanço hormonal da planta provocada pela presença de diferentes precursores hormonais no bioestimulante, especialmente entre auxina - que estimula a dominância apical e o crescimento das plantas - e citocinina - que estimula a ramificação (Müller & Leyser, 2011). Já quando observado o efeito das épocas em função das doses, verifica-se aumento da ramificação para as plantas na dose de 0,66 L p.c. ha<sup>-1</sup>, situação em que houve predominância da época de aplicação 6 DAA sobre as demais (Tabela 1).



**Figura 4.** Regressão polinomial do número de ramificações em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2017/18. DAA: dias após aplicação de lactofen.

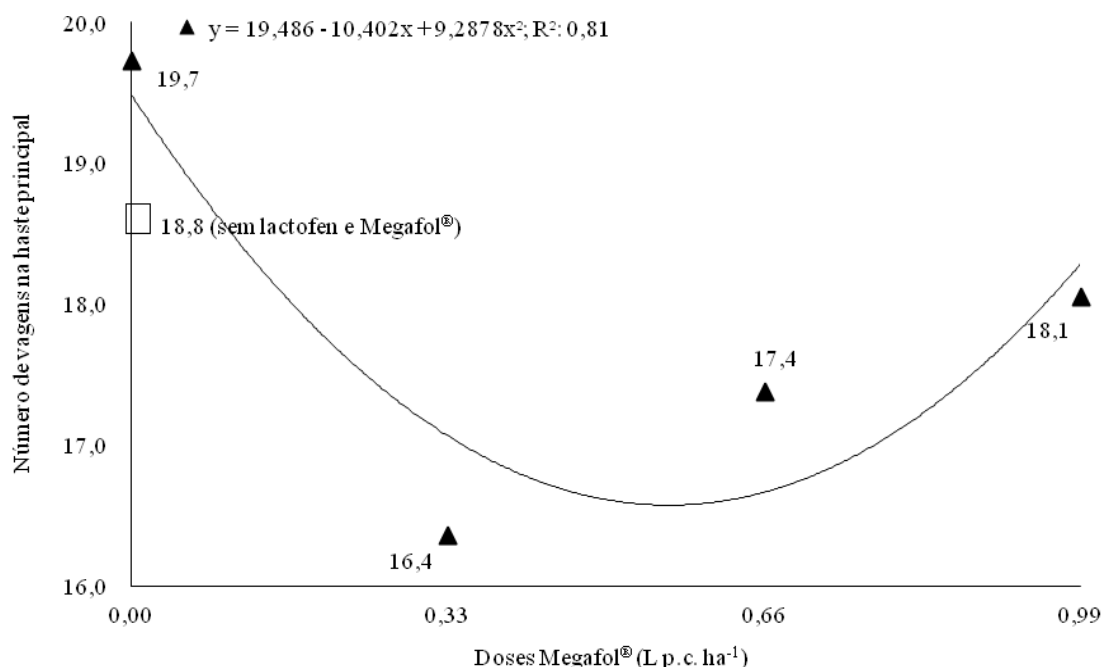
Quando aplicado aos 3 DAA, o bioestimulante promoveu maior número de vagens na haste principal do que aos 6 DAA (Tabela 2). Já com relação às doses do bioestimulante, ocorreu decréscimo nos valores desta variável até a dose de 0,56 L p.c. ha<sup>-1</sup>, com posterior acréscimo (Figura 5). No entanto, todos os tratamentos apresentaram valores semelhantes ao do tratamento sem aplicação do lactofen.

**Tabela 2.** Valores do número vagens nas hastes principal, secundárias e total em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2017/18.

Épocas de aplicação	Doses de Megafol® L p.c. ha <sup>-1</sup>				Médias
	0,00	0,33	0,66	0,99	
Número de vagens na haste principal					
0 DAA	19,7	15,5	17,4	18,4	17,8 ab
3 DAA		17,1	18,1	20,7	18,9 a
6 DAA		15,8	16,7	14,8	16,7 b
9 DAA		17,1	17,3	18,3	18,1 ab
Médias		16,4	17,4	18,1	17,9
Sem lactofen e Megafol®	18,8				
Número de vagens nas hastes secundárias					
0 DAA	6,9 *	6,2 a*	6,7 a*	7,9 a*	6,9
3 DAA		8,0 a*	7,0 a*	6,0 a*	7,0
6 DAA		6,2 a*	7,4 a*	6,1 a*	6,6
9 DAA		6,0 a*	4,0 a*	4,9 a*	5,4
Médias		6,6	6,3	6,2	6,5
Sem lactofen e Megafol®	14,2				
Número de vagens total					
0 DAA	26,6	21,7 a*	24,2 a*	26,3 a	24,7
3 DAA		25,1 a*	25,1 a*	26,7 a	25,9
6 DAA		21,9 a*	24,1 a*	20,9 a*	23,4
9 DAA		23,1 a*	21,2 a*	23,1 a*	23,5
Médias		23,0	23,7	24,3	24,4
Sem lactofen e	32,9				

## Megafol®

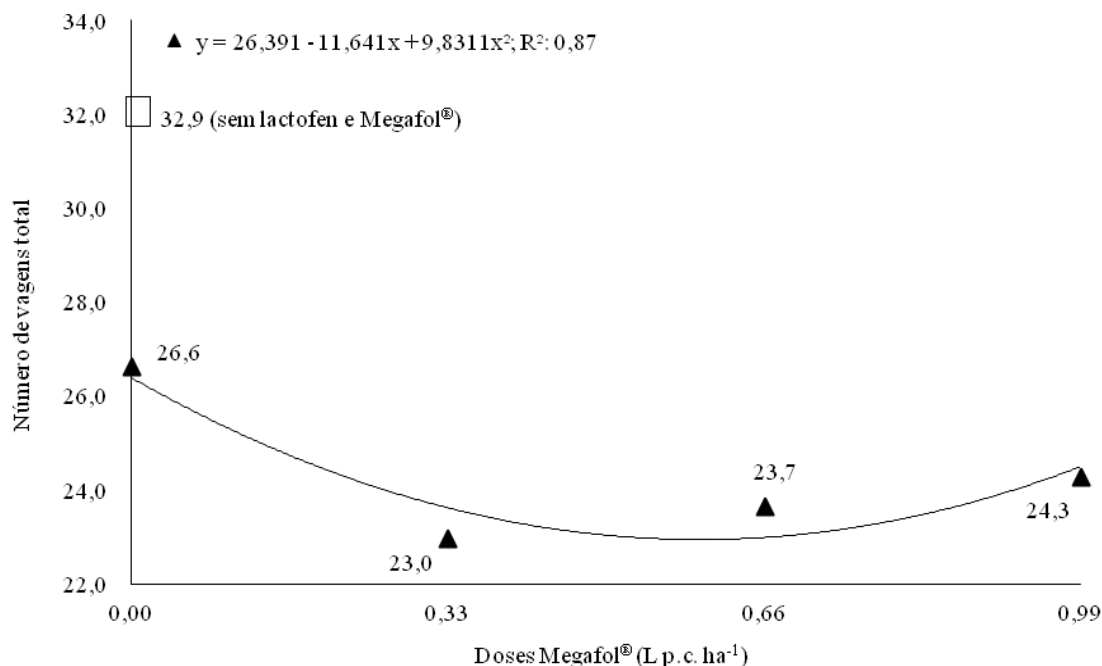
Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \* diferença significativa entre o tratamento e o tratamento adicional pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. DAA: dias após aplicação de lactofen.



**Figura 5.** Regressão polinomial do número de vagens na haste principal em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2017/18.

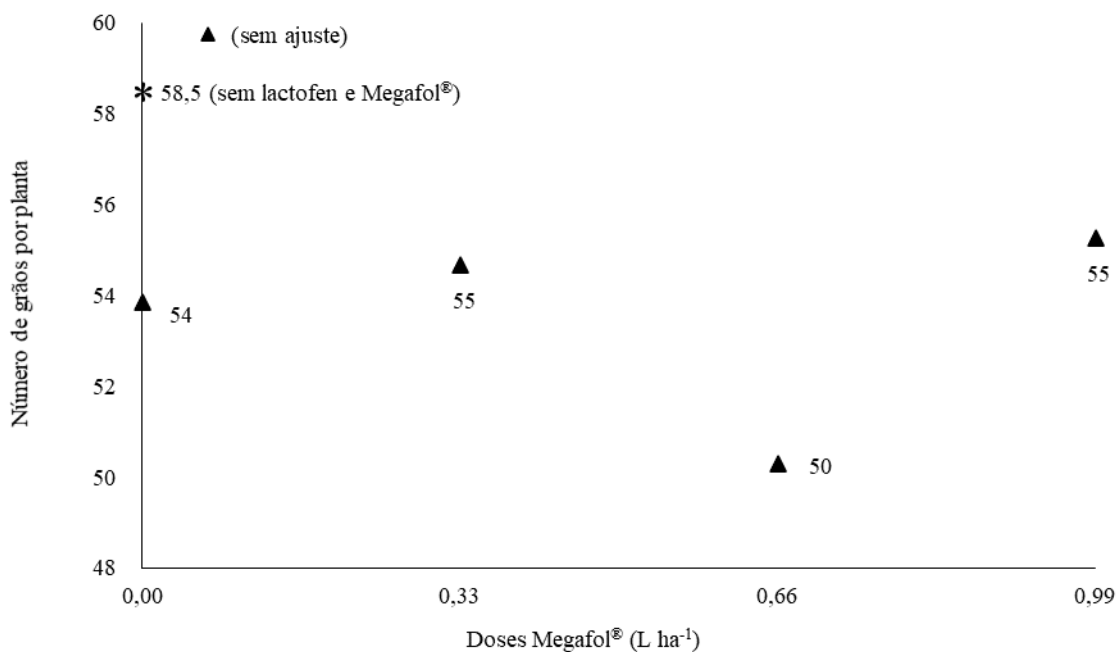
Apesar do efeito sobre a ramificação das plantas (Figura 4), não houve alteração no número de vagens das hastes secundárias pela aplicação do bioestimulante. Esta variável, por sua vez, apresentou números inferiores aos do tratamento sem aplicação de lactofen e Megafol® em todos os demais tratamentos testados (Tabela 1).

Como não houve alteração no número de vagens nas hastes secundárias, o efeito observado sobre as vagens na haste principal se refletiu diretamente sobre o número de vagens total (Figura 6), que teve comportamento semelhante, com redução dos valores até a dose de 0,59 L p.c. ha<sup>-1</sup> e posterior acréscimo.



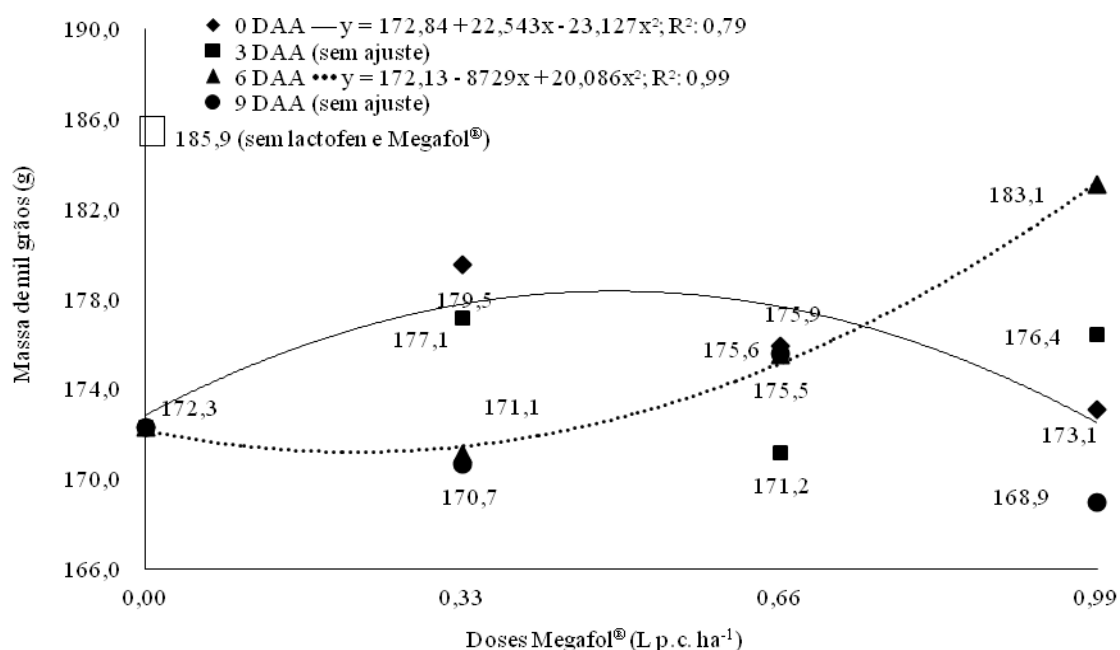
**Figura 6.** Regressão polinomial do número de vagens total em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2017/18.

A aplicação do bioestimulante, independentemente da época, causou alteração no número de grãos produzidos pela planta (Figura 7), provocando aumento de até 2%. Apesar disso, não foi possível ajustar um modelo estatístico que fosse capaz de explicar o comportamento dos dados de maneira satisfatória.



**Figura 7.** Regressão polinomial do número de grãos por planta em função das doses do bioestimulante do ensaio de recuperação de produtividade de plantas de soja intoxicadas. Montividiu-GO, safra 2017/18.

Quando o bioestimulante foi aplicado aos 6 DAA, resultou em aumento na massa de mil grãos de até 6% na máxima dose testada (Figura 8). Por outro lado, na aplicação de bioestimulante feita aos 0 DAA, houve acréscimo na massa de mil grãos até a dose 0,48 L p.c. ha<sup>-1</sup>, com posterior decréscimo. Em todo caso, a massa de mil grãos obtida na dose de 0,33 L p.c. ha<sup>-1</sup> aplicada aos 0 DAA e 0,99 L p.c. ha<sup>-1</sup> aos 6 DAA foi igual ao tratamento sem aplicação de lactofen (Tabela 3). Este aumento na massa de grãos provavelmente se deve à recuperação do desenvolvimento vegetativo das plantas, proporcionada pela aplicação do bioestimulante, sobretudo pelo aumento no porte das plantas e diminuição dos danos foliares (Rosa et al., 2021). Como resultado, ocorre maior capacidade de produção de energia pela planta, que se reflete em maior translocação de fotoassimilados para os grãos (Allen et al., 2009).



**Figura 8.** Regressão polinomial da massa de mil grãos em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2017/18. DAA: dias após aplicação de lactofen.

**Tabela 3.** Valores do número de grãos por planta, massa de mil grãos e produtividade de grãos em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em

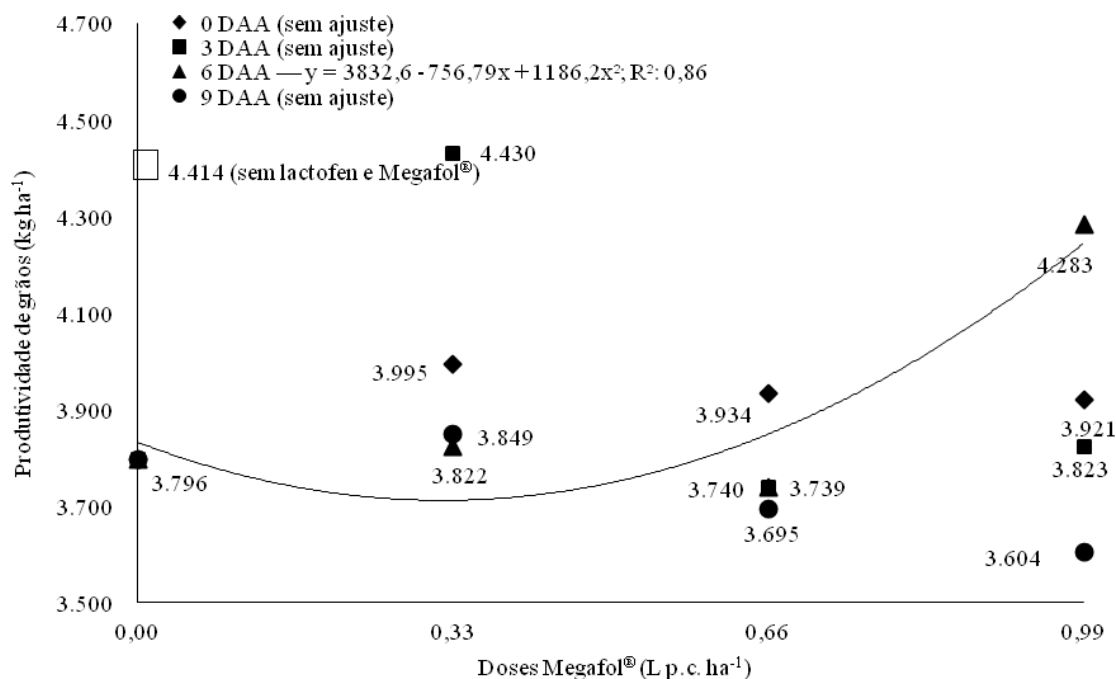


distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2017/18.

Épocas de aplicação	Doses de Megafol® L p.c. ha <sup>-1</sup>				Médias
	0,00	0,33	0,66	0,99	
Número de grãos por planta					
0 DAA		61,2 a	55,0 a	53,5 a	55,9
3 DAA	53,8	54,1 a	51,9 a	55,9 a	53,9
6 DAA		50,8 a	47,3 a*	54,8 a	51,7
9 DAA		52,5 a	47,0 a*	56,7 a	52,5
Médias		54,7	50,3	55,3	53,5
Sem lactofen e Megafol®	58,5				
Massa de mil grãos (g)					
0 DAA		179,5 a	175,9 a*	173,1 b*	175,2
3 DAA	172,3 *	177,1 ab	171,2 a*	176,4 ab*	174,2
6 DAA		171,1 b*	175,5 a*	183,1 a	175,5
9 DAA		170,7 b*	175,6 a*	168,9 b*	171,9
Médias		174,6	174,5	175,4	174,2
Sem lactofen e Megafol®	185,9				
Produtividade de grãos (kg ha <sup>-1</sup> )					
0 DAA		3.995 b*	3.934 a*	3.921 ab*	3.911
3 DAA	3.796 *	4.430 a	3.739 a*	3.823 b*	3.947
6 DAA		3.822 b*	3.740 a*	4.283 a	3.910
9 DAA		3.849 b*	3.695 a*	3.604 b*	3.736
Médias		4.024	3.777	3.908	3.876
Sem lactofen e Megafol®	4.414				

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \* diferença significativa entre o tratamento e o tratamento adicional pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. DAA: dias após aplicação de lactofen.

O aumento na massa de mil grãos proporcionado pela aplicação do bioestimulante aos 6 DAA foi convertido em acréscimo de produtividade a partir da dose de 0,58 L p.c. ha<sup>-1</sup>, com ganhos de até 12% na dose máxima (Figura 8).



**Figura 9.** Regressão polinomial da produtividade de grãos em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2017/18.

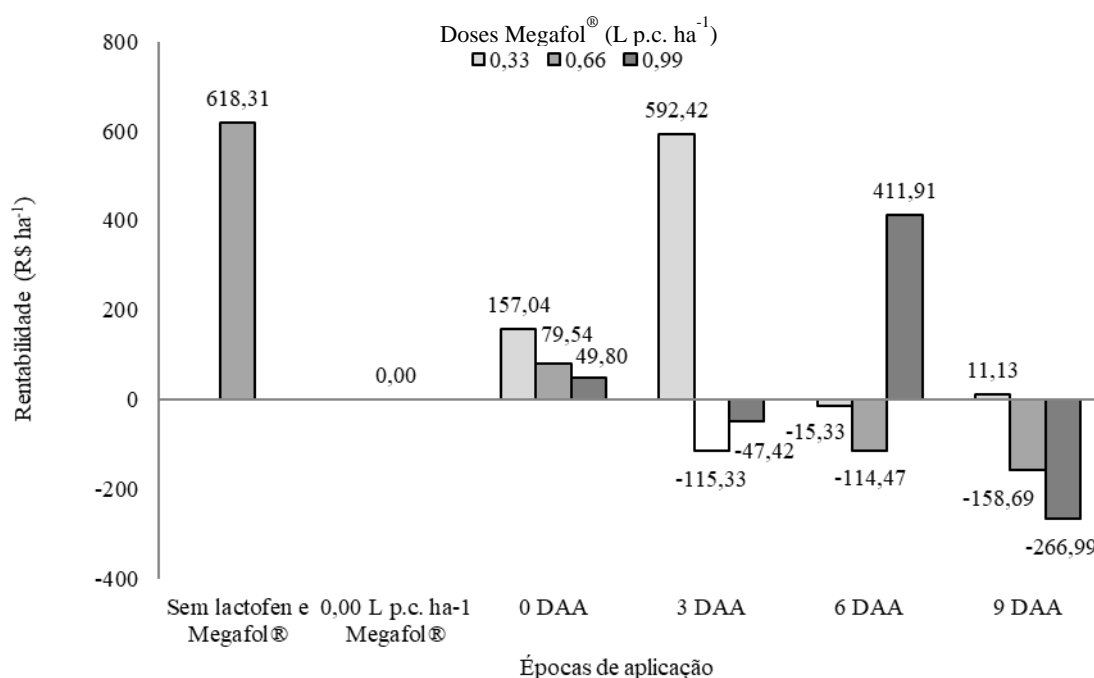
Todavia, este comportamento foi o oposto ao observado para o número de ramificações nesta mesma época de aplicação (Figura 4), indicando que o aumento no número de drenos fisiológicos resultou em maior partição de fotoassimilados, causando redução no enchimento e na produção de grãos pela planta.

Curiosamente o tratamento testemunha (0,00 L p.c. ha<sup>-1</sup> de Megafol<sup>®</sup>) teve número de grãos (Tabela 3) e de vagens total (Tabela 2) semelhante ao tratamento sem aplicação de lactofen e Megafol<sup>®</sup>. Entretanto, esta aplicação isolada de lactofen resultou em redução 7% na massa de mil grãos (Figura 8), o que diminuiu a produtividade em 14% (Figura 9). Este efeito tem relação aos danos por fitointoxicação causados pelo lactofen, sobretudo pela ocorrência de clorose e necrose foliar (Gallon et al., 2016), com diminuição do porte das plantas (Tabela 1).

Por outro lado, com a aplicação do bioestimulante aos 3 DAA na dose de 0,33 L p.c. ha<sup>-1</sup> bem como aos 6 DAA na dose de 0,99 L p.c. ha<sup>-1</sup>, houve recuperação da produtividade das plantas (Tabela 3), se igualando ao tratamento sem aplicação de lactofen. Este resultado é consequência da ação do bioestimulante no estímulo ao desenvolvimento vegetativo (Tandon & Dubey, 2015), combinado com a maior proteção contra o estresse oxidativo causado pelo lactofen (Santaniello et al., 2017).

A capacidade protetora do Megafol® pode estar relacionada ao estímulo à produção de metabólitos, promovido pelo pool de compostos orgânicos presentes na formulação do produto (Agregán et al., 2017). Estes metabólitos, especialmente as enzimas antioxidantes, atuam na estabilização das EROs, extremamente danosas para a estrutura celular, que, em condições de estresse, tem seu número potencialmente aumentado (Choudhury et al., 2017). O aumento destas enzimas reduz os danos celulares e contribui para a recuperação da planta (Yildiztekin et al., 2018).

A redução na produtividade causada pela aplicação isolada de lactofen resultou em diminuição de R\$ 618,31 na lucratividade em relação ao tratamento sem a aplicação do herbicida (Figura 10). Todavia, a aplicação do bioestimulante resultou em menor prejuízo econômico.



**Figura 10.** Valores da rentabilidade em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2017/18.

Quando aplicado aos 3 DAA na dose de 0,33 L p.c. ha<sup>-1</sup>, o bioestimulante promoveu a maior recuperação econômica observada em relação à testemunha, com aumento de R\$ 592,42 ha<sup>-1</sup> (Figura 10). Este valor foi apenas R\$ 25,89 ha<sup>-1</sup> inferior ao tratamento sem aplicação do lactofen, indicando que a aplicação de Megafol® nessas condições praticamente anula o prejuízo econômico acarretado pela fitointoxicação causada pelo lactofen. Por outro lado, a aplicação feita aos 6 DAA na dose de 0,99 L p.c. ha<sup>-1</sup> proporcionou ganho de R\$ 411,91 ha<sup>-1</sup>. Também cabe destacar que, quando

aplicado aos 0 DAA, o bioestimulante recuperou a rentabilidade em comparação com a testemunha, independentemente da dose utilizada, se mostrando mais rentável nas doses mais baixas.

Observa-se que o a recuperação na rentabilidade da cultura ocorre especialmente quando o bioestimulante é aplicado em doses inferiores aos primeiros dias após o estresse, ou em doses maiores quando aplicado com mais dias (Figura 10). Em todo caso, doses menores proporcionaram maiores ganhos em virtude da redução no custo de aplicação.

Portanto, é possível inferir que o potencial de recuperação da produtividade das plantas intoxicadas ocorre de forma mais intensa em aplicações pós-estresse feitas mais precocemente, indicando que o bioestimulante atua mais na redução dos danos causados pelo lactofen do que na recuperação das plantas em estágio mais avançado de estresse. Isso pode estar relacionado ao mecanismo de ação dos compostos orgânicos presentes no extrato de *A. nodosum* diante da forma de ocorrência do estresse (Santaniello et al., 2017).

Como verificado, o bioestimulante teve mais efeito imediato no combate às ações deletérias do herbicida. Todavia, herbicidas inibidores da PROTOX como o lactofen costumam causar reações em poucas horas após aplicação (Matringe et al., 1989). Neste sentido, a aplicação do bioestimulante feita com maior intervalo de tempo após o início do estresse até pode contribuir para a recuperação das plantas, com estímulo à atividade metabólica. Porém, neste caso, o efeito é menos eficiente, uma vez que as plantas já apresentam suas estruturas danificadas e seus processos comprometidos (Ferreira et al., 2011), sendo necessárias doses mais elevadas.

### 3.2 Safra 2018/19

Ao contrário da primeira, na safra 2018/19 não houve redução no porte das plantas com a aplicação isolada do lactofen (Tabela 4). Por outro lado, com o aumento de doses do bioestimulante, houve diminuição na altura das plantas (Figura 11). Entretanto, somente os tratamentos com aplicação de 0,33 L p.c. ha<sup>-1</sup> do Megafol<sup>®</sup> aos 3 DAA, 0,66 L p.c. ha<sup>-1</sup> aos 3, 6 e 9 DAA e 0,99 L p.c. ha<sup>-1</sup> aos 0 DAA tiveram plantas de tamanho inferior ao tratamento sem aplicação de lactofen (Tabela 4).

**Tabela 4.** Valores de altura de plantas, número de vagens na haste principal, número de grãos por planta e produtividade de grãos em função da aplicação de bioestimulante à

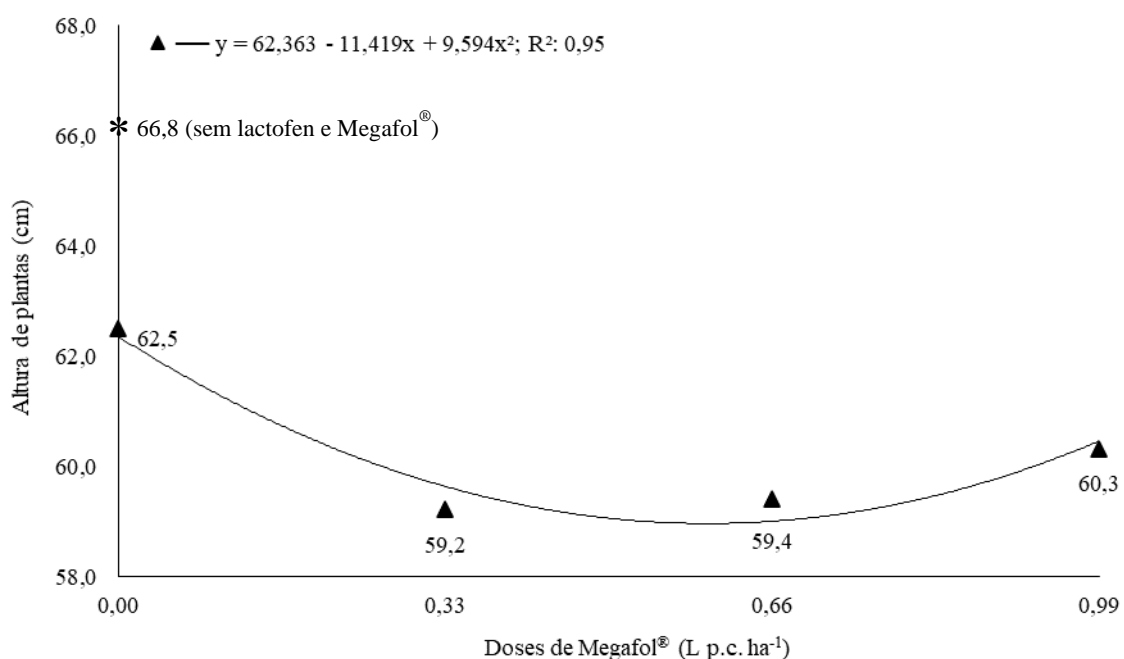
base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2018/19.

Épocas de aplicação	Doses de Megafol® L p.c. ha <sup>-1</sup>				Médias
	0,00	0,33	0,66	0,99	
Altura de plantas (cm)					
0 DAA		60,7 a	61,3 a	58,8 a*	60,8
3 DAA	62,5	57,3 a*	58,3 a*	59,9 a	59,5
6 DAA		58,5 a	59,3 a*	61,0 a	60,3
9 DAA		60,4 a	58,8 a*	61,6 a	60,8
Médias		59,2	59,4	60,3	60,4
Sem lactofen e Megafol®	66,8				
Número de vagens na haste principal					
0 DAA		21,2 a	19,5 a	20,0 a	22,2
3 DAA	28,2*	18,6 a	22,4 a	18,6 a	22,0
6 DAA		21,0 a	22,7 a	25,4 a	24,3
9 DAA		20,6 a	20,7 a	21,8 a	22,8
Médias		20,3	21,3	21,4	22,8
Sem lactofen e Megafol®	22,2				
Número de grãos por planta					
0 DAA		63,3 a	59,6 a	58,7 a	59,8
3 DAA	57,8*	63,4 a	66,6 a	59,5 a	61,8
6 DAA		66,1 a	64,7 a	69,9 a	64,6
9 DAA		69,2 a	65,6 a	66,2 a	64,7
Médias		65,5	64,1	63,6	62,7
Sem lactofen e Megafol®	69,9				
Produtividade de grãos (kg ha <sup>-1</sup> )					
0 DAA	4.098*	4.577	4.289*	4.274*	4.309 b

3 DAA	4.741	4.773	4.458 *	4.517 ab
6 DAA	4.799	4.782	5.032	4.678 a
9 DAA	5.123	4.739	4.591	4.638 a
Médias	4.810	4.646	4.589	4.536

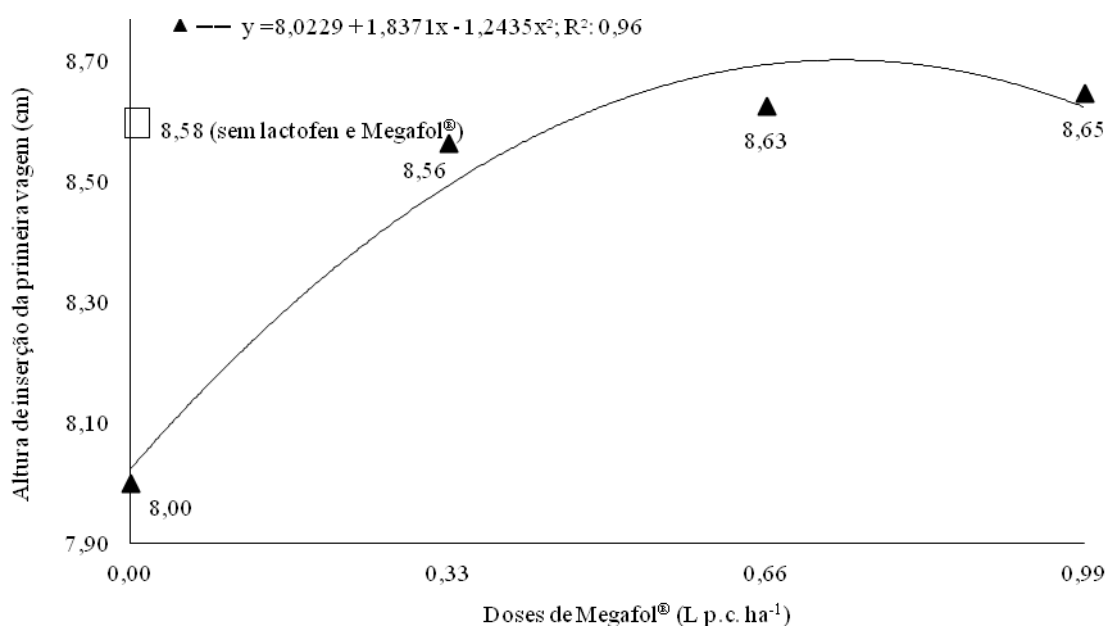
Sem lactofen e  
Megafol® 5.102

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \* diferença significativa entre o tratamento e o tratamento adicional pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. DAA: dias após aplicação de lactofen.

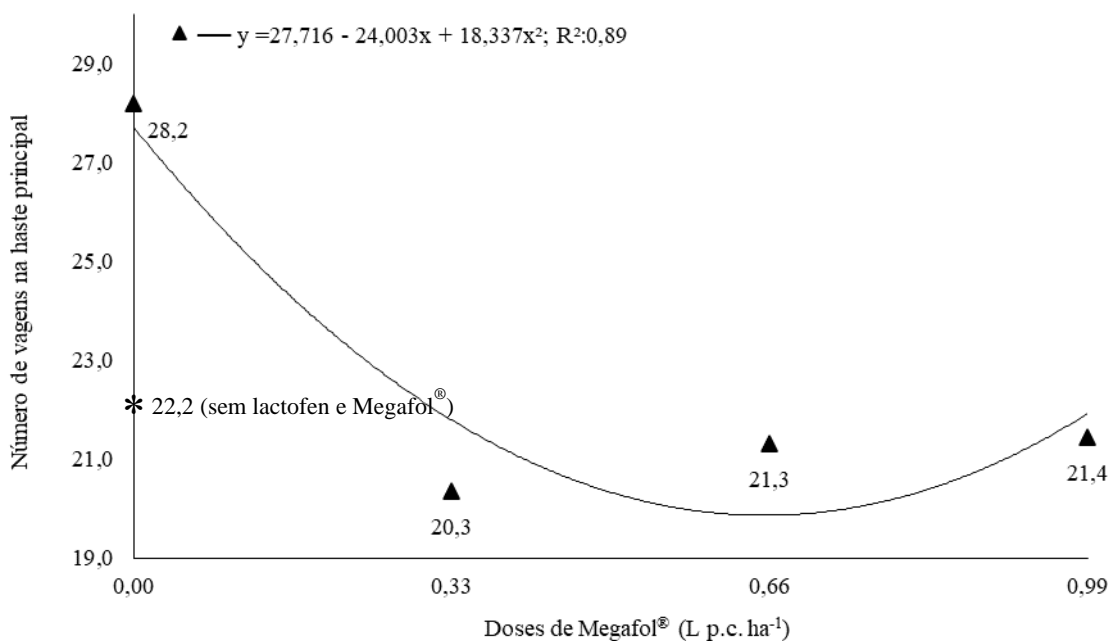


**Figura 11.** Regressão polinomial da altura de plantas em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2018/19.

Apesar da redução na altura das plantas observada, ocorreu acréscimo de até 8% na altura de inserção da primeira vagem na dose de 0,73 L p.c. ha<sup>-1</sup> do Megafol® (Figura 12). No entanto, este efeito pode ter relação com a redução do número de vagens na haste principal observada nesta mesma condição (Figura 13).



**Figura 12.** Regressão polinomial da altura de inserção da primeira vagem em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2018/19.

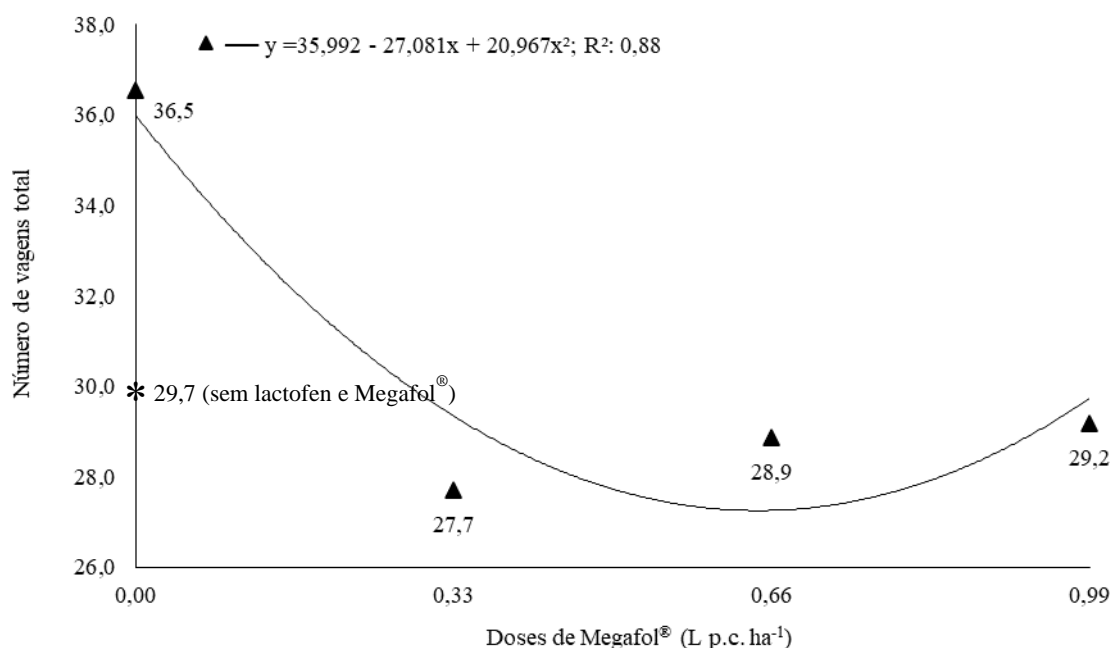


**Figura 13.** Regressão polinomial do número de vagens na haste principal em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2018/19.

Cabe observar que o tratamento testemunha até produziu um número de vagens na haste principal superior ao tratamento sem aplicação de lactofen e Megafol® (Tabela

4), mas as vagens produzidas tinham menos grãos, o que resultou em número inferior de grãos por planta.

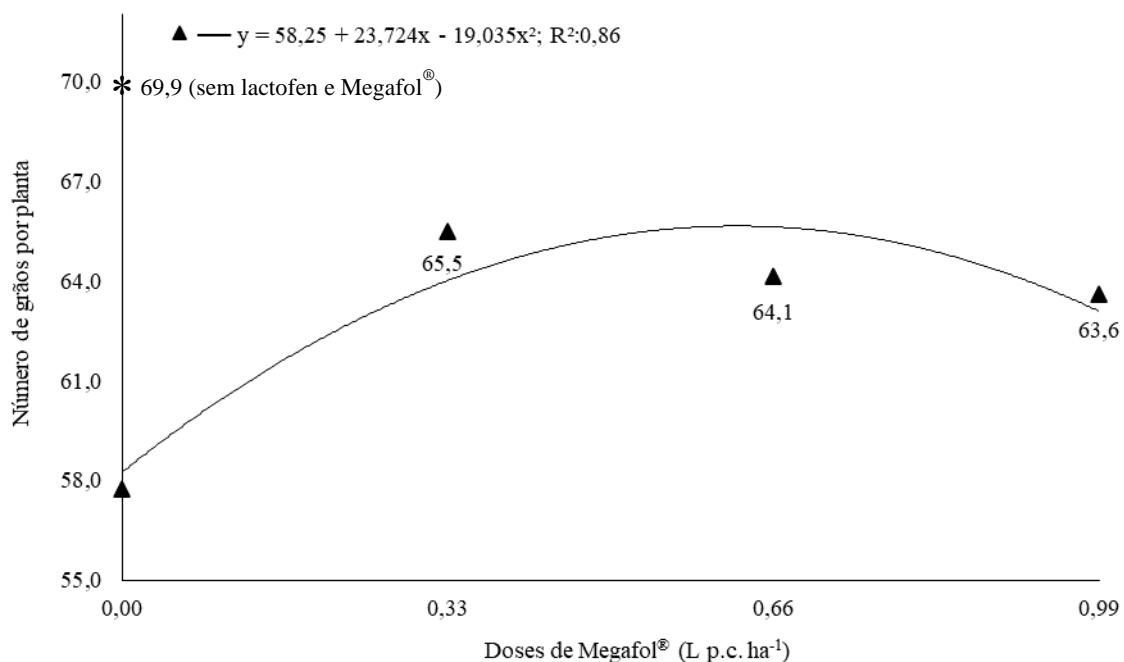
A diminuição do número de vagens na haste principal impactou no número de vagens total, que também foi reduzido com o aumento de doses do Megafol® (Figura 14). De toda forma, o número de vagens total em todos os tratamentos não apresentou diferença em relação ao tratamento sem aplicação do herbicida lactofen.



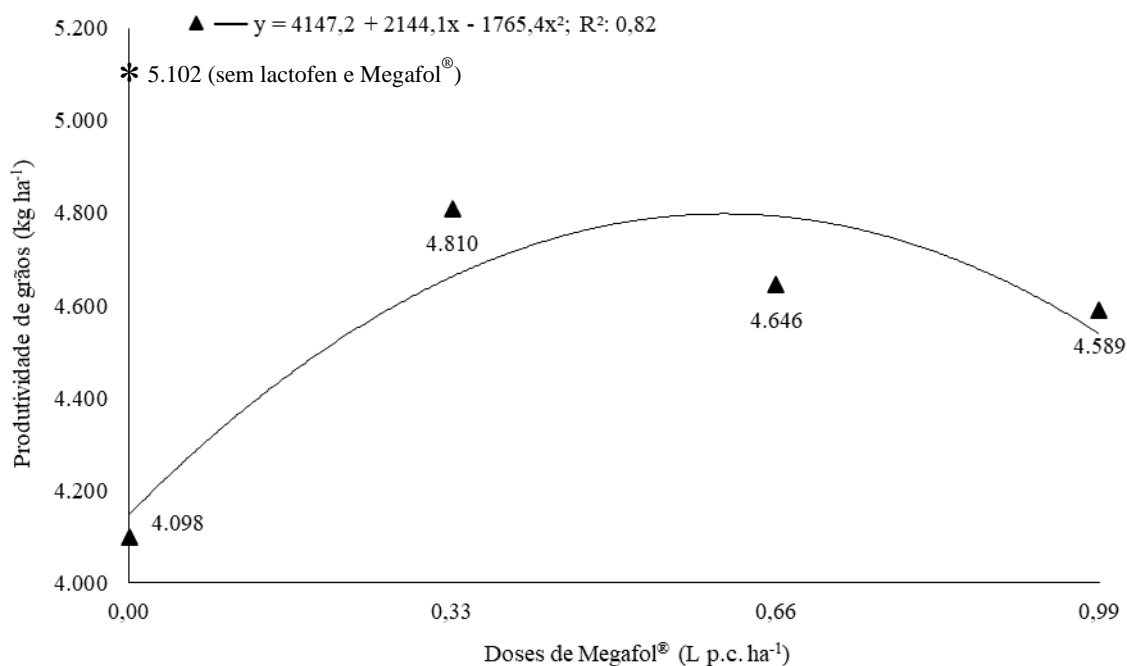
**Figura 14.** Regressão polinomial do número de vagens total em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2018/19.

Apesar da redução na produção de vagens, o aumento das doses do bioestimulante proporcionou acréscimo no número de grãos por planta de até de 12% na dose de 0,62 L p.c. ha<sup>-1</sup> (Figura 15), indicando aumento na produção de grãos por vagem. O aumento do número de grãos por planta resultou em acréscimo na produtividade de grãos de até 15% na dose de 0,60 L p.c. ha<sup>-1</sup> do bioestimulante (Figura 16).





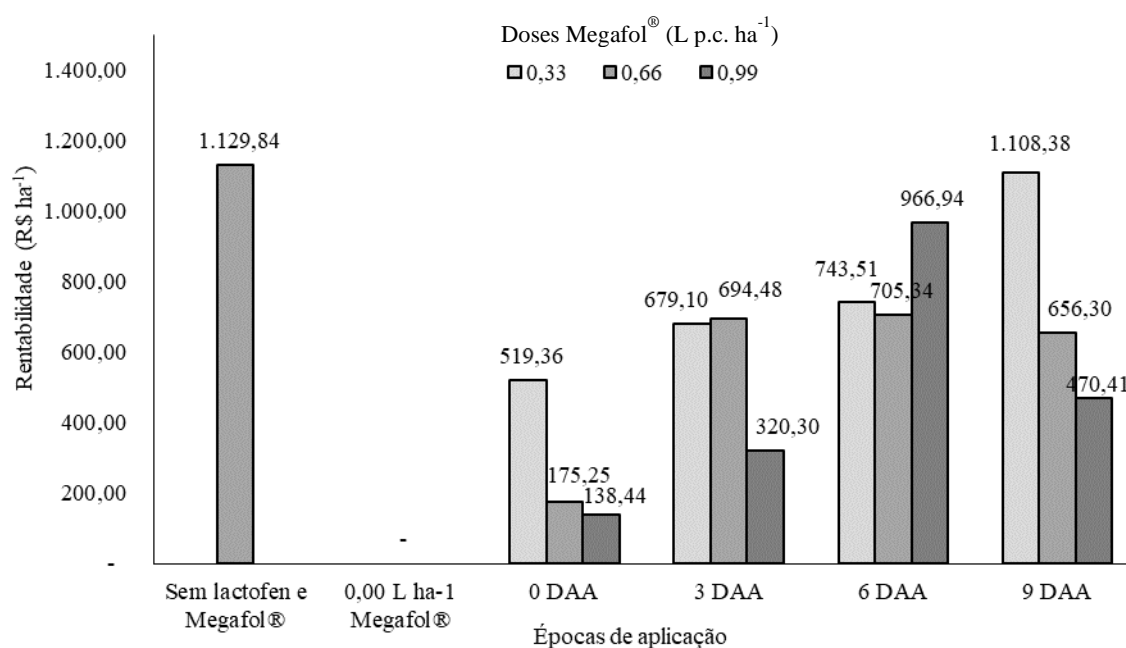
**Figura 15.** Regressão polinomial do número de grãos por planta em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2018/19.



**Figura 16.** Regressão polinomial da produtividade de grãos em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2018/19.

Em praticamente todos os tratamentos com aplicação do Megafol®, houve produtividade de grãos semelhante ao tratamento sem aplicação de lactofen (Tabela 4),

evidenciando a capacidade de o bioestimulante garantir o equilíbrio e a recuperação das plantas frente ao estresse abiótico causado pelo herbicida. Como consequência da recuperação da produtividade das plantas, houve aumento na lucratividade para todos os tratamentos com aplicação do bioestimulante (Figura 17). Neste contexto, o tratamento com 0,33 L p.c. ha<sup>-1</sup> do bioestimulante aplicados aos 9 DAA foi o que promoveu a maior rentabilidade, com diferença de apenas R\$ 21,46 ha<sup>-1</sup> em relação ao tratamento sem aplicação de lactofen. Nesta mesma comparação, em segundo lugar, similarmente ao observado na safra 2017/18, apareceu o tratamento com aplicação de 0,99 L p.c. ha<sup>-1</sup> de Megafol<sup>®</sup> aos 6 DAA, com diferença de R\$ 162,90 ha<sup>-1</sup>.



**Figura 17.** Valores da rentabilidade em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2017/18. DAA: dias após aplicação de lactofen.

Diferentemente da safra anterior, a rentabilidade foi maior com o aumento no intervalo entre a aplicação do herbicida e o bioestimulante (Figura 17), mas este aumento ocorreu principalmente para doses menores. Fica nítido, portanto, que o uso de doses mais baixas do bioestimulante já é suficiente para recuperação da produtividade da cultura após aplicação do lactofen, com redução nos custos de aplicação e aumento da rentabilidade, consequentemente.

#### 4. CONCLUSÕES

A aplicação do herbicida lactofen resulta em diminuição do porte das plantas de soja, que culmina em prejuízo sobre os componentes produtivos, acarretando menor produtividade de grãos e diminuição da rentabilidade. Por outro lado, quando associado à aplicação do bioestimulante Megafol<sup>®</sup>, ocorre minimização dos danos, resultando em menor impacto sobre a produção e a lucratividade.

O bioestimulante Megafol<sup>®</sup> se mostra uma alternativa viável para atenuar os efeitos deletérios do herbicida lactofen na cultura da soja.

Doses menores do bioestimulante são suficientes para promover recuperação na produtividade e rentabilidade da cultura após aplicação do lactofen, sem, contudo, proporcionar desempenho semelhante ao observado em plantas que não receberam aplicação do herbicida.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAPAR. Bula Cobra. Disponível em: <<http://www.adapar.pr.gov.br/arquivos/File/defis/DFI/Bulas/Herbicidas/COBRA.pdf>> Acesso em 22 de janeiro de 2018.

ADEGAS, F. S.; VARGAS, L.; GAZZIERO, D. L. P.; KARAM, D.; SILVA, A. F.; AGOSTINETTO, D. Impacto econômico da resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil. **Circular Técnica**. Embrapa Soja, Londrina, 12p., 2017.

AGREGÁN, R.; MUNEKATA, P. E.; DOMÍNGUEZ, R.; CARBALLO, J.; FRANCO, D.; LORENZO, J. M. Proximate composition, phenolic content and in vitro antioxidant activity of aqueous extracts of the seaweeds *Ascophyllum nodosum*, *Bifurcaria bifurcata* and *Fucus vesiculosus*. Effect of addition of the extracts on the oxidative stability of canola oil under accelerated storage conditions. **Food Research International**, v. 99, p. 986-994, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.11.009>

ALI, N.; FARRELL, A.; RAMSUBHAG, A.; JAYARAMAN, J. The effect of *Ascophyllum nodosum* extract on the growth, yield and fruit quality of tomato grown under tropical conditions. **Journal of applied phycology**, v. 28, n. 2, p. 1353-1362, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0608-3>

ALLEN, D. K.; OHLROGGE, J. B.; SHACHAR-HILL, Y. The role of light in soybean seed filling metabolism. **The Plant Journal**, v. 58, n. 2, p. 220-234, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2008.03771.x>

BARROS, A. C.; UEDA, A.; SCHUMM, K. C. Eficiência e seletividade do lactofen em mistura com outros latifolicidas, na testemunha de plantas daninhas na cultura da soja. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 1, n. 1, p. 79-84, 2000. <https://doi.org/10.7824/rbh.v1i1.320>

CHIODEROLI, C. A.; SILVA, R. P. D.; NORONHA, R. H. D. F.; CASSIA, M. T.; SANTOS, E. P. D. Perdas de grãos e distribuição de palha na colheita mecanizada de

soja. **Bragantia**, v. 71, n. 1, p. 112-121, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052012005000003>

CHOUDHURY, F. K., RIVERO, R. M., BLUMWALD, E., MITTLER, R. Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination. **The Plant Journal**, v. 90, no 5, p. 856-867, 2017. <https://doi.org/10.1111/tpj.13299>

CONCENÇO, G.; GRIGOLLI, J. F. J. Plantas daninhas em sistemas de produção de soja. In: LOURENÇÃO, A. L. F. (Ed.). **Tecnologias e produção: soja 2014/2015**. Curitiba, p. 98-107, 2015.

DI STASIO, E.; VAN OOSTEN, M. J.; SILLETTI, S.; RAIMONDI, G.; CARILLO, P.; MAGGIO, A. *Ascophyllum nodosum*-based algal extracts act as enhancers of growth, fruit quality, and adaptation to stress in salinized tomato plants. **Journal of Applied Phycology**, v. 30, n. 4, p. 2675-2686, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1439-9>

FERREIRA, L. C.; CATANEO, A. C.; REMAEH, L. M. R.; BÚFALO, J.; SCAVRONI, J.; ANDRÉO-SOUZA, Y.; CECHIN, I.; SOARES, B. J. A. Morphological and physiological alterations induced by lactofen in soybean leaves are reduced with nitric oxide. **Planta Daninha**, v. 29, n. 4, p. 837-847, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582011000400014>

GALLON, M.; BUZZELLO, G. L.; TREZZI, M. M.; DIESEL, F.; SILVA, H. L. Ação de herbicidas inibidores da PROTOX sobre o desenvolvimento, acamamento e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n. 3, p. 232-240, 2016. <https://doi.org/10.7824/rbh.v15i3.471>

GUINAN, K. J.; SUJEETH, N.; COPELAND, R. B.; JONES, P. W.; O'BRIEN, N. M.; SHARMA, H. S. S.; O'SULLIVAN, J. T. Discrete roles for extracts of *Ascophyllum nodosum* in enhancing plant growth and tolerance to abiotic and biotic stresses. In: **I World Congress on the Use of Biostimulants in Agriculture 1009**. p. 127-135. 2012. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1009.15>

LORENZO, J. M.; AGREGÁN, R.; MUNEKATA, P. E.; FRANCO, D.; CARBALLO, J.; ŞAHIN, S.; BARBA, F. J. Proximate composition and nutritional value of three macroalgae: *Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus* and *Bifurcaria bifurcata*. **Marine drugs**, v. 15, n. 11, p. 360, 2017. <https://doi.org/10.3390/md15110360>

MATRINGE, M.; CAMADRO, J. M.; LABBE, P.; SCALLA, R. Protoporphyrinogen oxidase as a molecule target for diphenyl ether herbicides. **Biochemical Journal**, London, v.260, n.1, p.231-235, 1989. <https://doi.org/10.1042/bj2600231>

MÜLLER, D; LEYSER, O. Auxin, cytokinin and the control of shoot branching. **Annals of Botany**, v. 107, n. 7, p. 1203-1212, 2011. <https://doi.org/10.1093/aob/mcr069>

NOVAKOSKI, F. P.; ALBRECHT, L. P.; ALBRECHT, A. J. P.; SILVA, A. F. M.; MATTIUZZI, M. D.; MUNDT, T. T.; WAGNER, F. G. Post-emergence application of herbicides and growth regulators on soybean growth and agronomic performance.

**Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 23, n. 3, p. 253-258, 2020. 8  
<https://doi.org/10.1007/s12892-020-00033-w>

PETROZZA, A.; SANTANIELLO, A.; SUMMERER, S.; DITOMMASO, G.; DITOMMASO, D.; PAPARELLI, E. Physiological responses to Megafol® treatments in tomato plants under drought stress: a phenomic and molecular approach. **Scientia Horticulturae**, v. 174, p. 185-192, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.023>

ROSA, V. R.; SANTOS, A. L. F.; SILVA, A. A.; SAB, M. P. V.; GERMINO, G. H.; CARDOSO, F. B.; Almeida Silva, M. Increased soybean tolerance to water deficiency through biostimulant based on fulvic acids and *Ascophyllum nodosum* (L.) seaweed extract. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 158, p. 228-243, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.008>

SANTANIELLO, A.; SCARTAZZA, A.; GRESTA, F.; LORETI, E.; BIASONE, A.; DITOMMASO, D.; PIAGGESI, A.; PERATA, P. *Ascophyllum nodosum* seaweed extract alleviates drought stress in arabidopsis by affecting photosynthetic performance and related gene expression. **Frontiers in Plant Science**. v. 8, 15p., 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01362>

SHUKLA, P. S.; MANTIN, E. G.; ADIL, M.; BAJPAI, S.; CRITCHLEY, A. T.; PRITHIVIRAJ, B. *Ascophyllum nodosum*-based biostimulants: Sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance, and disease management. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 655, 2019. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00655>

SILVA, J. F. D.; ESPINOSA, N. C.; SEDIYAMA, T.; CONDÉ, A. R. Tolerância de soja (*Glycine max*) ao herbicida lactofen. **Revista Ceres**, v. 42, n. 1, p. 10-24, 1995.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado**: Correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília, Embrapa, 416 p., 2004.

SPANN, T. M.; LITTLE, H. A. Applications of a commercial extract of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* increases drought tolerance in container-grown 'Hamlin'sweet orange nursery trees. **HortScience**, v. 46, n. 4, p. 577-582, 2011. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.4.577>

TANDON, S.; DUBEY, A. Effects of Biozyme (*Ascophyllum nodosum*) biostimulant on growth and development of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 46, no 7, p. 845-858, 2015. <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1011749>

WICHERT, R. A.; TALBERT, R. E. Soybean [*Glycine max* (L.)] response to lactofen. **Weed Science**, v. 41, n. 1, p. 23-27, 1993. <https://doi.org/10.1017/S0043174500057520>

XU, C.; LESKOVAR, D. I. Effects of *A. nodosum* seaweed extracts on spinach growth, physiology and nutrition value under drought stress. **Scientia Horticulturae**, v. 183, p. 39-47, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.12.004>

YILDIZTEKIN, M.; TUNA, A. L.; KAYA, C. Physiological effects of the brown seaweed (*Ascophyllum nodosum*) and humic substances on plant growth, enzyme activities of certain pepper plants grown under salt stress. **Acta Biologica Hungarica**, v.69, n.3, p. 325-335, 2018. <https://doi.org/10.1556/018.68.2018.3.8>

ZHANG, X; ERVIN, E. H. Cytokinin-containing seaweed and humic acid extracts associated with creeping bentgrass leaf cytokinins and drought resistance. **Crop science**, v. 44, n. 5, p. 1737-1745, 2004. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.1737>

## 6. MATERIAL SUPLEMENTAR

**Tabela 5.** Resumo da análise de variância de alturas de plantas (AP) e de inserção da primeira vagem (AIV), população (POP), número de ramificações (RAM), número de vagens na haste principal (VP), secundárias (VS) e total (VT), número de grãos por planta (NG), massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PROD) em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2017/18.

Fontes de variação	AP	AIV	POP	RAM	VP	VS	VT	NGP	MMG	PROD
Doses	*	ns	ns	*	*	ns	*	*	ns	*
Épocas	*	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	*
Doses*Épocas	*	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	*
Fatorial*Adicional	*	ns	ns	*	ns	*	*	*	*	*
CV (%)	6,01	7,76	7,94	27,96	15,55	43,86	16,91	10,51	3,02	6,35

\* e <sup>ns</sup>: significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

**Tabela 6.** Resumo da análise de variância de alturas de plantas (AP) e de inserção da primeira vagem (AIV), população (POP), número de ramificações (RAM), número de vagens na haste principal (VP), secundárias (VS) e total (VT), número de grãos por planta (NG), massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PROD) em função da aplicação de bioestimulante à base de extrato de algas em distintas doses e épocas na cultura da soja submetida ao herbicida lactofen. Montividiu-GO, safra 2018/19.

Fontes de variação	AP	AIV	POP	RAM	VP	VS	VT	NGP	MMG	PROD
Doses	*	*	ns	ns	*	ns	*	*	ns	*
Épocas	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*
Doses*Épocas	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Fatorial*Adicional	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	*
CV (%)	7,07	8,92	3,12	31,02	15,67	36,01	15,78	10,92	4,01	8,50

\* e <sup>ns</sup>: significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

## CONCLUSÃO GERAL

A aplicação do bioestimulante Megafol<sup>®</sup> é capaz de diminuir os danos por fitointoxicação causados pela aplicação do tembotrione no sorgo e do lactofen na soja, graças à redução do estresse oxidativo, proteção do aparato fotossintético, retenção de pigmentos nas folhas e estímulo ao desenvolvimento das plantas, resultando em manutenção da produtividade de grãos.

A ação do bioestimulante é mais pronunciada em aplicações feitas mais precocemente em relação aos herbicidas, situação em que promove efeito protetivo, minimizando os efeitos do estresse abiótico. Por outro lado, quando aplicado mais tardiamente, a diminuição do estresse ocorre pela recuperação das plantas já intoxicadas, situação que resulta em menor potencial de resposta.

Em campo, quando o bioestimulante é aplicado mais precocemente em relação ao lactofen, são necessárias doses mais baixas para promover a manutenção da produtividade da cultura da soja. Por outro lado, em aplicações feitas mais tardiamente, é necessário aumentar a dose do bioestimulante para ter o mesmo efeito final.

A aplicação do bioestimulante à base de *A. nodosum* se mostra uma estratégia interessante para permitir maior diversificação de princípios ativos de moléculas herbicidas no controle de plantas daninhas, possibilitando maior adoção do herbicida tembotrione na cultura do sorgo e do lactofen na cultura da soja.