

INSTITUTO FEDERAL GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS -
AGRONOMIA

**DESEMPENHO FISIOLÓGICO E AGRONÔMICO DA SOJA
SUBMETIDA A APLICAÇÃO DE HERBICIDAS E
BIOESTIMULANTE A BASE DE *Ascopillum nodosum***

Autor: Christiano Lima Lobo de Andrade

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Guerra da Silva

Rio Verde - GO
Setembro – 2022

INSTITUTO FEDERAL GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS -
AGRONOMIA

**DESEMPENHO FISIOLÓGICO E AGRONÔMICO DA SOJA
SUBMETIDA A APLICAÇÃO DE HERBICIDAS E
BIOESTIMULANTE A BASE DE *Ascopillum nodosum***

Autor: Christiano Lima Lobo de Andrade

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Guerra da Silva

Tese apresentada, como parte das exigências para a obtenção do título de DOUTOR EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Área de concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado.

Rio Verde - GO
Setembro – 2022



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

Documentos 100/2022 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

DESEMPENHO FISIOLÓGICO E AGRONÔMICO DA SOJA SUBMETIDA A
APLICAÇÃO DE HERBICIDAS E PRODUTOS À BASE DE *Ascophyllum
nodosum*

Autor: Christiano Lima Lobo de Andrade
Orientador: Dr. Alessandro Guerra da Silva

TITULAÇÃO: Doutorado em Ciências Agrárias-Agronomia, Área de Concentração
em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADO em, 29 de setembro de 2022.

Prof. Dr. Alessandro Guerra da Silva (Presidente)
Prof. Dr. Adinan Alves da Silva (Avaliador interno)
Prof. Dr. Alan Carlos Costa (Avaliador interno)
Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira (Avaliador interno)
Prof. Dr. Guilherme Braga Pereira Braz (Avaliador externo)

Documento assinado eletronicamente por:

- Alan Carlos da Costa, PRO-REITOR - CD0002 - PROPPI-REI, em 04/10/2022 11:48:06.
- Adinan Alves da Silva, 2022202344060002 - Discente, em 30/09/2022 17:49:36.
- Marconi Batista Teixeira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 30/09/2022 10:37:24.
- Guilherme Braga Pereira Braz, Guilherme Braga Pereira Braz - Professor Avaliador de Banca - Universidade de Rio Verde (01815216000178), em 29/09/2022 18:43:01.
- Alessandro Guerra da Silva, Alessandro Guerra da Silva - 203405 - Pesquisador das ciências agrárias - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (10651417000500), em 29/09/2022 15:53:28.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 27/09/2022. 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: 429335
Código de Autenticação: b8de453683



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

AAN553 Andrade, Christiano Lima Lobo de Andrade
d DESEMPENHO FISIOLÓGICO E AGRONÔMICO DA SOJA
SUBMETIDA A APLICAÇÃO DE HERBICIDAS E BIOESTIMULANTE
A BASE DE Ascopillium nodosum / Christiano Lima Lobo
de Andrade Andrade; orientador Alessandro Guerra da
Silva. -- Rio Verde, 2022.
p.

Tese (Doutorado em Programa de Pós Graduação em
Ciências Agrárias - Agronomia) -- Instituto Federal
Goiano, Campus Rio Verde, 2022.

1. Inibidores da ALS e da PROTOX. 2.
bioestimulante Megafol. 3. Glycine max. 4. aparato
fotossintetico. 5. produtividade. I. Guerra da
Silva, Alessandro , orient. II. 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

- Tese (doutorado) Artigo científico
 Dissertação (mestrado) Capítulo de livro
 Monografia (especialização) Livro
 TCC (graduação) Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Christiano Lima Lobo de Andrade

Matrícula:

2018202320140019

Título do trabalho:

DESEMPENHO FISIOLÓGICO E AGRONÔMICO DA SOJA SUBMETIDA A APLICAÇÃO DE HERBICIDAS E
RIGESTIMII ANTE A BASE DE *Accosillum nodosum*

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIIF Goiano: 30 / 11 / 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:

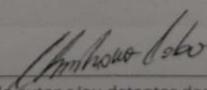
- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto 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

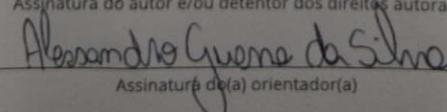
Local

23 / 11 / 2022

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 91/2022 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA Nº/96 BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE TESE

Aos vinte e nove dias do mês de setembro do ano de dois mil e vinte e dois, às 08:00h, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: sob a presidência do(a) primeiro(a), Prof. Dr. Alessandro Guerra da Silva (Presidente); Prof. Dr. Adinan Alves da Silva (Avaliador interno), Prof. Dr. Alan Carlos Costa (Avaliador interno), Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira (Avaliador interno) e Prof. Dr. Guilherme Braga Pereira Braz (Avaliador externo) 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 **CHRISTIANO LIMA LOBO DE ANDRADE**, 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 (Presidente), 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. Adinan Alves da Silva (Avaliador interno)

Prof. Dr. Alan Carlos Costa (Avaliador interno)

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira (Avaliador interno)

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

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela minha vida e por todas as oportunidades a mim oferecidas. Ao Instituto Federal Goiano Campus De Rio Verde (IF Goiano) e ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias (PPGCA), pela oportunidade de realização do Curso de Doutorado. Em especial ao meu orientador Dr. Alessandro Guerra da Silva, por um dia ter acreditado e confiado que as dificuldades pudessem ser superadas. Em seu profissionalismo pode transmitir segurança, conhecimento e o apoio necessário para realização deste trabalho. Ao Professor Dr. Alan Carlos Costa, pela confiança e acolhida no laboratório de ecofisiologia e ao Dr. Adinan Alves, pelo apoio na realização das avaliações e principalmente pela boa vontade a qual participou deste trabalho. Ao Professor Dr. Guilherme Braz, pela amizade e incentivo e pela importante participação na finalização deste trabalho. Ao também professor e coordenador do programa Dr. Marconi Batista Teixeira, pelas contribuições neste trabalho e pela acolhida no laboratório de irrigação e drenagem. E, a todos por se disporem a participar da banca examinadora deste trabalho. Aos meus grandes amores: Kellyn e Arthur, minha mãe Maria Cristina, minha irmã Camila, meu irmão Pedro, pelo apoio e incentivo inigualável. A todos os estagiários que passaram pelo grupo e contribuíram com este e os demais projetos, sem vocês a pesquisa não seria possível.

E por fim, a todos aqueles que de alguma maneira contribuíram para que este estudo se tornasse realidade, **MUITO OBRIGADO.**

BIOGRAFIA DA AUTOR

CHRISTIANO LIMA LOBO DE ANDRADE, filho de Florival Lobo de Andrade e Maria Cristina Lima, nasceu no município de Goiânia, Estado de Goiás, aos 06 dias do mês de agosto do ano de 1979. Em 1998, ingressou no Curso de Agronomia da Universidade de Rio Verde, graduando-se em julho de 2003 atuando como consultor comercial diversas empresas. No entanto a grande virada ocorreu em 2015 quando migrou para a atuação técnica como instrutor de treinamentos de pulverização agrícola do SENAR - AR/GO. Em agosto de 2016, ingressou como aluno de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, na Universidade de Rio Verde, defendendo a dissertação em julho de 2018. Ainda no ano de 2018 ingressou no programa de Doutorado do PPGCA Agronomia do IF Goiano Campus de Rio Verde.

Paralelamente se tornou professor adjunto do Centro Universitário UniBras a frente das disciplinas de Grandes Culturas e Tecnologia de Aplicação e fundou a Pulveriza Soluções Agrícolas. Em novembro de 2022 apresentou a Tese de Doutorado tornando-se apto a solicitar o título de Doutor em Ciências Agrárias.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE TABELAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS	i
LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIACOES E UNIDADES.....	i
RESUMO GERAL	xiv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	3
OBJETIVOS	5
3. CAPÍTULO I	6
3.1. INTRODUÇÃO	21
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	24
3.2.1. Material vegetal, desenho experimental e condições experimentais	24
3.2.2 Detalhamento das avaliações	26
3.2.2.1 Trocas gasosas, fluorescência da clorofila <i>a</i> e teor de clorofilas.....	26
3.2.2.2 Análise estatística	27
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
3.4. CONCLUSÕES	37
3.5. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	37
4. CAPÍTULO II.....	55
4.1. INTRODUÇÃO	58
4.2. MATERIAL E MÉTODOS	60
4.2.2 Detalhamento das avaliações	62

4.2.2.1 Trocas gasosas, fluorescência da clorofila <i>a</i> e teor de clorofilas.....	62
4.2.2.2 Análise estatística	63
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
4.4. CONCLUSÕES	73
4.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
5. CAPÍTULO III.....	81
5. 1. INTRODUÇÃO.....	84
5. 2. MATERIAL E MÉTODOS	85
5. 2.1 Detalhamento das avaliações	88
5.2.1.1 Trocas gasosas	88
5.2.1.2 Fluorescência da clorofila <i>a</i>	88
5.2.1.3 Índice de clorofilas.....	89
5.2.1.4 Radicação fotossinteticamente ativa e índice de vegetação por diferença normalizada.....	89
5.2.1.5 Crescimento e produtividade	90
5.2.1.6 Qualidade fisiológica das sementes	91
5.2.2 Análises estatísticas	92
5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	93
5.4. CONCLUSÕES	110
5.6. MATERIAL SUPLEMENTAR.....	116
6. CONCLUSÃO GERAL.....	119

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO I.

Tabela 1. Condições ambientais no momento da aplicação dos herbicidas nos diferentes tratamentos. Rio Verde -GO, Safra 2018/2019.....	25
Tabela 2. Resumo da análise de variância para as variáveis clorofila <i>a</i> (Chl <i>a</i>), clorofila <i>b</i> (Chl <i>b</i>), clorofila total (Chl T) em função dos tratamentos. Rio Verde -GO, Safra 2018/2019.....	28
Tabela 3. Valores médios da clorofila <i>a</i> (Chl <i>a</i>), clorofila <i>b</i> (Chl <i>b</i>), clorofila total (Chl T) em função dos tratamentos. Rio Verde -GO, Safra 2018/2019.....	28
Tabela 4. Resumo da análise de variância para as variáveis eficiência fotoquímica de PSII (F_v/F_m), fluxo de energia absorvida por centro de reação ativo (ABS/RC), fluxo de captura de energia por centro de reação (TRo/RC), fluxo de transporte de elétrons de Q_A - para Q_B por centro de reação ativo (ETo/RC), fluxo de energia dissipada por centro de reação ativo (DIO/RC) e índice de desempenho na base de absorção (PI _{ABS}) em função dos tratamentos. Rio Verde -GO, Safra 2018/2019.....	29
Tabela 5. Valores médios da eficiência fotoquímica de PSII (F_v/F_m), fluxo de energia absorvida por centro de reação ativo (ABS/RC), fluxo de captura de energia por centro de reação (TRo/RC), fluxo de transporte de elétrons de Q_A - para Q_B por centro de reação ativo (ETo/RC), fluxo de energia dissipada por centro de reação ativo (DIO/RC) além do índice de desempenho na base de absorção (PI _{ABS}), em função dos tratamentos. Rio Verde -GO, Safra 2018/2019.....	33
Tabela 6. Valores médios da transpiração (<i>E</i>), taxa fotossintética (<i>A</i>), condutância estomática (g_s), relação C_i/C_a (C_i/C_a) e eficiência da carboxilação (EiC) em função dos tratamentos. Rio Verde - GO, Safra 2018/2019.....	34
Tabela 7. Valores médios da transpiração (<i>E</i>), taxa fotossintética (<i>A</i>), condutância estomática (g_s) concentração interna de CO ₂ (C_i), relação C_i/C_a (C_i/C_a), eficiência no uso da água (EUA) e eficiência da carboxilação (EiC) em função dos tratamentos. Rio Verde -GO, Safra 2018/2019.....	36

CAPÍTULO II.

Tabela 1. Condições climáticas registradas no momento da aplicação dos diferentes tratamentos. Rio Verde -GO.....	62
Tabela 2. Significância e valores médios da clorofila <i>a</i> (Chl <i>a</i>), clorofila <i>b</i> (Chl <i>b</i>), clorofila total (Chl T), fluxo de energia absorvida por centro de reação ativo (ABS/RC), fluxo de captura de energia por centro de reação (TRo/RC), fluxo de transporte de elétrons por centro de reação (ETo/RC), fluxo de energia dissipada por centro de reação ativo (DIo/RC) e índice de desempenho na base de absorção (PI _{ABS}), aos 2 DAA em função dos tratamentos. Rio Verde - GO, Safra 2018/2019.....	64
Tabela 3. Valores médios da taxa transpiratório (<i>E</i>), taxa fotossintética (<i>A</i>), condutância estomática (<i>g_s</i>), relação <i>Ci/Ca</i> (<i>Ci/Ca</i>) e eficiência instantânea de carboxilação (<i>A/Ci</i>) aos 2 DAA em função dos tratamentos. Rio Verde - GO, Safra 2018/2019.....	65
Tabela 4. Resumo da análise de variância para as variáveis clorofila <i>a</i> (Chl <i>a</i>), clorofila <i>b</i> (Chl <i>b</i>), clorofila total (Chl T), rendimento quântico máximo do PSII (<i>F_v/F_m</i>), fluxo de energia absorvida por centro de reação ativo (ABS/RC), fluxo de captura de energia por centro de reação (TRo/RC), fluxo de transporte de elétrons de Q _A - para Q _B por centro de reação ativo (ETo/RC), Fluxo de energia dissipada por centro de reação ativo (DIo/RC), índice de desempenho na base de absorção (PI _{ABS}), aos 10 DAA em pós-emergência dos herbicidas e 06 e 04 DAA do bioestimulante em plantas de soja. Rio Verde - GO, Safra 2018/2019.....	66
Tabela 5. Valores médios da clorofila <i>a</i> , <i>b</i> e total (Chl <i>a</i>), clorofila <i>b</i> (Chl <i>b</i>), clorofila total (Chl T), aos 10 DAA em pós-emergência dos herbicidas e 04 e 06 DAA do bioestimulante em plantas de soja. Rio Verde - GO, Safra 2018/2019.....	67
Tabela 6. Valores médios do rendimento quântico máximo do PSII (<i>F_v/F_m</i>), fluxo de energia absorvida por centro de reação ativo (ABS/RC), fluxo de captura de energia por centro de reação (TRo/RC), fluxo de transporte de elétrons de Q _A - para Q _B por centro de reação ativo (ETo/RC), Fluxo de energia dissipada por centro de reação ativo (DIo/RC), índice de desempenho na base de absorção (PI _{ABS}) aos 10 DAA em pós-emergência dos herbicidas e 04 e 06 DAA dos bioestimulante em plantas de soja. Rio Verde - GO, Safra 2018/2019.....	70
Tabela 7. Resumo da análise de variância para as variáveis transpiração (<i>E</i>), taxa fotossintética (<i>A</i>), condutância estomática (<i>g_s</i>), relação <i>Ci/Ca</i> (<i>Ci/Ca</i>) e eficiência instantânea da carboxilação (<i>EiC</i>) aos 10 DAA em pós-emergência dos herbicidas e 06	

e 04 dias após aplicação do bioestimulantes em plantas desoja. Rio Verde, Safra 2018/2019.....71

Tabela 8. Valores médios da taxa transpiratório (E), taxa fotossintética (A), relação C_i/C_a (C_i/C_a), condutância estomática (g_s), e eficiência da carboxilação (A/C_i) aos 10 DAA em pós-emergência dos herbicidas e 06 e 04 DAA do bioestimulante em plantas de soja. Rio Verde - GO, Safra 2018/2019.....73

CAPÍTULO III.

Tabela 1. Condições climáticas nas respectivas épocas de aplicação dos tratamentos. Rio verde - GO, 2020/21.....88

Tabela 02. Rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m), fluxo de captura de energia por centro de reação (TRo/RC), fluxo de energia dissipada por centro de reação ativo (Dio/RC), índice de desempenho na base de absorção (PI_{ABS}) e fluxo de energia absorvida por centro de reação ativo (ABS/RC) aos dois dias após a aplicação de herbicidas pós-emergência em plantas de soja.....94

Tabela 03. Clorofila a (Clo a), clorofila b (Clo b), clorofila total (Clo T), taxas fotossintéticas (A), transpiratória (E), condutância estomática (g_s), relação entre a concentração interna e externa de CO₂ (C_i/C_a) e eficiência da carboxilação (A/C_i) aos dois dias após a aplicação de herbicidas pós-emergência em plantas de soja.....95

Tabela 04. Análise de variância referente a clorofila a (Clo a), clorofila b (Clo b), clorofila total (Clo t), rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m), fluxo de captura de energia por centro de reação (TRo/RC), Fluxo de energia dissipada por centro de reação ativo (Dio/RC), índice de desempenho na base de absorção (PI_{ABS}) e fluxo de energia absorvida por centro de reação ativo (ABS/RC) em plantas de soja aos dez dias após a aplicação de herbicidas em pós-emergência, na safra 2018/2019.....116

Tabela 05. Análise de variância referente a taxa fotossintética (A), condutância estomática (g_s), taxa transpiratória (E), relação entre a concentração interna e externa de CO₂ (C_i/C_a) e eficiência da carboxilação (A/C_i) em plantas de soja aos dez dias após a aplicação de herbicidas em pós-emergência, na safra 2018/2019.....116

Tabela 06. Análise de variância referente a índice de área foliar (IAF), razão da área foliar (RAF) taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa assimilatória líquida (TAL) e taxa de crescimento da cultura (TCC) em plantas de soja aos dez dias após a aplicação de herbicidas em pós-emergência, na safra 2018/2019.....117

Tabela 07. Análise de variância referente a índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFAi) e eficiência de interceptação (Ei) em quatro momentos com intervalos de sete dias, em plantas de soja iniciando aos dez dias após a aplicação de herbicidas em pós-emergência, na safra 2018/2019.....117

Tabela 08. Análise de variância referente a população de plantas (POP), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), peso de mil grãos (PMG), produtividade de grãos (PROD), índice de colheita (IC) e a produtividade por planta (PROD.P) em plantas de soja, submetidas a aplicação de herbicidas e bioestimulante, na safra 2018/2019.....118

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO III

- Figura 1.** Dados diários, precipitação, temperatura e umidade relativa no período decorrente do experimento, safra 2020-21, Rio Verde–Goiás.....86
- Figura 02.** Clorofila *a* (A, B), clorofila total (C, D) e taxa de crescimento relativo (TCR - E, F) em plantas de soja aos dez dias após a aplicação de herbicidas em pós-emergência, na safra 2018/2019. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.....97
- Figura 03.** Taxa fotossintética (*A*, *A*), eficiência da carboxilação (*A/Ci*, *B*), rendimento quântico máximo do fotossistema II (*Fv/Fm*, *C*), fluxo de energia dissipada por centro de reação ativo (*Dio/RC*, *D*), fluxo de energia absorvida por centro de reação ativo (*ABS/RC*, *E*) e fluxo de captura de energia por centro de reação (*TRo/RC*, *F*) em plantas de soja aos dez dias após a aplicação de herbicidas em pós emergência, na safra 2020/2021. Letras minúsculas comparam herbicidas entre bioestimulante e maiúscula comparam herbicidas dentro do bioestimulante pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.....99
- Figura 04.** Condutâncias estomática (g_s , *A*), transpiratória (*E*, *B*), índice de desempenho na base de absorção (PI_{ABS} , *C*) e índice de área foliar (*IAF*, *D*) em plantas de soja aos dez dias após a aplicação de herbicidas em pós-emergência, na safra 2020/2021. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.100
- Figura 05.** Índice de vegetação por diferença normalizada 10 DAA ($NDVI_{10\ DAA}$, *A*), índice de vegetação por diferença normalizada aos 17 DAA ($NDVI_{17\ DAA}$, *B*) e eficiência de interceptação aos 10 DAA ($Ei_{10\ DAA}$, *C*) em plantas de soja aos dez dias após a aplicação de herbicidas em pós-emergência, na safra 2018/2019. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.....101

- Figura 06.** Razão da área foliar (RAF, A), número de grãos por planta (NGP, B), número de vagens por planta (NVP, C) e em plantas de soja aos dez dias após a aplicação de herbicidas em pós-emergência, na safra 2018/2019. Letras minúsculas comparam herbicidas entre bioestimulante e maiúscula comparam herbicidas dentro do bioestimulante pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.103
- Figura 07.** Produtividade (A) e taxa assimilatória líquida (TAL, B) em plantas de soja aos dez dias após a aplicação de herbicidas em pós-emergência, na safra 2020/2021. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade...104
- Figura 08.** Teste de tetrazólio vigor (TZ-VG, A e B), testes de germinação (GER, C e D) e envelhecimento acelerado (EA, E e F), em função dos diferentes tratamentos, na safra 2020/21. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.....106
- Figura 09.** Teste de tetrazólio viabilidade (TZ-VIA, A), matéria seca germinação (MS-GER, B), matéria seca envelhecimento acelerado (MS-EA, C) e matéria seca canteiro (MS-CA, D) em função dos diferentes tratamentos, na safra 2020/21. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.....107
- Figura 10.** Teste emergência em canteiro 6 dias (CA-6, A), emergência em canteiro 12 dias (CA-12, B), comprimento parte aérea canteiro (PA-CA, C) e comprimento parte radicular canteiro (PR-CA, D) em função dos diferentes tratamentos, na safra 2020/21. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.109.

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIACIONES E UNIDADES

<i>A</i>	Taxa fotossintética	($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
<i>A/Ci</i>	Eficiência instantânea de carboxilação	($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) ⁻¹
<i>ABS/RC</i>	Fluxo específico de absorção luminosa por centro de reação	
<i>CA</i>	Teste emergência em canteiro 6 dias	
<i>Ci/Ca</i>	Razão entre a concentração interna e externa de CO ₂	
<i>Cl a</i>	Clorofila <i>a</i>	($\mu\text{g cm}^{-2}$)
<i>Cl b</i>	Clorofila <i>b</i>	($\mu\text{g cm}^{-2}$)
<i>CO₂</i>	Dióxido de carbono	
<i>DIO/RC</i>	Fluxo de energia dissipada por centro de reação	
<i>E</i>	Taxa transpiratória	($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
<i>EA</i>	Envelhecimento acelerado	
<i>Ei</i>	Eficiência de interceptação	
<i>ETo/RC</i>	Fluxo de transporte de elétrons por centro de reação	
<i>ETR</i>	Taxa de transporte de elétrons	($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
<i>ETR/A</i>	Relação entre taxa aparente de transporte de elétrons e assimilação de CO ₂	
<i>F₀</i>	Fluorescência inicial	
<i>FSII</i>	Fotossistema II	
<i>F_v/F_m</i>	Rendimento quântico potencial do fotossistema II	
<i>GER</i>	Testes de germinação	
<i>g_s</i>	Condutância estomática	($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
<i>IAF</i>	Índice de área foliar	
<i>MS-CA</i>	Matéria seca canteiro	
<i>MS-EA</i>	Matéria seca envelhecimento acelerado	
<i>MS-GER</i>	Matéria seca germinação	
<i>NDVI</i>	Índice de vegetação por diferença normalizada	
<i>NGP</i>	Número de grãos por planta	
<i>NVP</i>	Número de vagens por planta	
<i>PA-CA</i>	Comprimento parte aérea canteiro	
<i>PI_{ABS}</i>	Índice de desempenho fotossintético com base na absorção	
<i>PR-CA</i>	Comprimento parte radicular canteiro	
<i>RAF</i>	Razão da área foliar	
<i>RAF</i>	Razão da área foliar	
<i>TAL</i>	Taxa assimilatória líquida	
<i>TRo/RC</i>	Fluxo de energia capturado por centro de reação	
<i>TZ-VIA - VG</i>	Teste de tetrazólio viabilidade e Vigor	

RESUMO GERAL

ANDRADE, CHRISTIANO LIMA LOBO DE. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, setembro de 2022. **Desempenho fisiológico e agrônômico da soja submetida a aplicação de herbicidas e bioestimulante a base de *Ascopillum nodosum***. Orientador: Dr. Alessandro Guerra da Silva.

O uso indiscriminado de glyphosate selecionou biótipos de plantas daninhas resistentes a este herbicida, dificultando o manejo destas espécies e causando reduções na produtividade da cultura da soja pela ausência de controle. Dessa forma, alguns herbicidas pré-emergentes e os latifolicidas vêm ressurgindo como estratégia promissora no controle destas plantas daninhas. No entanto, o uso destes herbicidas pode proporcionar danos ao aparato fotossintético, comprometendo os componentes de produtividade da cultura da soja. Nesse cenário, os bioestimulantes apresentam-se como ferramenta capaz de potencializar as atividades metabólicas e fisiológicas das plantas de soja podendo resultar em redução do estresse causado pelos herbicidas. O objetivo geral deste trabalho é verificar se bioestimulantes têm potencial em reverter as injúrias causadas por latifolicidas. Para isto foram realizados 3 experimentos distribuídos em três capítulos, sendo os estudos dos capítulos I e II realizados em casa de vegetação e III no campo. O capítulo I teve como objetivo verificar o potencial da aplicação dos herbicidas diclosulam e sulfentrazone, indicado para o controle de dicotiledôneas e pré-emergência, para causar danos ao aparato fotossintético de plantas de soja, assim, verificar a capacidade do bioestimulante em mitigar os efeitos deletérios da aplicação dos herbicidas. Este estudo comprova a capacidade do bioestimulante em potencializar a fotossíntese. O capítulo II teve como objetivo verificar o potencial de um bioestimulante derivado de *A. nodosum* em mitigar danos ao processo fotossintético de plantas de soja tratadas com herbicidas pós-emergência, bem como determinar a fase de desenvolvimento da cultura mais responsiva ao bioestimulante. Concluindo que 2 dias

após a aplicação (DAA), os herbicidas inibidores da ALS (cloransulam) e da PROTOX (lactofen), não proporcionaram inibição das trocas gasosas das plantas de soja. Por outro lado, aos 10 DAA dos herbicidas foi possível constatar que o cloransulam e lactofen alteraram os parâmetros da fluorescência da clorofila *a*, porém não foi constatado efeito protetor do bioestimulante. Embora não tenha efeito isolado do bioestimulante nos parâmetros da fluorescência, sua aplicação aos 3 DAA dos herbicidas proporcionou incrementos na taxa fotossintética, condutância estomática e na eficiência da carboxilação das plantas de soja. Mediante ao exposto é possível concluir que o bioestimulante tem potencial de uso na cultura da soja com o objetivo de mitigar os efeitos da aplicação de herbicidas seletivos. No estudo do capítulo III foi avaliado o efeito dos herbicidas cloransulam e lactofen em parâmetros fisiológicos das plantas de soja, além de verificar o potencial do bioestimulante Megafol[®] aplicado em diferentes dias, em minimizar os efeitos dos herbicidas, ainda foi verificado a qualidade fisiológica das sementes oriundas destes campos. Este estudo abre a perspectiva do uso de bioestimulantes específicos para aumentar a tolerância das culturas a herbicidas pós-emergentes amplamente utilizados. O efeito benéfico do bioestimulante Megafol[®] na fisiologia das plantas, refletindo na produtividade foi relatado em plantas de soja submetidas a aplicação dos herbicidas. Além disso, destacando que a aplicação do bioestimulante aos 6 dias após a aplicação do herbicida melhorou a taxa fotossintética, produtividade e o número de grãos por planta em comparação com a ausência de aplicação e aos 3 DAA, sendo esse um resultado que se torna crucial, pois entender o tempo certo da aplicação do bioestimulante acarretará resultados promissores. Além disso, também foi observado que os herbicidas aplicados no estágio vegetativo da cultura da soja proporcionam danos morfofisiológicos nas sementes de soja, influenciando na qualidade final dessas sementes. Por outro lado, a aplicação de bioestimulante em ambos os momentos proporcionou incrementos ao vigor e ao percentual de germinação. Por meio dos resultados obtidos nesta pesquisa, constatou-se que os herbicidas empregados não proporcionaram danos significativos ao desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da soja, entretanto afetam consideravelmente a qualidade das sementes.

PALAVRAS-CHAVE: inibidores da ALS e da PROTOX, bioestimulante Megafol[®], *Glycine max*, aparato fotossintético, produtividade

ABSTRACT

ANDRADE, CHRISTIAN LIMA LOBO DE. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, August 2022. **Physiological and agronomic performance of soybean submitted to the application of herbicides and bio-stimulants based on *Ascopillum nodosum***. Advisor: Dr. Alessandro Guerra da Silva

The indiscriminate use of glyphosate selected weed biotypes resistant to it, turning the management of these species difficult and causing reductions in soybean productivity due to the lack of control. Thus, some pre-emerging herbicides and latifolicides have been re-emerging as a promising strategy to control these weeds. However, the use of these herbicides can damage the photosynthetic apparatus, compromising the productivity components of soybean crop. In this scenario, biostimulants are presented as a tool capable of potentiating the metabolic and physiological activities of soybean plants, which may result in reduced stress caused by herbicides. The general objective of this work is to verify if biostimulants have the potential to reverse the injuries caused by latifolicides. For this, 3 experiments were carried out, distributed in three chapters, being the studies of chapters I and II were carried out in a greenhouse and III in the field. Chapter I aimed to verify the potential of the diclosulam and sulfentrazone herbicides application, indicated for dicotyledons control and pre-emergence, to cause damage to the photosynthetic apparatus of soybean plants, as well as to verify the biostimulant capacity mitigate the deleterious effects of herbicide application. In this study, it was proved the biostimulant ability to potentiate photosynthesis. Chapter II aimed to verify the biostimulant potential derived from *A. nodosum* to mitigate damage to the photosynthetic process of soybean plants treated with post-emergence herbicides, as well as to determine the crop stage of development that is most responsive to the biostimulant. It was concluded that 2 days after application (DAA), the herbicides

inhibiting ALS (chloransulam) and PROTOX (lactofen) did not provide inhibition of gas exchange in soybean plants. On the other hand, at 10 DAA of the herbicides, it was possible to verify that chloransulam and lactofen altered the parameters of chlorophyll a fluorescence, but there was no protective effect of the biostimulant. Although there was no isolated effect of the biostimulant on fluorescence parameters, its application at 3 DAA of herbicides provided increases in photosynthetic rate, stomatal conductance, and carboxylation efficiency in soybean plants. Based on the above, it is possible to conclude that the biostimulant has the potential to be used in soybean crops with the objective of mitigating the effects of the selective herbicides application. In the study of chapter III, the effect of the herbicides chloransulam and lactofen on the physiological parameters of soybean plants was evaluated, in addition to verifying the potential of the Megafol® biostimulant applied on different days, to minimize the herbicides effects, the physiological quality of the plants was also verified as well the seeds from these fields. This study opens the prospect of using specific biostimulants to increase crop tolerance to widely used post-emergent herbicides. The beneficial effect of Megafol® biostimulant on plant physiology, reflecting on productivity, was reported in soybean plants subjected to herbicide application. In addition, highlight that the biostimulant application at 6 days after the herbicide application improved the photosynthetic rate, productivity and the number of grains per plant compared to the absence of application and at 3 DAA, which is a result that becomes crucial, because understanding the right time of biostimulant application will lead to promising results. In addition, it was also observed that herbicides applied in the vegetative stage of the soybean crop provide morphophysiological damage to soybean seeds, influencing the final quality of these seeds. On the other hand, the biostimulant application at both times provided increments to vigor and germination percentage. Through the results obtained in this research, it was found that the herbicides used did not cause significant damage to the vegetative and reproductive development of soybeans, however they significantly affect the quality of the seeds.

KEYWORDS: ALS and PROTOX inhibitors, Megafol® biostimulant, *Glycine max*, photosynthetic apparatus, productivity

INTRODUÇÃO GERAL

As leguminosas são particularmente importantes para a economia mundial, e a soja (*Glycine max*) é uma leguminosa de importância global que fornece proteínas e óleos para humanos e animais (Fang *et al.*, 2017). E, o agronegócio é o setor agrícola que mais tem contribuído para o bem-estar econômico brasileiro. Nesta safra de 2021/22 foram semeados 40,95 milhões de hectares, representando aumento equivalente a 4,5% superior de área de plantio em relação à safra 2020/21. A produção obtida foi de 124.047,8 mil toneladas, e a produtividade média alcançada foi de 3.029 kg ha⁻¹ (CONAB, 2022). Este cenário só foi possível mediante ao desenvolvimento de técnicas de cultivo e novas tecnologias, que permitiram ampliar o potencial produtivo dessa cultura. No entanto, para que os cultivos obtenham sucesso a fisiologia da semente influencia diretamente o processo de germinação e emergência, garantindo o bom desenvolvimento inicial das plântulas (Makhaye *et al.*, 2021). Neste caso, o desempenho agrônomo das plantas de soja, bem como a produtividade de grãos e principalmente a qualidade destes grãos pode ser comprometida por inúmeros fatores, assim como a competição exercida pelas plantas daninhas (Forte *et al.*, 2017).

Na agricultura, a aplicação de herbicidas tem sido amplamente utilizada para proteger as lavouras da incidência de plantas daninhas, no entanto, o tratamento com herbicida pode levar à resistência em plantas daninhas (Lei, 2018). Dentre as tecnologias o glyphosate foi comercializado pela primeira vez em 1974 pela Monsanto, sob a marca Roundup, e tornou-se uma ferramenta chave de controle de plantas daninhas, no entanto as dicotiledôneas tolerantes ao glyphosate que vêm causando maiores restrições e necessidade de utilização dos herbicidas com espectro de controle sob folhas largas. Nesse cenário, o uso de outros mecanismos de ação vem ressurgindo

como estratégia promissora no controle de plantas daninhas resistentes ao glyphosate (Souza *et al.*, 2002).

Dentre os mecanismos de ação com maior seletividade a cultura da soja destacam-se os inibidores das enzimas protoporfirinogênio oxidase (PROTOX) e acetolactato sintase (ALS), sendo representados pelos herbicidas cloransulam e lactofen (Hu *et al.*, 2020; Zhan *et al.*, 2021). Entretanto, mesmo sendo seletivos a cultura da soja, é conhecido o efeito residual desses herbicidas no aparato fisiológico das plantas, assim como já relatado o efeito do herbicida inibidores da PROTOX incluindo danos em tecidos em crescimento e a formação de pontos necróticos mais extensos (Zandoná *et al.*, 2021). Afinal, a seletividade da soja aos herbicidas dependerá de sua capacidade em metabolizar a molécula herbicida em formas não tóxicas, e de seus mecanismos de defesa contra as espécies reativas ao oxigênio, substâncias altamente tóxicas às células da planta (Zobiolo *et al.*, 2010; Tandon e Dubey 2015). Além disso, alguns herbicidas não só afetaram os componentes de produção, mas também o vigor das sementes, ou seja, quando o crescimento e o desenvolvimento vegetal são afetados, pode haver interferência na formação, no desenvolvimento e na maturação das sementes, o que compromete o potencial fisiológico delas (Albrecht *et al.*, 2012; Marchi *et al.*, 2021).

Dessa forma, uma das estratégias de manejo desenvolvidas pela pesquisa é a aplicação de bioestimulantes após a aplicação do herbicida. Os bioestimulantes são a mistura de dois ou mais reguladores vegetais com outras substâncias (da Silva Cavalcante *et al.*, 2020), que por sua vez eles ajudam as plantas a superar estresses abióticos ao logo do seu desenvolvimento, atuando no incremento hormonal e nutricional (Oliveira *et al.*, 2016; Silva e Silva, 2021). Portanto, estes compostos possuem capacidade de potencializar processos metabólicos e fisiológicos na planta, e neste contexto, apresentam-se como importante ferramenta para reduzir o estresse causado pela aplicação do herbicida (Sharma *et al.*, 2014; Westman *et al.*, 2019; Szparaga *et al.*, 2021). Adicionalmente, o uso de tais substâncias tendem a proporcionar maior estabilidade produtiva, resultando em plantas capazes de expressar todo seu potencial genético, e conseqüentemente propensas a obter maiores produtividades. Mediante a importância da soja e a necessidade do uso dos herbicidas latifolicidas, torna-se urgente a necessidade de identificar uma técnica de manejo que minimize os impactos negativos da aplicação desses produtos sobre a cultura.

Assim sendo, há a necessidade de identificar os impactos dos herbicidas e do bioestimulante nas atividades de enzimas de proteção da planta, no processo fotossintético, e nas características agronômicas da cultura da soja. Além disso, é de grande relevância indicar a época mais adequada para a aplicação do bioestimulante, a fim de atenuar as injúrias fisiológicas causadas pelo herbicida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albrecht, L. P., Alonso, D. G., Albrecht, A. J. P., Oliveira Jr, R. S., Braccini, A. L., & Constantin, J. (2012). Glyphosate e associações em pós-emergência no desempenho agronômico e na qualidade das sementes de soja RR®. *Planta Daninha*, 30, 139-146.
- CONAB 2022. Acomp. Safra brasileira de grãos, Brasília, v.9 – Safra 2021/22, n.10 - Décimo levantamento, p. 1-88, julho 2022.
- Da Silva Cavalcante, W. S., Da Silva, N. F., Teixeira, M. B., Cabral Filho, F. R., Nascimento, P. E. R., & Corrêa, F. R. (2020). Eficiência dos bioestimulantes no manejo do déficit hídrico na cultura da soja. *IRRIGA*, 25(4), 754-763.
- Fang, C., Ma, Y., Wu, S., Liu, Z., Wang, Z., Yang, R., & Tian, Z. (2017). Genome-wide association studies dissect the genetic networks underlying agronomical traits in soybean. *Genome biology*, 18(1), 1-14.
- Forte, C. T., Basso, F. J. M., Galon, L., Agazzi, L. R., Nonemacher, F., & Concenço, G. (2017). Habilidade competitiva de cultivares de soja transgênica convivendo com plantas daninhas. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 12(2), 185-193.
- Hu, T., Xiang, Y., Chen, Q., Shang, N., Xu, M., & Huang, X. (2020). A novel esterase LanE from *Edaphocola flava* HME-24 and the enantioselective degradation mechanism of herbicide lactofen. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 205, 111141.
- Lei, L. New routes to kill weeds. *Nature Plants* 4, 509 (2018).
- Makhaye, G., Mofokeng, M. M., Tesfay, S., Aremu, A. O., Van Staden, J., & Amoo, S. O. (2021). Influence of plant biostimulant application on seed germination. *Biostimulants for Crops from Seed Germination to Plant Development*, 109-135.
- Marchi, C. S., Albrecht, A. J. P., Albrecht, L. P., Novakoski, F. P., Silva, A. F. M., & Mundt, T. T. (2021). Quality of soybean seeds under application of herbicides or growth regulators. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 16(1), 1-6.

- Oliveira, S. S. C. D., Martins, C. C., Cruz, S. J. S., & Silva, C. J. D. (2014). Seleção de progênies de nabo-forrageiro para germinação sob altas temperaturas. *Ciência Rural*, 44, 217-222.
- Sharma, H. S., Fleming, C., Selby, C., Rao, J. R., & Martin, T. (2014). 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*, 26(1), 465-490.
- Silva, M. B. P., & Silva, V. N. (2021). Biocondicionamento de sementes de tomate com extrato de alga vermelha. *Scientific Electronic Archives*, 14(3), 28-36.
- Souza, R. T. D., Constantin, J., Velini, E. D., Montorio, G. A., & Maciel, C. D. D. G. (2002). Seletividade de combinações de herbicidas latifolicidas com lactofen para a cultura de soja. *Scientia Agrícola*, 59, 99-106.
- Szparaga, A., Kocira, S., Findura, P., Kapusta, I., Zagula, G., & Świeca, M. (2021). Uncovering the multi-level response of *Glycine max* L. to the application of allelopathic biostimulant from *Levisticum officinale* Koch. *Scientific Reports*, 11(1), 1-15.
- Tandon, S., & Dubey, A. (2015). Effects of Biozyme (*Ascophyllum nodosum*) biostimulant on growth and development of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46(7), 845-858.
- Westman, S. M., Kloth, K. J., Hanson, J., Ohlsson, A. B., & Albrechtsen, B. R. (2019). Defence priming in *Arabidopsis*—a meta-analysis. *Scientific reports*, 9(1), 1-13.
- Zandoná, R. R., Ulguim, A. D. R., Schimtz, M. F., Rubert, J., Martins, C. R., & Agostineto, D. (2021). Sintomas de Fitotoxicidade de Herbicidas em Nogueira-pecã. *Embrapa Clima Temperado-Circular Técnica* (INFOTECA-E).
- Zhang, Y., Zhang, J., Shi, B., Li, B., Du, Z., Wang, J., ... & Wang, J. (2021). Effects of cloransulam-methyl and diclosulam on soil nitrogen and carbon cycle-related microorganisms. *Journal of Hazardous Materials*, 418, 126395.
- Zobiolo Henrique Saes, L., De Oliveira, R. S., Morgan Huber, D., Constantin, J., De Castro, C., De Oliveira, F. A., & De Oliveira, A. (2010). Glyphosate reduces shoot concentrations of mineral nutrients in glyphosate-resistant soybeans. *Plant and Soil*, 328(1), 57-69.

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é verificar se o bioestimulante tem potencial em reverter as injúrias causadas por herbicidas latifolicidas, bem como definir a época mais adequada de aplicação do bioestimulante.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar o nível de dano do cloransulam e lactofen na fisiologia, produção e qualidade das sementes de plantas de soja;
2. Identificar o potencial do bioestimulante em proporcionar incrementos na eficiência fotossintética da cultura sob estresse por herbicidas;
3. Determinar o potencial do bioestimulante para melhorar fisiologia, produção e qualidade das sementes de soja;
4. Estabelecer se o bioestimulante exerce efeito reparador das injúrias causadas pelos herbicidas no pré-emergentes e pós-emergentes;
5. Identificar o estágio mais adequado de aplicação do bioestimulante na cultura da soja.

3. CAPÍTULO I

CULTURA DA SOJA SUBMETIDA À APLICAÇÃO DE HERBICIDAS INIBIDORES DE PROTOX E ALS EM PRÉ- EMERGÊNCIA ASSOCIADO A BIOESTIMULANTE

RESUMO

A produtividade da cultura da soja pode ser influenciada por inúmeros fatores, dentre eles a competição com plantas daninhas. Nesse sentido, os herbicidas seletivos utilizados em pré-emergência da cultura da soja voltaram a ser empregados como ferramenta essencial no controle de plantas com alto nível de resistência ao glyphosate. No entanto, a utilização destes pode causar uma série de danos ao metabolismo fotossintético da soja e comprometer o desenvolvimento da cultura. Uma alternativa para mitigar os efeitos deletérios destes herbicidas é a aplicação de bioestimulante derivado do *Ascophyllum nodosum*. Dessa forma, objetivou-se com o presente estudo verificar o potencial dos herbicidas diclosulam e sulfentrazone em causar danos ao aparato fotossintético da cultura da soja, e verificar a capacidade do bioestimulante em mitigar os efeitos deletérios da aplicação dos herbicidas. O experimento foi instalado em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições em arranjo fatorial (3 x 2), totalizando 6 tratamentos, sendo que o primeiro fator corresponde a aplicação dos herbicidas diclosulam (29,4 g i.a. ha⁻¹) e sulfentrazone (640 g i.a. ha⁻¹) em pré-emergência, acrescido de um tratamento sem utilização de herbicidas, enquanto o segundo fator foi composto pela ausência e presença do bioestimulante em tratamento de semente. Foram avaliadas as trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a*, e o índice de clorofilas *a*, *b* e total. O bioestimulante incrementou o índice de clorofila *b*, entretanto não alterou os parâmetros da fluorescência da clorofila *a*. O diclosulam proporcionou decréscimos na eficiência fotoquímica de PSII, aumento no fluxo de energia absorvida por centro de reação, menor fluxo no transporte de elétrons e aumento no fluxo de energia dissipada por centro de reação ativo. Porém, a aplicação do bioestimulante não mitigou os efeitos deletérios ao fotossistema II em função da aplicação dos herbicidas. O bioestimulante reduziu a condutância estomática e incrementou a transpiração, relação *Ci/Ca*, taxa fotossintética e eficiência da carboxilação.

Palavras-Chave: Diclosulam, extrato de algas, fotossíntese, *Glycine max*, sulfentrazone.

ABSTRACT

The soybean productivity can be influenced by numerous factors, including competition with weeds. In this sense, the selective herbicides used in the pre-emergence of the soybean crop are once again used as an essential tool for plants control of plants with a high level of resistance in RR soybeans. However, the use of these can cause a series of damages to the soybean photosynthetic metabolism and compromise the crop development. Therefore, an alternative to mitigate the deleterious effects of these herbicides is the application of a biostimulant derived from *Ascophyllum nodosum*. Thus, the objective of the present study was to verify the potential of diclosulam and sulfentrazone herbicides to cause damage to the photosynthetic apparatus of soybean crop, as well as to verify the biostimulant capacity to mitigate the deleterious effects of the herbicide application. The experiment was carried out in a randomized block design with four replications in a factorial arrangement (3 X 2), totaling 6 treatments, with the first factor corresponding to the application of herbicides diclosulam (29.4 g a.i. ha⁻¹) and sulfentrazone (640 g i.a. ha⁻¹) in pre-emergence, plus a treatment without the use of herbicides, while the second factor was composed by the absence and presence of the biostimulant in seed treatment. Gas exchange, chlorophyll a fluorescence, and chlorophyll *a*, *b* and total chlorophyll content were evaluated. The biostimulant increased the chlorophyll b index, however it did not change the chlorophyll a fluorescence parameter. Diclosulam provided decreases in the photochemical efficiency of PSII, an increase in the flux of energy absorbed by reaction center, lower flux in electron transport and an increase in the flux of energy dissipated by active reaction center. However, the biostimulant application did not mitigate the deleterious effects on photosystem II due to the herbicides application. The biostimulant reduced stomatal conductance increased transpiration, *Ci/Ca* ratio, photosynthetic rate, and carboxylation efficiency.

KEYWORDS: *Glycine max* L.; foliar fertilization; water deficit; morphological characteristics.

3.1. INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max* L.) ocupa posição de destaque no cenário agrícola nacional, sendo responsável por grande volume de divisas e geração de empregos, fazendo da cultura a oleaginosa mais importante no Brasil e no mundo (CONAB, 2021). No entanto a produtividade da cultura pode ser influenciada por inúmeros fatores, dentre eles a interferência das plantas daninhas (CARVALHO & VELINI, 2001; PIRES *et al.*, 2005; NEPOMUCENO *et al.*, 2007; LAMEGO *et al.*, 2015; FORTE *et al.*, 2017). Nesse sentido, os herbicidas utilizados em pré-emergência, que entraram em desuso, voltam a ser empregados como ferramenta essencial ao controle de plantas daninhas resistentes (ALONSO *et al.*, 2013; BIFFE *et al.*, 2014). Afinal, estes herbicidas possuem efeito prolongado durante o período crítico de prevenção à interferência, além de permitir a rotação de mecanismos de ação e ingredientes ativos (BARROSO *et al.*, 2010). Neste sentido, inúmeros produtores têm utilizado esta estratégia como forma de reduzir o grau de infestação das plantas daninhas de difícil controle, histórico de resistência ou aquelas propensas a adquirir (MUELLER *et al.*, 2014).

Para a cultura da soja os herbicidas diclosulam (inibidor da ALS) e o sulfentrazone (inibidor da PROTOX) têm ganhado destaque entre os agricultores, visto a capacidade das plantas de soja em metabolizar os ingredientes ativos (OSIPE *et al.*, 2014). No entanto, mesmo apresentando mecanismo de seletividade a estas classes de herbicidas, a planta de soja poderá responder de forma negativa as aplicações destes compostos, podendo ter seu desenvolvimento limitado e ocasionando reduções em produtividade (GALON *et al.*, 2011; DAN *et al.*, 2012).

O sulfentrazone caracteriza-se por interferir na síntese da enzima protoporfirinogênio oxidase - PROTOX localizada nas membranas dos tilacoides (SILVA *et al.*, 2007). O efeito mais marcante da utilização desta classe de herbicidas é

estresse oxidativo causado pelo aumento significativo de espécies reativas ao oxigênio (EROs), que por sua vez ocasionará distúrbios na peroxidação de lipídios e o extravasamento celular causando danos a aparato fotossintético (CARRETERO, 2008; GALON *et al.*, 2010). Estes efeitos se tornam evidentes pois ocasionará decréscimos na síntese de clorofila, grupamentos heme e síntese carotenoides, com isto, a dissipação de energia ficará comprometida (TRIPATHY *et al.*, 2007), ocasionando impactos na fluorescência da clorofila e conseqüentemente nas trocas gasosas das plantas de soja. Adicionalmente, as EROs atuam como mensageiros secundários na ativação de canais da membrana plasmática, possibilitando o influxo de cálcio no citossol (TAIZ & ZEIGER, 2013), com isto ocorrerá a formação de óxido nítrico, que estimula a síntese e atividade do ácido abscísico, por sua vez promovendo o fechamento estomático (VARGAS *et al.*, 2014). Dessa forma, com a redução da condutância estomática poderá ocorrer redução na concentração interna de CO₂ (C_i), que por sua vez pode ocasionar redução na transpiração (*E*), e, conseqüentemente reduções na fotossíntese (*A*) (SILVA *et al.*, 2010).

Já o diclosulam irá atuar nos cloroplastos interferindo na síntese a enzima acetolactato sintase, necessária na síntese dos aminoácidos de cadeia ramificada, valina, leucina e isoleucina. Com isto, pode ocorrer decréscimo na síntese de proteínas será drasticamente reduzida ocasionando necrose no meristema apical (FLECK & VIDAL, 1994). É válido destacar que os aminoácidos de cadeia ramificada e as proteínas podem ser complemente oxidadas, liberando elétrons diretamente na cadeia transportadora de elétrons, contribuindo para a síntese de energia na forma de ATP - molécula de adenosina trifosfato (ARAÚJO *et al.*, 2011; HILDEBRANDT, 2018). Dessa forma, a aplicação de cloransulam pode ocasionar distúrbios na fluorescência da clorofila a e conseqüentemente reduções na fotossíntese das plantas, por sua vez acarretando influência indireta sobre as variáveis associadas à fotossíntese e conseqüentemente paralisação do crescimento das plantas. A exemplo disso, Biffe (2012) constatou que a aplicação de diclosulam e sulfentrazone proporcionou reduções na taxa fotossintética aos 41 dias após a emergência da soja. Já Simão *et al.*, (2017) afirmou que o sulfentrazone na cultura da soja em solos, acabou aumentando o efeito fitotóxico à cultura, influenciando negativamente sobre o desenvolvimento das plântulas.

Mediante aos fatos apresentados o tratamento das sementes com bioestimulante derivados do *Ascophyllum nodosum* é uma alternativa viável para mitigar os efeitos deletérios causados pelos herbicidas (CRAIGIE, 2011; DU JARDIN, 2015). Isto é

possível visto que os bioestimulantes são compostos de substâncias orgânicas, extrato de algas e microrganismos, cuja composição química contém inúmeros compostos e elementos benéficos aos processos metabólicos das plantas (CRAIGIE, 2011; DU JARDIN, 2015, CAVALCANTE *et al.*, 2020), resultando em incremento na produção em função de processos ligados ao enraizamento e desenvolvimento vegetativo (SILVA *et al.*, 2018; MAČIK *et al.*, 2020).

No entanto uma das características mais marcantes do extrato de *A. nodosum* é a presença de traços de hormônios vegetais (MACKINNON *et al.*, 2010; GEHLING *et al.*, 2017), que por sua vez irão atuar em inúmeros processos metabólicos e consequentemente influenciar positivamente as trocas gasosas e possivelmente a produtividade da cultura (CALVO *et al.*, 2014; MÓGOR, 2017; SILVA *et al.*, 2018; COELHO *et al.*, 2019; MAČIK *et al.*, 2020; CAVALCANTE *et al.*, 2020). Os hormônios vegetais estão ligados a inúmeras funções vitais nas plantas, como a divisão celular, mobilização de nutrientes, expansão de folhas e cotilédones, germinação de sementes, dominância apical, formação e atividade dos meristemas apicais e superação de dormência de gemas (FAGAN *et al.*, 2015).

Soares (2016) posicionou a aplicação bioestimulante à base de citocininas em dois estádios de desenvolvimento de soja e concluiu que o uso do hormônio aumentou a assimilação de nitrogênio, reduziu o nível de estresse das plantas, incrementou o acúmulo de massa de matéria seca das plantas e repercutiu em ganhos em produtividade. Já Fioreze *et al.* (2017) estudando a influência da aplicação de bioestimulante no estádio reprodutivo da soja verificaram que a aplicação em casa de vegetação e em campo apresentou padrões diferentes. Para Silva *et al.* (2018), objetivando entender o comportamento de bioestimulantes, aplicados no tratamento de sementes da cultura da soja, observaram aumentos nos valores de altura de planta, diâmetro de caule, comprimento de raiz e largura de raiz, matéria seca de folha, matéria seca de caule, matéria seca de raiz, matéria seca total e potencial hídrico na fase inicial, proporcionando maior produtividade de grãos.

Mediante ao exposto, objetivou-se com o presente estudo verificar o potencial dos herbicidas diclosulam e sulfentrazone em causar danos ao aparato fotossintético de plantas de soja, assim como, verificar a capacidade do bioestimulante em mitigar os efeitos deletérios da aplicação dos herbicidas.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1. Material vegetal, desenho experimental e condições experimentais

O experimento foi instalado em casa de vegetação no Laboratório De Ecofisiologia e Produtividade Vegetal do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde (17°48'08'' de latitude sul e 50°54'20'' de longitude oeste e altitude de 780 m) no município de Rio Verde -GO, entre novembro de 2018 a janeiro de 2019. Durante a condução do experimento, as condições climáticas foram parcialmente controladas, no sentido de manter a temperatura do ar no máximo aos 30°C e a umidade relativa do ar a 70%, por meio do sistema de climatização da casa de vegetação. As unidades experimentais foram constituídas por vasos de polietileno com capacidade para 12 dm³, preenchidos com solo coletado de uma profundidade de 0-0,20 m em uma área de Cerrado não cultivada, que foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico (SANTOS *et al.*, 2018). O solo foi destorroado, peneirado em uma malha de 2 mm e preparado utilizando a metodologia TFSA (terra fina seca ao ar).

Uma amostra do material coletado foi analisada e revelou as seguintes características químicas e físicas: pH em CaCl₂: 5,95; Ca: 5,24 cmol_c dm⁻³; Mg: 2,28 cmol_c dm⁻³; Al: 0,05 cmol_c dm⁻³; H + Al: 2,97 cmol_c dm⁻³; K: 0,24 cmol_c dm⁻³; P: 71,56 mg dm⁻³; CTC: 10,84 cmol_c dm⁻³, V: 72,59%, m: 0,63 %, M.O: 63,38 %, argila 265 g kg⁻¹, silte 62 g kg⁻¹ e areia 673 g kg⁻¹. A análise dos micronutrientes revelou teores de Fe, Mn, Cu e Zn na ordem de 131,0; 80,4; 10,1; 20,4 mg dm⁻³, respectivamente. Com base nos resultados da análise química do solo, interpretação e recomendação, foi realizada a calagem para a correção da acidez do solo, em quantidade necessária para elevar a saturação por bases a 65%. A adubação de sementeira foi realizada com o equivalente a 60 kg ha⁻¹ de K₂O e 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de acordo com Souza & Lobato (2004). A adubação de fundação do solo foi realizada, conforme recomendação de Novais *et al.* (1991), por meio de diluição, com MAP e KCl na quantidade de 0,86 e 0,58 g kg⁻¹ de solo respectivamente, e ureia parcelada em duas aplicações, aos 20 e 40 dias após emergência, sendo que, cada aplicação no experimento constou de 0,9 g vaso⁻¹. A reposição hídrica foi realizada diariamente de forma localizada mantendo a umidade do solo em teores equivalente a 60% do volume total de poros.

O experimento foi instalado em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições, estando os tratamentos dispostos em arranjo fatorial (3 x 2), totalizando 6 tratamentos. O primeiro fator correspondeu a aplicação dos herbicidas diclosulam (29,4 g i.a. ha⁻¹) e sulfentrazone (640 g i.a. ha⁻¹) em pré-emergência de acordo com a bula, acrescido de um tratamento sem utilização de herbicidas, enquanto o segundo fator foi composto pela ausência e presença do bioestimulante em tratamento de semente. O bioestimulante utilizado foi o Radifarm[®] (Ferro solúvel em água: 11,90 g L⁻¹; Zinco solúvel em água: 35,70 g L⁻¹; ferro: 83,30 g L⁻¹ e carbono orgânico total: 69,02 g L⁻¹ Valagro[®]), que foi aplicado na dose de 150 mL p.c 100 kg de sementes⁻¹. Já os herbicidas comerciais foram Spider[®] (diclosulam 840 g kg⁻¹, WG, Corteva[®] Inibidor da ALS) e Boral[®] (sulfentrazone 500 g L⁻¹, SC, FMC[®] Inibidor da PROTOX).

A cultivar de soja empregada foi a Brasmax Power[®] (73710 IRF IPRO), caracterizada por ter hábito de crescimento indeterminado, ciclo precoce com grupo de maturação 7.3 para a microrregião do experimento. Inicialmente, foram semeadas cinco sementes de soja por unidade experimental (vaso), e posteriormente foi realizado o desbaste deixando apenas duas plântulas. A aplicação dos herbicidas foi realizada na pré-emergência das plântulas. Os tratamentos foram aplicados com um pulverizador costal pressurizado por CO₂, equipado com barra de seis pontas de pulverização do tipo TT 110-02 leque duplo. O equipamento foi posicionado a 0,50 m acima dos vasos, regulado a 300 kPa, proporcionando volume de calda equivalente a 200 L ha⁻¹. As aplicações foram realizadas com o solo úmido, e ao término desta operação, os vasos foram recolocados na casa de vegetação e irrigados apenas no dia seguinte, com o intuito de assegurar a absorção dos produtos aplicados.

Tabela 1. Condições ambientais no momento da aplicação dos herbicidas nos diferentes tratamentos. Rio Verde -GO, Safra 2018/2019.

Parâmetro	
Estádio	V _e
Data	14/11/2018
Horário da aplicação (h)	11:50 (11:00 – 12:00)
Velocidade vento (km h ⁻¹)	0,0
T (°C)	29
Umidade relativa (%)	75
Nebulosidade (%)	24

As plantas foram avaliadas para registro das trocas gasosas, da fluorescência da clorofila *a*, e do índice de clorofilas *a*, *b* e total. As avaliações ocorreram aos 18 dias

após a semeadura, quando as plantas se encontravam com um trifólio completamente expandidos (V_1), entre 8h e 12h. As metodologias para cada uma das características avaliadas estão descritas a seguir.

3.2.2 Detalhamento das avaliações

3.2.2.1 Trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e teor de clorofilas

Foi utilizado um analisador portátil de gases por infravermelho -IRGA, modelo 6800 (Li-Cor, Inc. Lincoln, Nebraska, USA) para obtenção da taxa fotossintética (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa transpiratória (E) ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 (C_i) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$). A partir desses dados foram estimadas a razão entre a concentração interna (C_i) e externa (C_a) de CO_2 (C_i/C_a), e a eficiência instantânea de carboxilação (E_iC) (A/C_i) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$].

Foram obtidos utilizando um clorofilômetro portátil (Marca: Falker, Modelo: ClorofiLOG CFL1030), e os valores foram expressos como Índice de clorofila Falker (ICF).

A fluorescência transiente da clorofila *a* foi determinada com o uso de um fluorômetro portátil (FluorPen FP100, Photon Systems Instruments; Drasov, Czech Republic), na mesma folha utilizada na avaliação das trocas gasosas, a qual foi previamente adaptada ao escuro por 30 minutos para oxidação completa do sistema fotossintético de transporte de elétrons. Posteriormente, foram submetidas a um pulso de $3000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de luz azul, medindo-se a fluorescência mínima (F_0) em $50 \mu\text{s}$ quando todos os centros de reação PSII (fotossistema II) estão abertos e definido como o passo O, seguida pelo passo J (a 2 ms), o passo I (a 30 ms) e a fluorescência máxima (F_m) quando todos os centros de reação PSII estão fechados, conhecido como passo P. Estes valores foram utilizados para a estimativa de vários índices bioenergéticos do PSII, conforme (STRASSER et al., 2000). Foram obtidos os valores relativos ao fluxo específico de absorção luminosa por centro de reação (ABS/RC); fluxo de energia capturado por centro de reação (TR_0/RC); fluxo de transporte de elétrons por centro de reação (ET_0/RC); fluxo de energia dissipada por centro de reação (DI_0/RC) e índice de desempenho fotossintético calculado com base na absorção (PI_{ABS}).

3.2.2.2 Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância com emprego do teste F ($p < 0,05$), para constatar significância entre os fatores avaliados. Uma vez constatado efeito significativo, foi empregado o teste SNK ($p < 0,05$) para comparação das médias entre os níveis de cada fator, utilizando o software estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2011).

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No resumo da análise de variância, observa-se que não houve efeito significativo ($p < 0,05$) diante da aplicação isolada para fonte de variação herbicida e bioestimulante e nem mesmo para interação entre herbicida x bioestimulante em tratamento de semente de soja submetida a aplicação de herbicidas em pré-emergência quando se avaliou clorofila a (Chl *a*), clorofila b (Chl *b*), clorofila total (Chl T) (Tabela 2). Porém, houve efeito significativo ($p < 0,05$) da aplicação do bioestimulante em tratamento de semente de soja submetida a aplicação de herbicidas em pré-emergência quando se avaliou Chl *b* (Tabela 2). Não foi observada diferença significativa para o tratamento com os herbicidas, indicando que uma das hipóteses que se levantou neste estudo que a aplicação de sulfentrazone e diclosulam pudesse comprometer a síntese de clorofilas não foi confirmada (Tabela 2). Essa observação foi inicialmente levantada visto que o sulfentrazone, atua reduzindo as reações que transformam protoporfirinogênio IX em protoporfirina IX, por sua vez responsável pela síntese de clorofilas e citocromos (BUCHANAN *et al.*, 2000; LARCHER, 2000; LIU *et al.*, 2011; TAIZ; ZEIGER 2013). Por outro lado, apesar do diclosulam não possuir modo de ação direto no fotossistema (GALON *et al.*, 2010), acredita-se que a sua inibição proporcionasse redução no conteúdo de clorofila, afinal a enzima ALS está localizada nos cloroplastos, plastídios ricos em pigmentos de clorofila (NTOANIDOU *et al.*, 2016), as quais já foram descritas por reduzirem em plantas de soja expostas ao efeito residual dos herbicidas inibidores de ALS (FRAGA *et al.*, 2019).

Dessa forma, este resultado indica a inexistência de influência do sulfentrazone e diclosulam sobre a síntese de clorofila no desenvolvimento inicial das plântulas de soja,

evidenciando a possível tolerância a estes compostos (BELO *et al.*, 2011; GAZOLA *et al.*, 2016).

Tabela 2. Resumo da análise de variância para as variáveis clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*), clorofila total (Chl T) em função dos tratamentos. Rio Verde -GO, Safra 2018/2019.

FV	GL	Quadrados Médios		
		Clo <i>a</i>	Clo <i>b</i>	Clo t
Herbicida (H)	2	1,83 ^{ns}	0,32 ^{ns}	3,41 ^{ns}
Bioestimulante (B)	1	10,30 ^{ns}	3,32 [*]	4,41 ^{ns}
H x B	2	1,75 ^{ns}	0,25 ^{ns}	3,34 ^{ns}
Bloco	3	2,80 ^{ns}	0,79 ^{ns}	6,33 ^{ns}
CV (%)		6,45	13,23	7,48

^{ns} não significativo e *; ** significativo respectivamente a 1 e 5% de probabilidade segundo teste F. FV – Fonte de variação; GL – Grau de Liberdade e CV – Coeficiente de Variação.

Foi possível observar que a aplicação do bioestimulante em tratamento de sementes proporcionou incrementos de 11% no índice de clorofila *b* (Tabela 3). Portanto, levando em consideração que o índice de clorofila *b* compõe o índice de clorofila total, este resultado vai de encontro com diversos autores que relatam que bioestimulante à base de extrato de algas marinhas pode aumentar o teor de clorofilas totais em diversas culturas, assim como a soja (SILVA *et al.*, 2018; GOÑI *et al.*, 2018; BULGARI *et al.*, 2019; JITHESH *et al.*, 2019; CAVALCANTE *et al.*, 2020). O incremento no índice de clorofila *b* possui papel fundamental contribuir na ampliação da faixa de luz captada e com a transferência de energia para os centros de reação (TAIZ & ZEIGER, 2013), beneficiando a manutenção do processo fotossintético.

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios da Chl *a*, Chl *b* e Chl T em função da aplicação bioestimulante em tratamento de semente de soja submetida a aplicação de herbicidas em pré-emergência.

Tabela 3. Valores médios da clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*), clorofila total (Chl T) em função dos tratamentos. Rio Verde -GO, Safra 2018/2019.

Bioestimulante	Herbicidas			Médias
	Sem Herbicida	Diclosulam	Sulfentrazone	
	Chl <i>a</i>			
Sem Bioestimulante	24,75	25,22	26,60	25,50
Com Bioestimulante	26,85	26,78	26,85	26,05
Médias	25,80	26,07	26,72	26,17
CV (%)	9,00			
	Chl <i>b</i>			

Sem Bioestimulante	5,14	5,54	5,87	5,52 b
Com Bioestimulante	6,18	6,38	6,20	6,26 a
Médias	5,66	5,96	6,05	5,89
CV (%)	22,00			
Chl T				
Sem Bioestimulante	29,85	30,77	32,45	31,03
Com Bioestimulante	33,03	33,16	33,05	31,09
Médias	31,46	31,96	32,76	32,06
CV (%)	10,15			

No entanto o índice das clorofilas é apenas um dos itens que compõe toda a estrutura captadora, geradora e transportadora de energia das plantas de soja. Por esta razão, foram mensurados os principais parâmetros da fluorescência da clorofila *a*, que é considerada uma ferramenta de análise na investigação de possíveis alterações no fotossistema II (BUONASERA *et al.*, 2011). Neste caso foi possível constatar efeito significativo ($p < 0,05$) da aplicação dos herbicidas e da interação entre as fontes de variação para a eficiência fotoquímica de PSII (F_v/F_m), fluxo de energia absorvida por centro de reação ativo (ABS/RC), fluxo de transporte de elétrons de Q_A - para Q_B (ETo/RC), fluxo de energia dissipada (DIO/RC) e índice de desempenho na base de absorção (PI_{ABS}) (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da análise de variância para as variáveis eficiência fotoquímica de PSII (F_v/F_m), fluxo de energia absorvida por centro de reação ativo (ABS/RC), fluxo de captura de energia por centro de reação (TRo/RC), fluxo de transporte de elétrons de Q_A - para Q_B por centro de reação ativo (ETo/RC), fluxo de energia dissipada por centro de reação ativo (DIO/RC) e índice de desempenho na base de absorção (PI_{ABS}) em função dos tratamentos. Rio Verde -GO, Safra 2018/2019.

FV	G	Quadrados Médio					
		F_v/F_m	ABS/RC	TRo/RC	ETo/RC	DIO/RC	PI _{ABS}
Herbicida (H)	2	0,002 *	0,027 *	0,000 ^{ns}	0,023 **	0,026 **	1,172**
Bioestimulante (B)	1	0,000 ^{ns}	0,008 ^{ns}	0,000 ^{ns}	0,010 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,096 ^{ns}
H x B	2	0,005 **	0,008*	0,006 ^{ns}	0,096 **	0,062 **	3,20 **
Bloco	3	0,000 ^{ns}	0,019 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,035 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,290 ^{ns}
CV (%)	-	2,37	3,28	2,38	21,19	12,17	18,48

^{ns} não significativo e *, ** significativo respectivamente a 1 e 5% de probabilidade segundo teste F. FV – Fonte de variação; GL – Grau de Liberdade e CV – Coeficiente de Variação.

Dessa forma, mediante a análise dos dados foi possível constatar que a aplicação de sulfentrazone apresenta a menor média para eficiência fotoquímica de PSII (Tabela 5), indicando seu potencial de dano ao PSII. Neste caso as plantas que estes herbicidas apresentaram rendimento quântico dentro dos parâmetros descritos como ideais por Corrêa e Alves (2010), que afirmaram que plantas saudáveis podem apresentar relação entre a fluorescência variável e fluorescência máxima entre 0,75 e 0,85.

Por outro lado, constatou-se efeito significativo ($p < 0,05$) na interação entre bioestimulante e herbicidas, mas, ao contrário do esperado, as plantas que receberam o Sulfentrazone e tratadas com bioestimulante (0,74) obtiveram os menores valores para a característica (Tabela 5), e abaixo dos parâmetros propostos por Corrêa & Alves (2010). Este resultado indica que mesmo com redução do fluxo de elétrons para a etapa fotoquímica da fotossíntese, o excesso de elétrons, disponíveis para se ligar às espécies reativas de oxigênio, não foi suficiente para desencadear um estresse oxidativo mais acentuado e proporcionar danos fotoinibitórios, assim como o encontrado por Agostinetto *et al.* (2016) em plantas de soja.

Segundo Krause e Weiss (1991) a eficiência fotoquímica (F_v/F_m), ou seja, a reação de oxido-redução do PSII pode indicar o potencial de captura de energia pelos centros de reação abertos e conseqüentemente representar a eficiência no transporte de elétrons. Portanto, o resultado encontrado indica que a ação conjunta entre o bioestimulante e o sulfentrazone tenha potencial em influenciar negativamente na absorção, captura ou transporte de elétrons em proporcionar danos oxidativos no PSII prejudicando o seu funcionamento.

Era esperado que em plantas submetidas a aplicação do sulfentrazone o bioestimulante pudesse proporcionar normalização da fase bioquímica da fotossíntese, promovendo a regeneração de aceptores de elétrons ($NADP^+$ e ADP^+) (STIRBET *et al.*, 2018) e conseqüentemente relação (F_v/F_m), entretanto, isto não ocorreu. Este resultado contrapõe o encontrado por Santaniello *et al.* (2017) relataram que a aplicação de bioestimulante com extrato de algas manteve a eficiência fotoquímica dos fotossistemas e atuou na ativação de mecanismos protetores a danos oxidativos do fotossistema II em plantas de mostarda.

Em relação aos parâmetros de fluxo energético por centro de reação ativo, deve ser destacado que o fluxo de absorção da energia (ABS/RC), de captura dos elétrons (TR/RC), de transporte de elétrons (ET/RC) e de dissipação (DI/RC) da energia não direcionada para a etapa fotoquímica da fotossíntese, além do desempenho na base de

absorção do fotossistema (PI_{ABS}) é de suma importância para o funcionamento fisiológico das plantas de soja, inclusive para a manutenção da fotossíntese. Além de avaliar a funcionalidade do fotossistema II (PSII), reflete a taxa de transporte de elétrons no interior da membrana dos tilacoides e o subsequente funcionamento da ferredoxina-NADP oxirredutase e ciclo de Calvin (SCHANSKER *et al.*, 2003).

Portanto o fluxo de energia absorvida por centro de reação ativo (ABS/RC) foi influenciado pela aplicação dos herbicidas e pela ação conjunta entre o bioestimulante e os herbicidas empregados (Tabela 5). Dessa forma, pode-se observar que as plantas que receberam a aplicação do sulfentrazone apresentaram maior fluxo de absorção de energia por centro de reação ativo (Tabela 5), corroborando o encontrado para a relação F_v/F_m . Adicionalmente, plantas na presença do bioestimulante e que receberam a aplicação de sulfentrazone também apresentaram o maior fluxo de absorção por centro de reação (Tabela 5). Por outro lado, na presença de sulfentrazone as plantas que receberam a aplicação de bioestimulante apresentaram maior fluxo de absorção de energia por centro de reação, indicando que bioestimulante não minimizou os potenciais danos fotoinibitórios, visto que maiores valores de ABS/RC indicam plantas com danos no fotossistema. É válido destacar que plantas sob estresse apresentarão redução no número de centros de reação ativos, o que levará ao aumento de tamanho dos centros de reação existentes, elevando o fluxo de absorção como forma de manter o fluxo do transporte de elétrons, assim como observado neste experimento e por Agostinetto *et al.* (2016) em plantas de soja expostas aos herbicidas inibidores da PROTOX.

Assim, como o encontrado para as características anteriores, plantas que receberam a aplicação de sulfentrazone, isoladamente, e na presença de bioestimulante apresentaram o menor fluxo de transporte de elétrons de Q_A - para Q_B por centro de reação ativo (ETo/RC) (Tabela 5). Indicando o potencial do sulfentrazone em limitar o fluxo de transporte de elétrons bem como a ineficiência do bioestimulante em potencializar o funcionamento do PSII. Os bioestimulantes à base da alga *Ascophyllum nodosum* tendem a aumentam a adaptabilidade das plantas e potencializam os mecanismos de defesa às espécies reativas de oxigênio (ROS), a fototolerância, e reduzem fotoinibição do PSII (MARTYNENKO *et al.*, 2016; SHUKLA *et al.*, 2017). No entanto este efeito não foi visualizado no tratamento com bioestimulante na presença de sulfentrazone. Possivelmente a mistura de ambos pode ter ocasionado efeito antagônico entre as moléculas e a indisponibilização dos compostos bioestimulantes em funções de reações químicas.

Um dos parâmetros com alto potencial de elucidação quanto a integridade do PSII é o fluxo de energia dissipada por centro de reação ativo (DIO/RC). Afinal, a energia não transportada para a fase fotoquímica da fotossíntese precisa ser dissipada sob risco de proporcionar aumento nos elétrons livres a formarem espécies reativas ao oxigênio potencializando o estresse oxidativo (TAIZ; ZEIGER 2013). Portanto, é coerente que os tratamentos que apresentem menor rendimento quântico (F_v/F_m), tenham o fluxo de absorção por centro de reação (ABS/RC) aumentados, como forma de suprir a demanda, apresente menor taxa de transporte de elétrons (TRO/RC), e, conseqüentemente apresente o maior fluxo de dissipação em forma de calor por centro de reação (DIO/RC), assim como ocorreu com os tratamentos que receberam a aplicação do sulfentrazone isoladamente (Tabela 5).

Adicionalmente, plantas que receberam a aplicação de sulfentrazone na presença de bioestimulante apresentaram maior dissipação na forma de calor (DIO/RC) (Tabela 5). É pertinente destacar que quanto maior for o estado de estresse pelo qual a planta está sendo submetida, maior será a dissipação de energia na forma de calor, e, conseqüentemente maiores os valores para a característica. À medida que os valores de (DIO/RC) decrescem, indica uma normalização do PSII e neste caso é possível afirmar que o tratamento com sulfentrazone causou maiores danos ao PSII e o bioestimulante não apresentou potencial em minimizar estas injúrias. Dessa forma, os resultados encontrados para os fluxos energéticos corroboram o comportamento do fluxo de energia dissipada por centro de reação (DIO/RC). Neste caso, plantas que não apresentaram danos nos fluxos de absorção não terão dissipação na forma de calor aumentadas, visto que este aumento estaria associado a inativação do FSII e queda da conversão fotoquímica da energia (GUIDI *et al.*, 2019).

Adicionalmente, destaca-se que índice de desempenho na base de absorção (PI_{ABS}) possui alta relevância para o entendimento funcional do FSII e indica o desempenho fotoquímico associando às taxas de absorção, captura e transporte de elétrons, em apenas uma variável, (TSSIMILLI-MICHAEL; STRASSER 2005). Neste caso, observa-se efeito significativo para os valores médios de PI_{ABS} nos tratamentos que receberam sulfentrazone, e, adicionalmente, na presença deste herbicida, a associação com bioestimulante promoveu o menor desempenho na base de absorção (PI_{ABS}) (Tabela 5), corroborando o encontrado para as demais variáveis analisadas. Dessa forma, quanto menor for a eficiência fotoquímica e o fluxo de transporte menor será os valores de (PI_{ABS}) (STIRBET 2011).

Tabela 5. Valores médios da eficiência fotoquímica de PSII (F_v/F_m), fluxo de energia absorvida por centro de reação ativo (ABS/RC), fluxo de captura de energia por centro de reação (TRo/RC), fluxo de transporte de elétrons de Q_A - para Q_B por centro de reação ativo (ETo/RC), fluxo de energia dissipada por centro de reação ativo (DIO/RC), além do índice de desempenho na base de absorção (PI_{ABS}), em função dos tratamentos. Rio Verde -GO, Safra 2018/2019.

Bioestimulante	Herbicidas			Médias
	Sem Herbicida	Diclosulam	Sulfentrazone	
<i>F_v/F_m</i>				
Sem Bioestimulante	0,80 Aa	0,79 Aa	0,81 Aa	0,80
Com Bioestimulante	0,81 Aa	0,81 Aa	0,74 Bb	0,79
Médias	0,81 A	0,80 A	0,78 B	0,79
CV (%)	2,37			
ABS/RC				
Sem Bioestimulante	2,49Aa	2,48 Aa	2,41 Ab	2,46
Com Bioestimulante	2,39Ba	2,41 Ba	2,69 Aa	2,49
Médias	2,44 B	2,45 B	2,54 A	2,47
CV (%)	2,38			
TRo/RC				
Sem Bioestimulante	2,05	1,97	1,94	1,97
Com Bioestimulante	1,95	1,96	1,99	1,97
Médias	1,98	1,96	1,96	1,97
CV (%)	12,17			
ETo/RC				
Sem Bioestimulante	1,11 aA	1,05 aA	1,10 aA	1,09
Com Bioestimulante	1,13 aA	1,15 aA	0,82 bB	1,03
Médias	1,12A	1,10A	0,96 B	1,06
CV (%)	18,48			
DIO/RC				
Sem Bioestimulante	0,52 aA	0,48 aA	0,45 bA	0,48
Com Bioestimulante	0,44 aB	0,43 aB	0,68 aA	0,52
Médias	0,45 B	0,48 B	0,56 A	0,50
CV (%)	3,28			
PI_{ABS}				
Sem Bioestimulante	2,26 aA	1,86 bA	2,50 aA	2,21
Com Bioestimulante	2,66 aA	2,65 aA	0,93 b B	2,08
Médias	2,46 A	2,25 A	1,72 B	2,14
CV (%)	21,19			

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na linha e minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

Mediante a análise dos dados de trocas gasosas foi possível observar que o bioestimulante exerceu efeito significativo ($p < 0,05$) em todos os parâmetros avaliados

(Tabela 6). No entanto os herbicidas empregados exerceram influência apenas na taxa fotossintética (A), relação Ci/Ca e na eficiência da carboxilação (E/Ci) (Tabela 6). Por outro lado, somente a relação Ci/Ca foi influenciada pela ação conjunta das fontes de variação empregadas (Tabela 6).

Tabela 6. Valores médios da transpiração (E), taxa fotossintética (A), condutância estomática (g_s), relação Ci/Ca (Ci/Ca) e eficiência da carboxilação (EiC) em função dos tratamentos. Rio Verde - GO, Safra 2018/2019.

FV	GL	QM				
		E	A	Ci/Ca	g_s	EiC
Herbicida (H)	2	6,45 ^{ns}	14,53 ^{**}	0,02 ^{**}	0,03 ^{ns}	0,00 [*]
Bioestimulante (B)	1	29,72 [*]	25,87 ^{**}	0,04 ^{**}	0,14 [*]	0,00 [*]
H x B	2	6,80 ^{ns}	7,47 ^{ns}	0,00 ^{**}	0,05 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Bloco	3	1,55 ^{ns}	3,58 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,00 ^{ns}
CV (%)	-	25,88	7,56	7,21	29,56	14,54

^{ns} não significativo e *; ** significativo respectivamente a 1 e 5% de probabilidade segundo teste F. FV – Fonte de variação; GL – Grau de Liberdade e CV – Coeficiente de Variação.

A aplicação do bioestimulante, de forma isolada, proporcionou redução no valor da característica transpiração, ou seja, sua aplicação permitiu as plantas menor perda de água para o ambiente (Tabela 7). Por outro lado, entre o grupo de plantas tratadas com sulfentrazone, nota-se redução na perda de água na presença do bioestimulante (Tabela 7). Portanto é válido destacar que a redução da transpiração das plantas de soja é resultado da redução da condutância estomática, ou seja, do aumento da resistência dos estômatos.

A transpiração de plantas é a perda de vapor d'água para a atmosfera, sendo que a evaporação da água nas células do mesófilo controla o gradiente de potencial hídrico (Ψ_w) que é a causa principal do movimento da água no xilema (TAIZ & ZEIGER, 2013). Portanto este resultado é atribuído a característica osmo-protetora conferida aos bioestimulantes derivados do *A. nodosum* (SILVA *et al.*, 2018; CAVALCANTE *et al.*, 2020), visto que em sua composição há registros da presença de compostos como betaínas, aminoácidos, proteínas, carboidratos (YAKHIN *et al.*, 2017).

Paralelamente, a aplicação do bioestimulante no tratamento das sementes proporcionou menor condutância estomática (g_s) e relação Ci/Ca (Tabela 7). Já na presença do sulfentrazone as plantas com bioestimulante também apresentaram os

menores valores para a característica (Tabela 6). Considerando-se que a concentração externa de CO₂ (C_a) mantêm-se constante, presume-se que a redução na relação *C_i/C_a* deve-se a diminuição na aquisição de CO₂ pelo fechamento estomático, conferindo a planta maior tolerância a condição de estresse). Segundo Shukla *et al.* (2018) a aplicação de bioestimulantes promove a ativação das vias de produção de ABA, que podem conferir maior tolerância as condições de estresse e regulação estomática.

A aplicação do bioestimulante isoladamente proporcionou incremento na taxa fotossintética (*A*) das plantas de soja (Tabela 7). Por outro lado, nota-se ainda que os tratamentos que receberam a aplicação sulfentrazone apresentou incrementos no valor da taxa fotossintética (*A*) (Tabela 7). Por outro lado, valores elevados da *C_i/C_a* associado a redução na taxa fotossintética são decorrentes de limitações não estomáticas, possivelmente oriunda de alguma limitação na etapa carboxilativa da fotossíntese, assim como degradação da ribulose,1-5, bifosfato ou de enzimas do ciclo de Calvin (MATHUR *et al.*, 2014), como observado por Silva (2020) em plantas de soja submetida a herbicida inibidor da ALS.

Adicionalmente, foi possível constatar efeito significativo para a interação entre as fontes de variação. Neste caso, foi possível notar a redução da taxa fotossintética (*A*) para as plantas que não receberam a aplicação dos herbicidas (Tabela 7). No entanto, é válido destacar que na ausência do herbicida as plantas tratadas com bioestimulantes apresentaram a maior taxa fotossintética.

Complementando os resultados encontrados anteriormente, nota-se o bioestimulante e o sulfentrazone, isoladamente, proporcionaram maior eficiência da carboxilação (*E/C_i*) das plantas de soja (Tabela 7). No entanto mesmo com menores valores para *C_i/C_a* e conseqüentemente redução do influxo CO₂ para o sítio de carboxilação da rubisco não houve comprometimento ciclo de Calvin e a etapa da regeneração de aceptores de elétrons (OSAKABE *et al.*, 2014), indicando elevada eficiência na carboxilação (*E_i/C_i*), assim como ocorreu neste estudo.

Foi possível observar ainda o efeito significativo para as fontes de variação empregadas. Neste caso, na presença do bioestimulante novamente os tratamentos com sulfentrazone se destacaram, apontando maior eficiência da carboxilação (*E/C_i*). Já na ausência dos herbicidas nota-se que as plantas tratadas com o bioestimulantes mostraram maior eficiência na carboxilação (Tabela 7).

De acordo com El-Sharkawy *et al.* (2016) a redução em *g_s* pode reduzir a perda de água das folhas e ocasionar a elevação na eficiência do uso da água. Bulegon (2016)

encontraram taxa fotossintética de $22 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em plantas de soja inoculadas com *B. japonicum* aos 29 dias. Se C_i está aumentando e a fotossíntese abaixando significa que o CO_2 que está chegando às células do mesofilo não está sendo fixado na fase carboxilativa, possivelmente por danos em sua estrutura, reduzindo então a taxa fotossintética.

Tabela 7. Valores médios da transpiração (E), taxa fotossintética (A), condutância estomática (g_s) concentração interna de CO_2 (C_i), relação C_i/C_a (C_i/C_a), eficiência no uso da água (EUA) e eficiência da carboxilação (EiC) em função dos tratamentos. Rio Verde -GO, Safra 2018/2019.

Bioestimulante	Herbicidas			
	Sem Herbicida	Diclosulam	Sulfentrazone	Médias
E				
Sem Bioestimulante	9,23 aA	7,69 aA	9,07 aA	8,67 a
Com Bioestimulante	7,94 aA	6,70 aA	4,74 bA	6,46 b
Médias	8,59 A	7,02 A	6,91 A	7,56
CV (%)	25,88			
g_s				
Sem Bioestimulante	0,68 aA	0,54 aA	0,71 aA	0,65 a
Com Bioestimulante	0,61 aA	0,51 aA	0,36 bA	0,49 b
Médias	0,65 A	0,53 A	0,53 A	0,69
CV (%)	29,0			
C_i/C_a				
Sem Bioestimulante	0,84 aA	0,79 aA	0,79 aA	0,81 a
Com Bioestimulante	0,78 aA	0,75 aA	0,63 bA	0,72 b
Médias	0,81 A	0,77 AB	0,71 B	0,76
CV (%)	7,21			
A				
Sem Bioestimulante	18,24 bB	21,66 aA	22,54 aA	20,81 b
Com Bioestimulante	22,55 aA	22,56 aA	23,56 aA	22,89 a
Médias	20,39 B	22,11 AB	23,00 A	21,85
CV (%)	10,7			
EiC				
Sem Bioestimulante	0,056 bA	0,072 aA	0,075 bA	0,067 b

Com Bioestimulante	0,076 aB	0,079 aB	0,107 aA	0,087 a
Médias	0,067 B	0,073 B	0,091 A	0,078
CV (%)	15,40			

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na linha e minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

3.4. CONCLUSÕES

A aplicação do bioestimulante proporcionou incrementos no índice de clorofila *b*, entretanto sua aplicação não promoveu incrementos nos parâmetros da fluorescência da clorofila *a*. Foi possível concluir que a aplicação de sulfentrazone proporcionou decréscimos na eficiência fotoquímica de PSII, menor fluxo no transporte de elétrons, além de maior fluxo de energia dissipada por centro de reação ativo, comprovando o potencial deletério deste herbicida ao funcionamento do fotossistema II. Adicionalmente, foi possível concluir que a aplicação do bioestimulante não mitigou os efeitos deletérios ao fotossistema II em função da aplicação dos herbicidas. Em relação às trocas gasosas, pode-se concluir que a aplicação do bioestimulante proporcionou redução na condutância estomática, porém proporcionou incrementos na transpiração, taxa fotossintética e eficiência da carboxilação. Portanto, comprovando a capacidade do bioestimulante em potencializar a fotossíntese.

3.5. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Agostineto, M. C., de Carvalho, L. B., Ansolin, H. H., de Andrade, T. C. G. R., & Schmit, R. (2016). Sinergismo de misturas de glyphosate e herbicidas inibidores da PROTOX no controle de corda-de-viola. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 15(1), 8-15.
- Alonso, D. G., Constantin, J., Oliveira Jr, R. S., Santos, G., Dan, H. A., & Oliveira Neto, A. M. (2013). Seletividade de glyphosate isolado ou em misturas para soja RR em aplicações sequenciais. *Planta Daninha*, 31, 203-212.
- Araújo, W. L., Tohge, T., Ishizaki, K., Leaver, C. J., & Fernie, A. R. (2011). Protein degradation—an alternative respiratory substrate for stressed plants. *Trends in plant science*, 16(9), 489-498.
- Barroso, A. L. L., Dan, H. A., Procópio, S. O., Toledo, R. E. B., Sandaniel, C. R., Braz, G. B. P., & Cruvinel, K. L. (2010). Eficácia de herbicidas inibidores da ACCase no controle de gramíneas em lavouras de soja. *Planta Daninha*, 28, 149-157.
- Belo, A. F., Coelho, A. T. C. P., Tironi, S. P., Ferreira, E. A., Ferreira, L. R., & Silva, A. A. (2011). Atividade fotossintética de plantas cultivadas em solo contaminado com picloram. *Planta Daninha*, 29, 885-892.

- Biffe, D. F., Rios, F. A., Franchini, L. H. M., Gheno, E. A., & Raimondi, M. A. (2014). Seletividade de aplicações combinadas de herbicidas em pré e pós-emergência para a soja tolerante ao glyphosate.
- Biffe, D.F. (2012) Efeito da aplicação de herbicidas em pré-emergência e de glyphosate em pós-emergência sobre a cultura da soja RR, em solo compactado e não compactado. 104 f. Tese Doutorado em Agronomia – Universidade Estadual de Maringá, 2012.
- Brasmax Genética. (2021). Disponível: <<https://www.brasmaxgenetica.com.br/cultivar-regiao-cerrado>>. Acesso em: 02 de maio 2021.
- Buchanan, B. B., Grissem, W., & Jones, R. L. (Eds.). (2015). *Biochemistry and molecular biology of plants*. John Wiley & sons.
- Bulegon, L. G., Rampim, L., Klein, J., Kestring, D., Guimarães, V. F., Battistus, A. G., & Inagaki, A. M. (2016). Componentes de produção e produtividade da cultura da soja submetida à inoculação de *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*. *Terra Latinoamericana*, 34(2), 169-176.
- Bulgari, R., Franzoni, G., & Ferrante, A. (2019). Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. *Agronomy*, 9(6), 306.
- Buonasera, K., Lambreva, M., Rea, G., Touloupakis, E., & Giardi, M. T. (2011). Technological applications of chlorophyll a fluorescence for the assessment of environmental pollutants. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 401(4), 1139-1151.
- Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and soil*, 383(1), 3-41.
- Carbonari, C. A., Gomes, G. L., Trindade, M. L., Silva, J. R., & Velini, E. D. (2016). Dynamics of sulfentrazone applied to sugarcane crop residues. *Weed Science*, 64(1), 201-206.
- Carretero, D. M. (2008). Efeitos da inibição da protoporfirinogênio IX oxidase sobre as trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em plantas de soja (*Glycine max* L. Merrill).
- Carvalho, F. T. D., & Velini, E. D. (2001). Períodos de interferência de plantas daninhas na cultura da soja: I-Cultivar IAC-11. *Planta Daninha*, 19, 317-322.
- Cavalcante, W. S., da Silva, N. F., Teixeira, M. B., Cabral Filho, F. R., Nascimento, P. E. R., & Corrêa, F. R. (2020). Eficiência dos bioestimulantes no manejo do déficit hídrico na cultura da soja. *Irriga*, 25(4), 754-763.
- Coelho, A. F., Corrêa, B. O., de Freitas Pires, F., & Pereira, S. R. (2019). Avaliação da Aplicação Foliar de Biofertilizante em Quatro Cultivares de Soja. *Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde*, 23(1), 2-6.
- CONAB - Companhia Nacional De Abastecimento. *Acompanhamento da safra brasileira de grãos*. Conab, Safra 2020/21, Brasília, v. 8, n. 7, 2021.
- Corrêa, M. J. P., & Alves, P. L. D. C. A. (2010). Efeitos da aplicação de herbicidas sobre a eficiência fotoquímica em plantas de soja convencional e geneticamente modificada. *Ciência e Agrotecnologia*, 34, 1136-1145.
- Craigie, J. S. (2011). Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of applied phycology*, 23(3), 371-393.
- Dan, H. A., de Moraes Dan, L. G., de Lemos Barroso, A. L., de Oliveira Neto, A. M., & Guerra, N. (2012). Resíduos de herbicidas utilizados na cultura da soja sobre o milho cultivado em sucessão. *Revista Caatinga*, 25(1), 86-91.
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia horticultrae*, 196, 3-14.

- El-Sharkawy, M. A. (2006). International research on cassava photosynthesis, productivity, eco-physiology, and responses to environmental stresses in the tropics. *Photosynthetica*, 44(4), 481-512.
- Fagan, E. B., Ono, E. O., Rodrigues, J. D., Chalfun Júnior, A., & Dourado Neto, D. (2015). Fisiologia vegetal: reguladores vegetais.
- Ferreira, D. F. (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e agrotecnologia*, 35, 1039-1042.
- Fioreze, S. L., Carneiro, J. P. C., Pinto, D. D., & Rodrigues, J. D. (2017). Foliar application of calcium and kinetin on soybean at reproductive stage. *Journal of plant nutrition*, 40(18), 2602-2610.
- Fleck, N. G., & Vidal, R. A. (1994). Injúria potencial de herbicidas de solo ao girassol: III-imazaquin e imazethapyr. *Planta Daninha*, 12, 39-43.
- Forte, C. T., Basso, F. J. M., Galon, L., Agazzi, L. R., Nonemacher, F., & Concenço, G. (2017). Habilidade competitiva de cultivares de soja transgênica convivendo com plantas daninhas. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 12(2), 185-193.
- Fraga, D. S., Agostinetto, D., Langaro, A. C., Oliveira, C., Ulguim, A. R., & Silva, J. D. G. (2019). Morphological and metabolic changes in soybean plants cultivated in irrigated rice rotation and as affected by imazapyr and imazapic herbicides carryover. *Planta daninha*, 37.
- Galon, L., de Goes Maciel, C. D., Agostinetto, D., Concenço, G., & Moraes, P. V. D. (2011). Seletividade de herbicidas às culturas pelo uso de protetores químicos. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 10(3), 291-304.
- Galon, L., Ferreira, F. A., Silva, A. A., Concenço, G., Ferreira, E. A., Barbosa, M. H. P., ... & Tironi, S. P. (2010). Influência de herbicidas na atividade fotossintética de genótipos de cana-de-açúcar. *Planta Daninha*, 28, 591-597.
- Gazola, T., Dias, M. F., Belapart, D., Castro, E. B., & Bianchi, L. (2016). Efeitos do diclosulam na soja cultivada em solos de diferentes classes texturais. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 15(4), 353-361.
- Gehling, V. M., Mazon, A. S., Cavalcante, J. A., Corrêa, C. D., Mendonça, A. O., Aumonde, T. Z., & Villela, F. A. (2017). Desempenho fisiológico de sementes de soja tratadas com extrato de alga *Ascophyllum nodosum* (L.). *Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp*, 1200-1215.
- Goñi, O., Quille, P., & O'Connell, S. (2018). *Ascophyllum nodosum* extract biostimulants and their role in enhancing tolerance to drought stress in tomato plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 126, 63-73.
- Guidi, L., Lo Piccolo, E., & Landi, M. (2019). Chlorophyll fluorescence, photoinhibition and abiotic stress: does it make any difference the fact to be a C3 or C4 species? *Frontiers in plant science*, 10, 174.
- Hildebrandt, T. M., Nesi, A. N., Araújo, W. L., & Braun, H. P. (2015). Amino acid catabolism in plants. *Molecular plant*, 8(11), 1563-1579.
- Jithesh, M. N., Shukla, P. S., Kant, P., Joshi, J., Critchley, A. T., & Prithiviraj, B. (2019). Physiological and transcriptomics analyses reveal that *Ascophyllum nodosum* extracts induce salinity tolerance in *Arabidopsis* by regulating the expression of stress responsive genes. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38(2), 463-478.
- Krause, G. H., & Weis, E. (1991). Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Annual review of plant biology*, 42(1), 313-349.
- Lamego, F. P., Caratti, F. C., Reinehr, M., Gallon, M., Santi, A. L., & Basso, C. J. (2015). Potencial de supressão de plantas daninhas por plantas de cobertura de verão. *Comunicata Scientiae*, 6(1), 97-105.

- Larcher, W. (2000). *Ecofisiologia Vegetal*. Tradução: Prado, CHBA e Franco, AC São Carlos. *RiMa*, 531.
- Liu, C., Guo, J., Cui, Y., Lü, T., Zhang, X., & Shi, G. (2011). Effects of cadmium and salicylic acid on growth, spectral reflectance and photosynthesis of castor bean seedlings. *Plant and Soil*, 344(1), 131-141.
- Maçik, M., Gryta, A., & Fraç, M. (2020). Biofertilizers in agriculture: An overview on concepts, strategies and effects on soil microorganisms. *Advances in Agronomy*, 162, 31-87.
- MacKinnon, S. L., Hiltz, D., Ugarte, R., & Craft, C. A. (2010). Improved methods of analysis for betaines in *Ascophyllum nodosum* and its commercial seaweed extracts. *Journal of Applied Phycology*, 22(4), 489-494.
- Martynenko, A., Shotton, K., Astatkie, T., Petrash, G., Fowler, C., Neily, W., & Critchley, A. T. (2016). Thermal imaging of soybean response to drought stress: the effect of *Ascophyllum nodosum* seaweed extract. *Springerplus*, 5(1), 1-14.
- Mathur, S., Agrawal, D., & Jajoo, A. (2014). Photosynthesis: response to high temperature stress. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 137, 116-126.
- Mógor, A. F. (2017) *Mecanismo de atuação dos biofertilizantes*. Disponível em: <<http://abisolo.com.br/img/7forumpdf/1 dia/1>>. Acesso em: 25 maio 2018.
- Mueller, T. C., Boswell, B. W., Mueller, S. S., & Steckel, L. E. (2014). Dissipation of fomesafen, saflufenacil, sulfentrazone, and flumioxazin from a Tennessee soil under field conditions. *Weed science*, 62(4), 664-671.
- Nepomuceno, M., Alves, P. L. C. A., Dias, T. C. S., & Pavani, M. C. M. D. (2007). Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da soja nos sistemas de semeadura direta e convencional. *Planta Daninha*, 25, 43-50.
- Novais, R. F.; Neves, J. C. L.; Barros, N. F. De. (1991) *Ensaio em ambiente controlado*. In: OLIVEIRA, A. J. Et Al. (Coords.). Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília, DF: Embrapa-SEA, p189-253.
- Ntoanidou, S., Kaloumenos, N., Diamantidis, G., Madesis, P., & Eleftherohorinos, I. (2016). Molecular basis of *Cyperus difformis* cross-resistance to ALS-inhibiting herbicides. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 127, 38-45.
- Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., & Tran, L. S. P. (2014). Response of plants to water stress. *Frontiers in plant science*, 5, 86.
- Osipe, J. B., Oliveira, J., Constantin, J., Biffe, D. F., Rios, F. A., Franchini, L. H. M., ... & Raimondi, M. A. (2014). Selectivity of combined applications of herbicides in pre and post-emergence for the glyphosate tolerant soybean. *Bioscience Journal*, 30(3), 623-631.
- Pires, F. R., Menezes, C. C. E., Procópio, S. O., Barroso, A. L. L., Menezes, J. F. S., Leonardo, L. M., ... & Zanatta, J. F. (2005). Potencial competitivo de cultivares de soja em relação às plantas daninhas. *Planta Daninha*, 23, 575-581.
- Santaniello, A., Scartazza, A., Gresta, F., Loreti, E., Biasone, A., Di Tommaso, D., ... & Perata, P. (2017). *Ascophyllum nodosum* seaweed extract alleviates drought stress in *Arabidopsis* by affecting photosynthetic performance and related gene expression. *Frontiers in plant science*, 8, 1362.
- Santaniello, A., Scartazza, A., Gresta, F., Loreti, E., Biasone, A., Di Tommaso, D., ... & Perata, P. (2017). *Ascophyllum nodosum* seaweed extract alleviates drought stress in *Arabidopsis* by affecting photosynthetic performance and related gene expression. *Frontiers in plant science*, 8, 1362.

- Santos, H. G.; Jacomine, P. K. T.; Dos Anjos, L. H. C.; De Oliveira, V. A.; Lumbreras, J. F.; Coelho, M. R.; Cunha, T. J. F. (2018). Sistema brasileiro de classificação de solos. 5.ed. Brasília: Embrapa, 355p.
- Schansker, G., Srivastava, A., & Strasser, R. J. (2003). Characterization of the 820-nm transmission signal paralleling the chlorophyll a fluorescence rise (OJIP) in pea leaves. *Functional Plant Biology*, 30(7), 785-796.
- Shukla, P. S., Shotton, K., Norman, E., Neily, W., Critchley, A. T., & Prithiviraj, B. (2018). Seaweed extract improve drought tolerance of soybean by regulating stress-response genes. *AoB Plants*, 10(1), plx051.
- Silva, A. D., Ferreira, F. A., & Ferreira, L. R. (2007). Herbicidas: classificação e mecanismo de ação. *Tópicos em manejo de plantas daninhas*, 1, 83-148.
- Silva, C. D. S. E., Santos, P. A. A., Lira, J. M. S., de Santana, M. C., & JÚNIOR, C. D. D. S. (2010). Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas à deficiência hídrica. *Revista Caatinga*, 23(4), 7-13.
- Silva, N. F., Clemente, G. S., Teixeira, M. B., Soares, F. A. L., Cunha, F. N., Azevedo, L. O. D. S., ... & dos Santos, M. A. (2018). Manejo fisiológico específico via tratamento de semente na fase inicial da cultura da soja.
- Simão, A. A., & Casimiro, E. L. (2017). Efeitos de herbicidas pré-emergentes na cultura da soja (*Glycine max*). *Revista Cultivando o Saber*, 96-104.
- Soares, L. H., Durval, D. N., Evandro, B. F., Walquiria, F. T., Marina, R. D. R., & Klaus, R. (2016). Soybean seed treatment with micronutrients, hormones and amino acids on physiological characteristics of plants. *African journal of agricultural Research*, 11(35), 3314-3319.
- Sousa, D. M. G & Lobato, E. (2004). *Cerrado: correção do solo e adubação*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados,
- Stirbet, A. (2011). On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll a fluorescence induction) and photosystem II: basics and applications of the OJIP fluorescence transient. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 104(1-2), 236-257.
- Stirbet, A., Lazár, D., & Kromdijk, J. (2018). Chlorophyll a fluorescence induction: can just a one-second measurement be used to quantify abiotic stress responses? *Photosynthetica*, 56(1), 86-104.
- Taiz, L. & Zeiger, E. (2013). *Fisiologia vegetal*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 918p.
- Tripathy, B. C., Mohapatra, A., & Gupta, I. (2007). Impairment of the photosynthetic apparatus by oxidative stress induced by photosensitization reaction of protoporphyrin IX. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 1767(6), 860-868.
- Tssimilli-Michael, M., & Strasser, R. J. (2008). In vivo assessment of plants vitality: applications in detecting and evaluating the impact of Mycorrhization on host plants. *Mycorrhiza: state of the art, genetics and molecular biology, eco-function, biotechnology, eco-physiology, structure and systematics*, 3, 679-703.
- Vargas, L., Silva, D. R. O., Agostinetto, D., Matallo, M. B., Santos, F. M., Almeida, S. D. B., ... & Silva, D. F. P. (2014). Glyphosate influence on the physiological parameters of *Conyza bonariensis* biotypes. *Planta Daninha*, 32, 151-159.
- Yakhin, O. I., Lubyayov, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in plant science*, 7, 2049.

4. CAPÍTULO II

POTENCIAL DE BIOESTIMULANTE NA MITIGAÇÃO DE DANOS DE HERBICIDAS APLICADOS EM PÓS-EMERGÊNCIA NA CULTURA DA SOJA

RESUMO

Uma alternativa para minimizar os efeitos da indução de resistência aos herbicidas é a rotação de ingredientes ativos. Entre os herbicidas amplamente utilizados, destacam-se os inibidores das enzimas acetolactato sintase (ALS) e da protoporfirinogênio oxidase (PROTOX). No entanto, a utilização destes pode causar uma série de danos ao metabolismo fotossintético da soja e comprometer o desenvolvimento da cultura, tendo como alternativa para mitigar os efeitos a aplicação de bioestimulante derivado da alga *Ascophyllum nodosum*. Portanto, objetivou-se com o presente estudo verificar o potencial de um bioestimulante derivado de *A. nodosum* em mitigar danos ao processo fotossintético de plantas de soja tratadas com herbicidas em casa de vegetação e pós-emergência. Para isto, foi instalado um experimento em casa de vegetação com nove tratamentos, em arranjo fatorial com 3 aplicações de herbicidas (sem herbicida; Cloransulam; Lactofen) x 3 aplicações de biostimulante (sem aplicação; 3 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA); 6 DAA). Foram realizadas avaliações de trocas gasosas, índices de clorofilas e fluorescência da clorofila *a*. Por meio dos resultados obtidos foi possível concluir que aos 2 dias após a aplicação, os herbicidas não proporcionaram inibição das trocas gasosas das plantas de soja. Por outro lado, aos 10 DAA dos herbicidas foi possível constatar que o cloransulam e lactofen alterou os parâmetros da fluorescência da clorofila *a*, porém não foi constatado efeito protetor do bioestimulante. Embora não tenha efeito isolado do bioestimulante nos parâmetros da fluorescência, sua aplicação aos 3 DAA dos herbicidas proporcionou incrementos na taxa fotossintética, condutância estomática e na eficiência da carboxilação das plantas de soja. É possível concluir que o bioestimulante tem potencial de uso na cultura da soja com o propósito de mitigar os efeitos da aplicação de herbicidas seletivos.

Palavras-chave: Características fisiológicas, extrato de algas, *Glycine max*, cloransulam, lactofen, fotossíntese.

ABSTRACT

An alternative to minimize the effects of inducing herbicide resistance is the rotation of active ingredients. Among the widely used herbicides, the inhibitors of acetolactate synthase (ALS) and protoporphyrinogen oxidase (PROTOX) enzymes stand out. However, the use of these can cause a series of damages to the photosynthetic metabolism of soybean and compromise the crop development, having as an alternative to mitigate the application effects of biostimulant derived from the algae *Ascophyllum nodosum*. Therefore, the objective of the present study was to verify the potential of a biostimulant derived from *A. nodosum* to mitigate damage to the photosynthetic process of soybean plants treated with herbicides in the greenhouse and post-emergence. For this, an experiment was carried out in a greenhouse with nine treatments, in a factorial arrangement with 3 herbicide applications (without herbicide; Cloransulan; Lactofen) X 3 biostimulant applications (without application; 3 days after herbicide application (DAA); 6 DAA). Evaluations of gas exchange, chlorophyll indices and chlorophyll a fluorescence were performed. Through the results obtained, it was possible to conclude that at 2 days after application, the herbicides did not provide gas exchange inhibition in soybean plants. On the other hand, at 10 DAA of the herbicides, it was possible to verify that chloransulam and lactofen altered the parameters of chlorophyll a fluorescence, but there was no protective effect of the biostimulant. Although there was no isolated effect of the biostimulant on fluorescence parameters, its application at 3 DAA of herbicides provided increases in photosynthetic rate, stomatal conductance, and carboxylation efficiency in soybean plants. It is possible to conclude that the biostimulant has potential to be used in soybean with the purpose of mitigating the effects of the selective herbicides application.

Keywords: Physiological characteristics, algae extract, *Glycine max*, chloransulam, lactofen, photosynthesis.

4.1. INTRODUÇÃO

A soja é reconhecida como uma cultura economicamente importante em todo o mundo e é uma fonte predominante de proteína vegetal de qualidade superior, porém as perdas de produtividade da soja por plantas daninhas ultrapassam 50% (DATTA *et al.*, 2017). A interferência exercida pelas plantas daninhas pode comprometer o desempenho fisiológico e conseqüentemente, a produtividade de grãos da soja (LAMEGO *et al.*, 2013). Por esta razão, houve plena aceitação da tecnologia Roundup Ready RR[®], a qual possibilita a utilização do herbicida glyphosate em pós-emergência, visto que a molécula apresenta amplo espectro de controle e elevada eficácia sob as plantas daninhas (MEROTTO *et al.*, 2015; BOMTEMPO, 2016).

Como efeito colateral, o uso sucessivo de um mesmo herbicida sem a adoção do manejo integrado de plantas daninhas, favorece o surgimento de biótipos com resistência a herbicidas (BECKIE, 2011). Nesse sentido, uma alternativa para minimizar os efeitos da indução de resistência é a utilização de herbicidas seletivos (OLIVEIRA JUNIOR *et al.*, 2011), assim como os inibidores das enzimas protoporfirinogênio oxidase (PROTOX) e da acetolactato sintase (ALS), que também apresentam registro para a cultura da soja. Contudo, o emprego destes herbicidas em determinados posicionamentos pode causar uma série de danos ao metabolismo da soja e comprometer o desenvolvimento e produtividade da cultura (JUNIOR & AURECK, 2020).

O lactofen atua por meio da inibição da enzima PROTOX, essencial para a biossíntese de clorofilas e citocromos (OLIVEIRA JUNIOR *et al.*, 2011). Mesmo sendo considerada uma planta tolerante (citar), a soja pode apresentar estresse oxidativo quando exposta a este herbicida. Danos oxidativos afetam a estrutura e funcionalidade da maquinaria fotossintética, mediante a redução das clorofilas e inativação dos centros

de reação dos fotossistemas. Conseqüentemente, reduzem a fotossíntese e a produtividade da planta (TRIPATHY *et al.*, 2007). Já o herbicida cloransulam inibe a atividade da enzima acetolactato sintase (ALS), que por sua vez é indispensável para a biossíntese dos aminoácidos alifáticos de cadeia lateral, leucina, isoleucina e valina (CHRISTOFFOLETI & NICOLAI, 2016). Dessa forma, ocorre a redução da síntese proteica, interferindo nas reações enzimáticas celulares e na constituição estrutural das plantas (CHRISTOFFOLETI & NICOLAI, 2016).

Uma alternativa para mitigar os efeitos deletérios destes herbicidas no aparato fotossintético da soja é a utilização de bioestimulantes derivados da alga marinha *Ascophyllum nodosum* (DU JARDIN, 2015). Aos bioestimulantes são atribuídas as funções de promover alterações morfofisiológicas no desenvolvimento das plantas de soja (SANTOS *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2017a, MAÇIK *et al.*, 2020), em função de suas composições, que agregam de traços de hormônios vegetais, aminoácidos, vitaminas, nutrientes minerais, fenóis e carboidratos (CAVALCANTE *et al.*, 2020). Dessa forma, a composição do extrato de alga confere ao bioestimulante a capacidade de alterar a regulação hormonal, a divisão celular, além do conteúdo de clorofilas e o particionamento de nutrientes em plantas (MAHMOUD *et al.*, 2019; EL-SAMAD *et al.*, 2019). Diversos autores vêm relatando o efeito positivo dos bioestimulantes sobre parâmetros fisiológicos das plantas de soja (KULKARNI *et al.*, 2019; JOSHI-PANERI *et al.*, 2020; ANLI *et al.*, 2020). Isto ocorre, pois, a presença dos hormônios e carboidratos permitem ao bioestimulante atuar como osmorregulador e modulador da abertura estomática, além de influenciar a produção de proteínas e aminoácidos (YAKHIN *et al.*, 2017; EL-KATONY *et al.*, 2020; CHITTORA *et al.*, 2020). Dessa forma, plantas tratadas com bioestimulantes podem apresentar melhores respostas de tolerância a fatores de estresses bióticos e abióticos (COELHO *et al.*, 2019; MAÇIK *et al.*, 2020), e potencialmente, minimizar o efeito adversos de herbicidas seletivos sobre a cultura da soja.

Mediante o que foi exposto, sabe-se que os herbicidas podem influenciar negativamente no desempenho fisiológico de plantas de soja. Porém, acredita-se que os bioestimulantes derivados de *A. nodosum* têm potencial de mitigar os efeitos deletérios destes compostos. Ao mesmo tempo, a resposta da soja tratada com bioestimulante pode variar de acordo com a fase de desenvolvimento da cultura (DOURADO NETO *et al.*, 2014). Portanto, objetivou-se com o presente estudo verificar o potencial de um bioestimulante derivado de *A. nodosum* em mitigar danos ao processo fotossintético de

plantas de soja tratadas com herbicidas, bem como determinar a fase de desenvolvimento da cultura mais responsiva ao bioestimulante.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em casa de vegetação no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde (17°48'08'' de latitude sul e 50°54'20'' de longitude oeste e altitude de 780 m) no município de Rio Verde -GO, entre novembro de 2018 a janeiro de 2019. Durante a condução do experimento, as condições climáticas foram parcialmente controladas, no sentido de manter a temperatura do ar no máximo aos 30°C e a umidade relativa do ar a 70%, por meio do sistema de climatização da casa de vegetação.

As unidades experimentais foram constituídas por vasos de polietileno com capacidade para 12 dm³, preenchidos com solo coletado de uma profundidade de 0-0,20 m em uma área de Cerrado não cultivada, que fora classificado como Latossolo Vermelho distroférico (SANTOS *et al.*, 2018). O solo foi destorroado, peneirado em malha de 2 mm e preparado utilizou-se a metodologia TFSA (terra fina seca ao ar).

Uma amostra do material coletado foi analisada e revelou as seguintes características químicas e físicas: pH em CaCl₂: 5,95; Ca: 5,24 cmol_c dm⁻³; Mg: 2,28 cmol_c dm⁻³; Al: 0,05 cmol_c dm⁻³; H + Al: 2,97 cmol_c dm⁻³; K: 0,24 cmol_c dm⁻³; P: 71,56 mg dm⁻³; CTC: 10,84 cmol_c dm⁻³, V: 72,59%, m: 0,63 %, M.O: 63,38 %, argila 265 g kg⁻¹, silte 62 g kg⁻¹ e areia 673 g kg⁻¹. A análise dos micronutrientes revelou teores de Fe, Mn, Cu e Zn na ordem de 131,0; 80,4; 10,1; 20,4 mg dm⁻³, respectivamente.

Com base nos resultados da análise química do solo, interpretação e recomendação para a cultura, foi realizada a calagem para a correção da acidez do solo, em quantidade necessária para elevar a saturação por bases a 65%. A adubação de semeadura foi realizada com o equivalente a 60 kg ha⁻¹ de K₂O e 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, de acordo com Souza & Lobato (2004). A adubação de fundação do solo foi realizada, conforme recomendação de Novais *et al.* (1991), por meio de diluição, com MAP e KCl na quantidade de 0,86 e 0,58 g kg⁻¹ de solo respectivamente, e ureia parcelada em duas aplicações, aos 20 e 40 dias após emergência, sendo que, cada aplicação no experimento constou de 0,9 g vaso⁻¹.

A reposição hídrica foi realizada diariamente de forma localizada mantendo-se a umidade do solo em teores equivalente a 60% do volume total de poros. A capacidade de retenção de água do substrato (capacidade de campo) foi determinada por método

gravimétrico, através da pesagem de todos os vasos com o solo seco e após o encharcamento e posterior drenagem. O experimento foi instalado em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições, estando os tratamentos dispostos em arranjo fatorial (3 x 3), totalizando 9 tratamentos. O primeiro fator correspondeu a aplicação dos herbicidas lactofen (180 g i.a. ha⁻¹) e cloransulam (39,48g i.a. ha⁻¹) em pós-emergência, acrescido de um tratamento sem utilização de herbicidas; enquanto o segundo fator foi composto pelas duas épocas de aplicação do bioestimulante, além de um tratamento sem utilização de bioestimulante.

O bioestimulante utilizado foi o Megafol[®] (Carbono orgânico: 109,8 g L⁻¹; N: 36,6 g L⁻¹; K₂O: 97,6 g L⁻¹; Valagro[®]), o qual foi aplicado na dose de 1,0 L p.c. ha⁻¹. Já os produtos comerciais dos herbicidas foram Pacto[®] (cloransulam, concentração 840 g kg⁻¹, WG, Corteva AgroSciences[®]) e Cobra[®] (lactofen, concentração 240 g L⁻¹, CE, Bayer[®]).

Foi utilizada no estudo a cultivar de soja Brasmax Power[®] (73710 IRF IPRO), caracterizada por ter hábito de crescimento indeterminado, ciclo precoce com grupo de maturação 7.3 para a microrregião do experimento. Inicialmente, foram semeadas cinco sementes de soja por unidade experimental (vaso), e posteriormente foi realizado o desbaste deixando apenas duas plântulas.

A aplicação dos herbicidas foi realizada quando as plantas de soja se encontravam com três trifólios completamente expandidos (V₃), vinte e cinco dias após a semeadura. As aplicações do bioestimulante ocorreram quando as plantas de soja se encontravam com quatro e cinco trifólios completamente expandidos (V₄/V₅), respectivamente aos 3 e 6 dias após a aplicação dos herbicidas.

Os tratamentos foram aplicados com um pulverizador costal pressurizado por CO₂, equipado com barra de seis pontas de pulverização do tipo TT 110-02 leque duplo. O equipamento foi posicionado a 0,50 m acima das plantas de soja, regulado a 300 kPa, proporcionando volume de calda equivalente a 200 L ha⁻¹. As aplicações foram realizadas com o solo úmido, e ao término desta operação, os vasos foram recolocados na casa de vegetação, com o intuito de assegurar a absorção dos produtos aplicados. As datas e as condições climáticas nas respectivas épocas de aplicação dos tratamentos estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Condições climáticas registradas no momento da aplicação dos diferentes tratamentos. Rio Verde -GO.

	Herbicidas	Bioestimulante	
Estádio	V ₃	V ₄	V ₅
Velocidade vento (km h ⁻¹)	1,0	1,8	0,9
T (°C)	26	28	27
Umidade relativa (%)	65	60	55

As plantas foram avaliadas para registro das trocas gasosas, da fluorescência da clorofila *a*, e do índice de clorofilas *a*, *b* e total. As avaliações ocorreram aos 2 e 10 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA) e 6 e 4 DAA do bioestimulante em plantas de soja. Quando as plantas se encontravam com três e seis trifólios completamente expandidos, respectivamente, entre 8h e 12h, sempre no folíolo central do trifólio mais jovem e completamente expandido. As metodologias para cada uma das características avaliadas estão descritas a seguir.

4.2.2 Detalhamento das avaliações

4.2.2.1 Trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e teor de clorofilas

As trocas gasosas foram avaliadas utilizando um analisador portátil de gases por infravermelho -IRGA, modelo 6800 (Li-Cor, Inc. Lincoln, Nebraska, USA) para obtenção da taxa fotossintética (*A*) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa transpiratória (*E*) ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 (*C_i*) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$). A partir desses dados foram estimadas a razão entre a concentração interna (*C_i*) e externa (*C_a*) de CO_2 (*C_i/C_a*), e a eficiência instantânea de carboxilação (*E_iC*) (*A/C_i*) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$].

Foram obtidos valores de clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*), clorofila total (Chl T) utilizando um clorofilômetro portátil (Marca: Falker, Modelo: ClorofiLog CFL1030), e os valores foram expressos como Índice de clorofila Falker (ICF).

A fluorescência transiente da clorofila *a* foi determinada com o uso de um fluorômetro portátil (FluorPen FP100, Photon Systems Instruments), na mesma folha utilizada na avaliação das trocas gasosas, a qual foi previamente adaptada ao escuro por 30 minutos para oxidação completa do sistema fotossintético de transporte de elétrons. Posteriormente, foram submetidas a um pulso de $3000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de luz azul, medindo a fluorescência mínima (*F₀*) em 50 μs quando todos os centros de reação PSII (fotossistema II) estão abertos e definido como o passo O, seguida pelo passo J (a 2 ms),

o passo I (a 30 ms) e a fluorescência máxima (F_m) quando todos os centros de reação PSII estão fechados, conhecido como passo P. Estes valores foram utilizados para a estimativa de vários índices bioenergéticos do PSII, conforme Strasser *et al.* (2000). Foram obtidos os valores relativos ao fluxo específico de absorção luminosa por centro de reação (ABS/RC); fluxo de energia capturado por centro de reação (TR_o/RC); fluxo de transporte de elétrons por centro de reação (ET_o/RC); fluxo de energia dissipada por centro de reação (DI_o/RC) e índice de desempenho fotossintético calculado com base na absorção (PI_{ABS})

4.2.2.2 Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) com emprego do teste F ($p < 0,05$), para constatar significância entre os fatores avaliados. Uma vez constatado efeito significativo, foi empregado o teste SNK ($p < 0,05$) para comparação das médias entre os níveis de cada fator, utilizando o software estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2011).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como suporte ao entendimento dos efeitos de estresses abióticos sobre o aparato fotossintético, a avaliação da fluorescência da clorofila *a* é um método amplamente utilizado em investigações fisiológicas de plantas (EULLAFFROY *et al.*, 2009), inclusive de soja. Neste estudo, entre os parâmetros analisados da fluorescência da clorofila *a*, apenas o fluxo de captura de energia por centro de reação (TR_o/RC) foi alterado de forma significativa pela aplicação dos herbicidas (Tabela 2). Neste caso, observou-se que as plantas tratadas com o cloransulam apresentaram TR_o/RC superior às demais, indicando que estas não apresentavam danos fotoinibitórios no FSII. Quando verificado o índice de clorofila *a*, clorofila *b* e total não foram constatadas diferenças significativas aos 2 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas (Tabela 2). Para herbicidas que não atuam diretamente na inibição da fotossíntese, seus danos podem não ser verificados logo após a exposição da planta (MEROTO *et al.*, 2015), o que possivelmente ocorreu neste estudo. A diminuição da TR_o/RC indica que mesmo com o possível aumento na produção de espécie reativas ao oxigênio (EROs), ocasionado pelos inibidores da PROTOX, não houve desequilíbrio funcional no FSII suficiente para

promover redução no fluxo de captura de energia aos 2 DAA, visto a semelhança entre os tratamentos com lactofen e sem herbicida. Adicionalmente, é possível que possa ter sido desencadeado mecanismos antioxidantes, como proteção aos danos oxidativos (CHOUDHURY *et al.*, 2017; SOARES *et al.*, 2016).

Tabela 2. Significância e valores médios da clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*), clorofila total (Chl T), fluxo de energia absorvida por centro de reação ativo (ABS/RC), fluxo de captura de energia por centro de reação (TRo/RC), fluxo de transporte de elétrons por centro de reação (ETo/RC), fluxo de energia dissipada por centro de reação ativo (DIO/RC) e índice de desempenho na base de absorção (PI_{ABS}), aos 2 DAA em função dos tratamentos. Rio Verde - GO, Safra 2018/2019.

FV	Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	Chl T		
Tratamentos	3,305 ^{ns}	0,128 ^{ns}	4,591 ^{ns}		
Sem Herbicida	25,17	5,77	30,95		
Cloransulan	24,90	5,61	30,51		
Lactofen	23,95	5,52	29,47		
CV (%)	9,80	17,10	11,09		
FV	ABS/RC	TRo/RC	ETo/RC	DIO/RC	PI _{ABS}
Tratamentos	0,050 ^{ns}	0,035 [*]	0,015 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,144 ^{ns}
Sem Herbicida	2,38	1,89 b	0,95	0,50	1,75
Cloransulam	2,54	2,00 a	1,03	0,51	1,76
Lactofen	2,45	1,88 b	1,02	0,56	1,98
CV (%)	7,42	4,86	6,60	20,61	20,37

**; *Significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. ^{ns} não significativo. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

Paralelamente às avaliações dos índices de clorofilas e da fluorescência da clorofila *a*, foi realizada a avaliação de trocas gasosas para verificação do potencial dos inibidores da PROTOX e da ALS em proporcionar danos a capacidade fotossintética das plantas de soja. Neste caso foi possível observar que os tratamentos somente não alteraram a eficiência da carboxilação (*A/Ci*) e a taxa fotossintética (*A*) das plantas de soja (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios da taxa transpiratório (*E*), taxa fotossintética (*A*), condutância estomática (*g_s*), relação *Ci/Ca* (*Ci/Ca*) e eficiência instantânea de carboxilação (*A/Ci*) aos 2 DAA em função dos tratamentos. Rio Verde - GO, Safra 2018/2019.

FV	<i>E</i>	<i>A</i>	<i>Ci/Ca</i>	<i>g_s</i>	<i>A/Ci</i>
Tratamentos	21,55*	9,29 ^{ns}	0,01*	0,30**	0,000037 ^{ns}
Sem	9,18 a	17,19	0,87 a	0,81 a	0,051
Cloransulam	7,14 ab	15,23	0,83 ab	0,58 b	0,047
Lactofen	5,93 b	15,44	0,79 b	0,42 b	0,050
Médias	7,42	15,95	0,83	0,60	0,049
CV (%)	31,45	31,78	5,75	34,79	31,61

** ; *Significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. ^{ns} não significativo. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

Plantas que receberam a aplicação de lactofen e cloransulam apresentaram menor condutância estomática, relação entre concentração intracelular e ambiente de CO₂ e taxa transpiratória, quando comparadas aos tratamentos sem aplicação dos herbicidas (Tabela 3), semelhante ao encontrado por Carretero (2008). Com a possível destruição das membranas dos cloroplastos, ocasionada pelo acúmulo de protoporfirina IX, uma vez aplicado o herbicida lactofen, pode ocorrer deficiência hídrica em função da diminuição do potencial osmótico nas células adjacentes, ocasionando aumento na ação do ácido abscísico (ABA) culminando em rápido fechamento estomático (VARGAS *et al.*, 2014). Logo, por isso pode ter ocorrido decréscimo na taxa transpiratória e da concentração de CO₂ na câmara estomática, que reduziu a relação *Ci/Ca*.

Aos 10 DAA dos herbicidas, ou seja, após as aplicações do bioestimulante, novamente foram avaliados os índices de clorofilas e as variáveis de fluorescência da clorofila *a* e trocas gasosas. Por meio dos resultados obtidos, verificou-se que, isoladamente o bioestimulante não influenciou no índice de clorofila *a*, *b* e total, e no rendimento quântico potencial do PSII (*Fv/Fm*) (Tabela 4). Por outro lado, a análise de variância apresentou resultado significativo para a interação bioestimulante x herbicidas, mostrando que estes fatores são dependentes.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para as variáveis clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*), clorofila total (Chl T), rendimento quântico máximo do PSII (*Fv/Fm*), fluxo de energia absorvida por centro de reação ativo (ABS/RC), fluxo de captura de energia por centro de reação (TRo/RC), fluxo de transporte de elétrons de Q_A - para Q_B por centro de reação ativo (ETo/RC), Fluxo de energia dissipada por centro de reação ativo (DIO/RC), índice de desempenho na base de absorção (PI_{ABS}), aos 10 DAA em pós-

emergência dos herbicidas e 06 e 04 DAA do bioestimulante em plantas de soja. Rio Verde - GO, Safra 2018/2019.

FV	GL	Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	Chl T
Bioestimulante (B)	2	2,65 ^{ns}	0,54 ^{ns}	4,95 ^{ns}
Herbicida (H)	2	6,96 ^{ns}	6,06 ^{ns}	29,16 ^{ns}
B x H	4	3,68 ^{ns}	1,35 ^{ns}	7,19 ^{ns}
Bloco	3	3,01 ^{ns}	0,76 ^{ns}	5,24 ^{ns}
CV (%)	-	5,56	14,99	7,49

FV	G	<i>Fv/Fm</i>	ABS/	TRo/RC	ETo/RC	DIo/RC	PI _{ABS}
Bioestimulante (B)	2	0,002 ^{ns}	0,083	0,002 ^{ns}	0,044 ^{ns}	0,060 ^{ns}	0,218
Herbicida (H)	2	0,017 ^{**}	0,557 [*]	0,011 ^{ns}	0,716 ^{**}	0,408 ^{**}	3,161 ^{**}
B x H	4	0,014 ^{**}	0,734 [*]	0,065 [*]	0,165 ^{**}	0,383 ^{**}	1,398 ^{**}
Bloco	3	0,001 ^{ns}	0,283	0,060 ^{ns}	0,013 ^{ns}	0,084 ^{ns}	0,048
CV (%)	-	4,60	10,02	6,90	19,01	21,31	47,10

^{**}; ^{*}Significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. ^{ns} não significativo. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

Embora fosse esperado que a aplicação dos herbicidas, principalmente o lactofen, em conjunto ao bioestimulante pudesse influenciar nos teores de clorofilas, isto não ocorreu de forma significativa para nenhum dos tratamentos (Tabela 4 e 5). Estes resultados corroboram com aqueles da primeira avaliação (2 DAA dos herbicidas) e, também, estão de acordo com o observado por Carretero (2008). Este autor afirma que a soja possui considerável tolerância aos herbicidas inibidores da PROTOX, indicando que os efeitos causados pela sua aplicação estão mais ligados ao surgimento de espécies reativas ao oxigênio do que aos efeitos diretos causados pela redução na síntese de clorofilas (MOLES *et al.*, 2016; PANDY *et al.*, 2016; DONG *et al.*, 2019). Além disso, foi constatado que o herbicida inibidor da ALS não proporcionou decréscimos nos teores de clorofilas. Possivelmente, a redução na síntese proteica, em função da restrição na produção dos aminoácidos leucina, valina e isoleucina, não tenha sido intensa o suficiente para reduzir os níveis de ALA (ácido 5-aminolevulínico) e consequentemente, diminuir clorofilas (FRAGA *et al.*, 2019).

Com a aplicação dos herbicidas, houve decréscimo no rendimento quântico máximo do PSII (*Fv/Fm*), quando comparado com plantas não tratadas (Tabela 6). Esta variável representa a fração da energia que de fato será usada na síntese de ATP e NADPH₂ na fotossíntese, podendo representar a integridade do FSII (TRIPATHY *et al.*, 2007). Dessa forma, podem afirmar que os inibidores da PROTOX e da ALS causaram redução na transferência de energia para as etapas fotoquímicas da fotossíntese. Neste

caso, a redução da relação F_v/F_m indica aumento de dissipação de energia na forma de fluorescência e calor, ou interrupção no fluxo de saída para a Q_A (YUSUF *et al.*, 2010).

Na ausência do bioestimulante, valores baixos de F_v/F_m quando aplicado o lactofen (0,68) (Tabela 6). Como mencionado anteriormente, isto pode estar relacionado ao estresse oxidativo causado pelo herbicida, mediante o acúmulo do protoporfirinogênio (OLIVEIRA JUNIOR, 2011). Na presença de cloransulam, os maiores valores de F_v/F_m foram observados na ausência do bioestimulante (0,76), indicando que sua aplicação associada a este herbicida não proporcionou efeitos benéficos no rendimento do PSII (Tabela 6). É válido destacar que, a aplicação do bioestimulante ocorreu aos 3 e 6 DAA dos herbicidas. No entanto, plantas sensíveis a herbicidas inibidores de ALS podem ter seu crescimento retardado ou inibido em poucas horas após a aplicação (OLIVEIRA JUNIOR, 2011). Isto pode estar relacionado com a ausência do efeito do bioestimulante na presença de Cloransulam, para esta característica na soja. Além disso, CRAIGIE (2011), afirma que a resposta das plantas tratadas com bioestimulante pode variar de acordo com as condições as quais podem estar expostas.

O fluxo de absorção por centro de reação (ABS/RC) apresentou incremento pela aplicação dos herbicidas (Tabela 6). A medida em que a planta é submetida a condição de estresse que afeta sua maquinaria fotoquímica, há tendência que se aumente os valores de ABS/RC; isto se justifica, pois, irá diminuir o número de centros de reação ativos, fazendo com que a absorção se concentre naqueles ainda disponíveis. Adicionalmente, na ausência do bioestimulante houve maior ABS/RC em plantas expostas ao Lactofen. Quando a aplicação do bioestimulante foi realizada aos 6 DAA, o efeito foi inverso, sendo o maior valor de ABS/RC verificado na presença de Cloransulam, indicando que a este herbicida reduziu o número de centro de reações ativo.

Na ausência de herbicida e com aplicação de bioestimulante aos 6 DAA, houve menor fluxo de absorção, indicando a presença de maior número de centros de reação ativos, bem como maior integridade dos centros de reação.

Ainda em relação a ABS/RC, na presença de Cloransulam houve redução do número de centros de reação ativos, e, conseqüentemente, aumento dessa variável com a aplicação de bioestimulante aos 6 e 3 DAA. Já foi relatado que a aplicação de cloransulam reduziu a taxa de transporte de elétrons em 5 a 8% em feijão comum (KRENCHINSKI *et al.*, 2019). Adicionalmente, nota-se que dentre todos os

tratamentos, a ausência de herbicidas em conjunto com a aplicação de bioestimulante aos 6 DAA obteve as menores médias para a característica (2,48), indicando o potencial do bioestimulante em proporcionar proteção aos centros de reação. Para o fluxo de captura de energia no centro de reação (TRo/RC), não houve efeito isolado dos herbicidas e do bioestimulante; entretanto, observou-se efeito conjunto entre os herbicidas e o bioestimulante (Tabela 6). Ao contrário do que ocorreu para a relação F_v/F_m na presença do bioestimulante aos 6 DAA, a interação com cloransulam proporcionou maior TRo/RC (2,20). A aplicação do cloransulam pode ter contribuído com a redução do número de centro de reações ativos, induzindo aumento no fluxo de captura, pois outro efeito do herbicida é a depleção de intermediários de vias decorrentes da interrupção no transporte e utilização de produtos da fotossíntese (ZHOU *et al.*, 2007).

Pensando na eficiência fotossintética e no funcionamento do ciclo de Calvin, uma das mais importantes etapas dentro do processo como um todo é o fluxo de transporte de elétrons de Q_A para Q_B (ETo/RC). As plantas que não receberam a aplicação dos herbicidas apresentaram a maior taxa de transporte de elétrons (Tabela 6), indicando maior integridade do FSII, menos danos oxidativos e menor dissipação de energia na forma de calor (VANLERBERGHE, 2013). Na ausência do bioestimulante e na presença aos 3 e 6 DAA, os maiores valores foram observados na ausência dos herbicidas. Adicionalmente, foi possível observar acréscimos em ETo/RC com a presença do bioestimulante, porém sem diferir de forma significativa.

O bioestimulante não foi capaz de reverter a injúria causada pela aplicação do cloransulam. De forma geral, reduções nos valores de ETo/RC podem ocorrer quando as plantas são submetidas a condições climáticas adversas, ou submetida a algum estresse abiótico (PERBONI *et al.*, 2012). Paralelamente, o fluxo de elétrons do fotossistema II indica, de modo geral, constitui como a primeira manifestação de estresse na folha da planta (MAXWELL & JOHNSON, 2000). Isso reforça que a aplicação dos herbicidas é prejudicial à eficiência fotoquímica de plantas de soja, mesmo sob aplicação de um bioestimulante.

Quando o aproveitamento fotoquímico da energia luminosa é reduzido, por exemplo, durante situações de estresses, outras formas de dissipação de energia tendem a aumentar, como a fluorescência e calor (STIRBET & GOVINDJEE, 2011; CHEN *et al.*, 2016; ZHOU *et al.*, 2019). Neste sentido, houve aumento nos valores de fluxo de energia dissipada por RC (DIo/RC) na presença de ambos os herbicidas (Tabela 6).

Semelhante ao observado para ABS/RC, na ausência do bioestimulante e na presença do Lactofen, as plantas apresentaram maior DIO/RC, seguido da ausência do herbicida e da presença de cloransulam, respectivamente. A mesma tendência foi observada na presença do bioestimulante aos 6 DAA, em que maiores valores foram registrados na presença de cloransulam, seguido da presença de lactofen e da ausência de herbicidas, respectivamente. Concomitantemente, na presença do cloransulam notou-se efeito benéfico da aplicação do bioestimulante aos 3 e 6 DAA, e houve incremento significativo na capacidade de dissipação de energia. Sabe-se que esses índices refletem desestruturação dos cloroplastos das plantas, que apresentaram menor índice de desempenho (PI_{ABS}), pois o maior fluxo de absorção (ABS/RC), captura (TRo/RC) e transporte de elétrons (Dio/RC), não resultaram em aumento da eficiência fotoquímica, e sim em perda de energia na forma de fluorescência evidenciando baixo aproveitamento dos elétrons gerados no processo de fotólise da água, no início da cadeia de transporte de elétrons (BUCHANAN, B.B *et al.*, 2015). Neste estudo, a ausência dos herbicidas proporcionou maiores valores para PI_{ABS} (1,82), enquanto a aplicação de Lactofen (0,34) foi o que proporcionou os maiores decréscimos aos 6 DAA (Tabela 6). Este resultado vai de encontro ao observado para F_v/F_m e também corrobora o encontrado para ABS/RC, visto que ambos possuem relação direta, e à medida que aumenta o transporte de elétron, melhor é o rendimento quântico do FSII, (ZOBIOLE *et al.*, 2011). Este resultado indica a capacidade dos herbicidas em reduzir o desempenho fotoquímico das plantas, independentemente dos seus mecanismos de ação (OLIVEIRA JUNIOR, 2011).

Na ausência do bioestimulante, o Lactofen proporcionou o menor valor para o PI_{ABS} (0,23), enquanto aos 3 DAA dos herbicidas, ambos reduziram essa variável. No entanto, quando o bioestimulante foi aplicado aos 6 DAA, nota-se intensa redução de PI_{ABS} , em associação com o lactofen (0,34) e cloransulam (0,15). Ao avaliar a ausência dos herbicidas, a capacidade do bioestimulante em proporcionar incremento de PI_{ABS} , quando aplicado aos 6 DAA. Por outro dado, nas plantas que receberam a aplicação de cloransulam, efeito contrário foi observado.

Tabela 6. Valores médios do rendimento quântico máximo do PSII (F_v/F_m), fluxo de energia absorvida por centro de reação ativo (ABS/RC), fluxo de captura de energia por centro de reação (TRo/RC), fluxo de transporte de elétrons de Q_A - para Q_B por centro de reação ativo (ETo/RC), Fluxo de energia dissipada por centro de reação ativo

(DIo/RC), índice de desempenho na base de absorção (PI_{ABS}) aos 10 DAA em pós-emergência dos herbicidas e 04 e 06 DAA dos bioestimulante em plantas de soja. Rio Verde - GO, Safra 2018/2019.

Bioestimulante	Herbicidas			
	Ausência	Cloransulam	Lactofen	Médias
<i>Fv/Fm</i>				
Ausência	0,75 aA	0,76 aA	0,68 aB	0,73 a
3 DAA	0,74 aA	0,69 bA	0,73 aA	0,72 a
6 DAA	0,78 aA	0,63 cC	0,68 aB	0,70 a
Médias	0,76 A	0,69 B	0,70 B	0,72
CV (%)	5,71			
ABS/RC				
Ausência	2,71 aAB	2,52 cB	3,04 aA	2,74 a
3 DAA	2,62 aA	2,95 bA	2,77 aA	2,78 a
6 DAA	2,48 aB	3,37 aA	2,76 aB	2,87 a
Médias	2,60 B	2,95 A	2,86 A	2,80
CV (%)	11,89			
TRo/RC				
Ausência	2,03 aA	1,89 bA	2,09 aA	2,00 a
3 DAA	1,95 aA	2,04 abA	2,03 aA	2,00 a
6 DAA	1,96 aB	2,20 aA	1,92 aB	2,03 a
Médias	1,98 A	2,04 A	2,01 A	2,01
CV (%)	6,90			
ETo/RC				
Ausência	0,98 aA	0,94 aA	0,49 aB	0,80 a
3 DAA	0,93 aA	0,57 bB	0,64 aB	0,71 a
6 DAA	1,07 aA	0,43 bB	0,54 aB	0,68 a
Médias	0,99 A	0,65 B	0,55 B	0,73
CV (%)	21,68			
DIo/RC				
Ausência	0,67 aB	0,59 cB	0,97 aA	0,74 a
3 DAA	0,67 aA	0,94 bA	0,74 aA	0,78 a
6 DAA	0,52 aC	1,26 aA	0,83 aB	0,86 a
Médias	0,62 B	0,92 A	0,85 A	0,79
CV (%)	27,31			
PI _{ABS}				
Ausência	1,07 bA	1,44 aA	0,23 aB	0,92 a
3 DAA	1,17 bA	0,54 bB	0,46 aB	0,72 a
6 DAA	1,82 aA	0,15 bB	0,34 aB	0,77 a
Médias	1,35 A	0,71 B	0,35 C	0,81
CV (%)	47,01			

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na linha e minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

Os parâmetros de fluorescência da clorofila *a* têm sido diretamente relacionados com a assimilação de CO₂ e conseqüentemente, com a eficiência fotossintética da planta. Dessa forma, paralelamente a avaliação dos parâmetros da fluorescência, como forma de verificar o efeito do bioestimulante sob o aparato fotossintético das plantas de soja, foram realizadas avaliações de trocas gasosas.

Por meio dos dados obtidos constatou-se que não houve efeito do bioestimulante para a transpiração (*E*) e condutância estomática (*g_s*). Por outro lado, observou-se ainda a ausência de diferenças significativas para a ação conjunta entre o bioestimulante e o herbicida apenas para a *g_s* das plantas de soja (Tabela 7).

Tabela 7. Resumo da análise de variância para as variáveis transpiração (*E*), taxa fotossintética (*A*), condutância estomática (*g_s*), relação *Ci/Ca* (*Ci/Ca*) e eficiência instantânea da carboxilação (*A/Ci*) aos 10 DAA em pós-emergência dos herbicidas e 06 e 04 dias após aplicação do bioestimulantes em plantas de soja. Rio Verde, Safra 2018/2019.

FV	GL	<i>E</i>	<i>A</i>	<i>Ci/Ca</i>	<i>g_s</i>	<i>A/Ci</i>
Bioestimulante (B)	2	2,63 *	19,228*	0,0061**	0,037 ^{ns}	0,00043**
Herbicida (H)	2	11,01**	23,287*	0,0098**	0,252**	0,00040**
B x H	4	2,31**	17,741*	0,0030**	0,025 ^{ns}	0,00030**
Bloco (B)	3	0,77 ^{ns}	1,062 ^{ns}	0,0002 ^{ns}	0,020 ^{ns}	0,00002 ^{ns}
CV (%)	-	9,18	8,62	2,97	15,63	10,19

** , *Significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. ^{ns} não significativo. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

A segunda avaliação da *g_s* apresentou resultados contrastantes em relação a primeira. Plantas de soja aos 3 DAA do Lactofen apresentaram *g_s* superior aos demais tratamentos (Tabela 8). Este resultado sugere que logo após a aplicação do herbicida, o estresse oxidativo desencadeado também promoveu incremento na síntese de enzimas antioxidantes e reguladores de genes responsivos ao estresse, otimizando o metabolismo da planta (CALVO *et al.*, 2014; DU JARDIN, 2015). Isso permitiu que, aos 10 DAA do herbicida, a planta atingisse seu potencial máximo para realização das trocas gasosas, elevando os valores de *g_s* (citar).

Diferentemente da *g_s*, os tratamentos que receberam a aplicação do bioestimulante aos 6 DAA apresentaram maior relação *Ci/Ca* (Tabela 8). Paralelamente, a aplicação lactofen proporcionou maior valor médio *Ci/Ca* (Tabela 8). Por outro lado, quando se desdobra os níveis de herbicida dentro de cada nível do bioestimulante, nota-

se que para as aplicações de cloransulam e lactofen não houve diferenças que pudessem ser atribuídas aos tratamentos.

A transpiração das plantas de soja foi influenciada pela aplicação dos herbicidas, e neste caso, cloransulam e lactofen promoveram incrementos na taxa transpiratória (E) (Tabela 8). Diferentemente do que ocorreu na primeira avaliação, a presença de lactofen proporcionou plantas com maior capacidade transpiratória, e pode ser atribuído ao tempo que transcorreu entre a aplicação e a segunda avaliação. Na ausência e presença do bioestimulante aos 3 DAA, o lactofen proporcionou maiores valores de E , do que na ausência de herbicidas (Tabela 8). Adicionalmente, foi possível observar a capacidade do bioestimulante em potencializar E , visto que na ausência da aplicação dos herbicidas o bioestimulante aos 6 DAA proporcionou incrementos na transpiração das plantas, em relação aos 3 DAA. Portanto, este resultado indica o potencial do bioestimulante em atuar como osmorreguladores, moléculas de sinalização e, moduladores da abertura estomática, desencadeando respostas positivas na taxa fotossintética das plantas (YAKHIN *et al.*, 2017). As plantas que receberam o lactofen, mesmo apresentando maiores g_s , maior razão C_i/C_a e E , demonstraram menores valores de A (tabela 8). Adicionalmente, a fotossíntese depende da capacidade da planta em mover elétrons para os aceptores finais do FSII; neste caso, as plantas que tiveram a enzima PROTOX inibida apresentaram os menores valores de (PI_{ABS}).

Por meio dos resultados obtidos foi possível sugerir que o bioestimulante aplicado aos 6 DAA constatou-se incrementos no valor de A na ação conjunta com o cloransulam. Em relação a eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i), nota-se que a aplicação do bioestimulante proporcionou incrementos nos valores da característica (Tabela 8), com destaque para a aplicação aos 3 DAA. Além disso, na ausência do bioestimulante observa-se menor A/C_i em plantas tratadas com o lactofen, enquanto aos 3 DAA nota-se que esta tendência foi verificada nos tratamentos com lactofen e cloransulam, respectivamente. Entretanto, quando o bioestimulante é aplicado aos 6 DAA a maior relação A/C_i é observada na ação conjunta com o cloransulam. Sabe-se que a eficiência instantânea de carboxilação (E_iC) possui estreita relação com a concentração intracelular de CO_2 e com a taxa de assimilação de dióxido de carbono (MACHADO *et al.*, 2005).

Tabela 8. Valores médios da taxa transpiratória (E), taxa fotossintética (A), relação C_i/C_a (C_i/C_a), condutância estomática (g_s), e eficiência da carboxilação (A/C_i) aos 10

DAA em pós-emergência dos herbicidas e 06 e 04 DAA do bioestimulante em plantas de soja. Rio Verde - GO, Safra 2018/2019.

Bioestimulante	Herbicidas			Médias
	Ausência	Cloransulam	Lactofen	
<i>E</i>				
Ausência	9,24 aB	10,32 aAB	10,79 aA	10,12 a
3 DAA	7,48 bC	9,62 aB	10,94 aA	9,36 b
6 DAA	10,01 aA	9,80 aA	10,78 aA	10,16 a
Médias	8,91 C	9,91 B	10,84 A	9,89
CV (%)	9,18			
<i>A</i>				
Ausência	19,68 aA	19,87 aA	17,43 abA	18,99 a
3 DAA	22,38 aA	19,78 aA	19,9 aA	20,67 a
6 DAA	17,92 bB	20,96 aA	15,60 bB	18,16 b
Médias	19,97 A	20,20 A	17,64 B	19,27
CV (%)	11,32			
<i>Ci/Ca</i>				
Ausência	0,84 bA	0,87 aA	0,88 aA	0,86 b
3 DAA	0,78 cB	0,87 aA	0,88 aA	0,85 b
6 DAA	0,89 aA	0,87 aA	0,91 aA	0,89 a
Médias	0,84 B	0,87 A	0,89 A	0,87
CV (%)	3,51			
<i>g_s</i>				
Ausência	0,92 aA	1,00 aA	1,14 aA	1,02 a
3 DAA	0,78 aB	0,79 aB	1,16 aA	0,91 a
6 DAA	0,98 aA	0,90 aA	1,11 aA	0,99 a
Médias	0,89 B	0,89 B	1,14 A	0,97
CV (%)	16,24			
<i>A/Ci</i>				
Ausência	0,060 bA	0,059 aA	0,051 aB	0,053 b
3 DAA	0,077 aA	0,059 aB	0,058 aB	0,064 a
6 DAA	0,055 bB	0,062 aA	0,044 bB	0,053 b
Médias	0,063 A	0,060 A	0,051 B	0,06
CV (%)	11,95			

* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na linha e minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

4.4. CONCLUSÕES

Por meio dos resultados obtidos foi possível concluir que aos 2 dias após a aplicação, os herbicidas inibidores da ALS e da PROTOX em casa de vegetação e pós-

emergentes, não proporcionaram inibição das trocas gasosas das plantas de soja. Por outro lado, aos 10 DAA dos herbicidas foi possível constatar que o cloransulam e lactofen alterou os parâmetros da fluorescência da clorofila *a*, porém não foi constatado efeito protetor do bioestimulante. Embora não tenha efeito isolado do bioestimulante nos parâmetros da fluorescência, sua aplicação aos 3 DAA dos herbicidas proporcionou incrementos na taxa fotossintética, condutância estomática e na eficiência da carboxilação das plantas de soja. Mediante ao exposto é possível concluir que o bioestimulante tem potencial de uso na cultura da soja com o propósito de mitigar os efeitos da aplicação de herbicidas.

4.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anli, M., Kaoua, M. E., Boutasknit, A., ben-Laouane, R., Toubali, S., Baslam, M., ... & Meddich, A. (2020). Seaweed extract application and arbuscular mycorrhizal fungal inoculation: a tool for promoting growth and development of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cv «Boufgous». *South African journal of botany*, 132, 15-21.
- Baldassarre, V. A. L. E. N. T. I. N. A., Cabassi, G., & Ferrante, A. (2011). Use of chlorophyll a fluorescence for evaluating the quality of leafy vegetables. *Australian Journal of Crop Science*, 5(6), 735-741.
- Beckie, H. J. (2011). Herbicide-resistant weed management: focus on glyphosate. *Pest management science*, 67(9), 1037-1048.
- Bontempo, A. F., Alves, F. M., Carneiro, G. D. O. P., Machado, L. G., Silva, L. O. D., & Aquino, L. A. (2016). Influência de bioestimulantes e nutrientes na emergência e no crescimento inicial de feijão, soja e milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 15(1), 86-93.
- Buchanan, B. B., Gruissem, W., & Jones, R. L. (Eds.). (2015). *Biochemistry and molecular biology of plants*. John Wiley & sons.
- Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and soil*, 383(1), 3-41.
- Carretero, D. M. (2008). Efeitos da inibição da protoporfirinogênio IX oxidase sobre as trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* em plantas de soja (*Glycine max* L. Merrill).

- da Silva Cavalcante, W. S., da Silva, N. F., Teixeira, M. B., Cabral Filho, F. R., Nascimento, P. E. R., & Corrêa, F. R. (2020). Eficiência dos bioestimulantes no manejo do déficit hídrico na cultura da soja. *Irriga*, 25(4), 754-763.
- Chen, S., Yang, J., Zhang, M., Strasser, R. J., & Qiang, S. (2016). Classification and characteristics of heat tolerance in *Ageratina adenophora* populations using fast chlorophyll a fluorescence rise OJIP. *Environmental and Experimental Botany*, 122, 126-140.
- Chittora, D., Meena, M., Barupal, T., Swapnil, P., & Sharma, K. (2020). Cyanobacteria as a source of biofertilizers for sustainable agriculture. *Biochemistry and biophysics reports*, 22, 100737.
- Choudhury, F. K., Rivero, R. M., Blumwald, E., & Mittler, R. (2017). Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination. *The Plant Journal*, 90(5), 856-867.
- Christoffoleti, P. J., & Nicolai, M. (2016). Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas.
- Coelho, A. F., Corrêa, B. O., de Freitas Pires, F., & Pereira, S. R. (2019). Avaliação da Aplicação Foliar de Biofertilizante em Quatro Cultivares de Soja. *Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde*, 23(1), 2-6.
- Craigie, J. S. (2011). Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of applied phycology*, 23(3), 371-393.
- Datta, A., Ullah, H., Tursun, N., Pornprom, T., Knezevic, S. Z., & Chauhan, B. S. (2017). Managing weeds using crop competition in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. *Crop protection*, 95, 60-68.
- Dong, S., Wang, W., Jiang, Y., Ma, Z., Yan, C., Liu, L., & Cui, G. (2019). Antioxidant and proteomic analysis of soybean response to drought during soybean flowering. *Ekoloji*, 28(107), 2041-2052.
- Dourado Neto, D., Dario, G. J. A., Barbieri, A. P. P., & Martin, T. N. (2014). Ação de bioestimulante no desempenho agrônômico de milho e feijão. *Biosci. j.(Online)*, 371-379.
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia horticultrae*, 196, 3-14.
- El-Katony, T. M., Nour El-Dein, M. M., El-Fallal, A. A., Ibrahim, N. G., & Mousa, M. M. (2020). Substrate–fungus interaction on the enzymatic and non-enzymatic antioxidant activities of solid state fermentation system. *Bioresources and Bioprocessing*, 7(1), 1-11.

- Abd El-Samad, E. H., Glala, A. A., Abd El Baset, A., & Nadia, M. O. (2019). Improving the establishment, growth and yield of tomato seedlings transplanted during summer season by using natural plant growth bio-stimulants. *Middle East J. Agric. Res*, 8, 311-329.
- Eullaffroy, P., Frankart, C., Aziz, A., Couderchet, M., & Blaise, C. (2009). Energy fluxes and driving forces for photosynthesis in *Lemna minor* exposed to herbicides. *Aquatic Botany*, 90(2), 172-178.
- Fan, D. Hodges, DM, Critchley, AT, and Prithiviraj, B.(2013). A commercial extract of brown macroagla (*Ascophyllum nodosum*) affects yield and the nutritional quality of spinach in vitro. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*, 44, 1873-1884.
- Ferreira, D. F. (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e agrotecnologia*, 35, 1039-1042.
- Ferreira, L. C., Cataneo, A. C., Remaeh, L. M. R., Búfalo, J., Scavroni, J., Andréo-Souza, Y., ... & Soares, B. J. A. (2011). Morphological and physiological alterations induced by lactofen in soybean leaves are reduced with nitric oxide. *Planta Daninha*, 29, 837-847.
- Fraga, D. S., Agostinetto, D., Langaro, A. C., Oliveira, C., Ulguim, A. R., & Silva, J. D. G. (2019). Morphological and metabolic changes in soybean plants cultivated in irrigated rice rotation and as affected by imazapyr and imazapic herbicides carryover. *Planta daninha*, 37.
- Gehling, V. M., Mazon, A. S., Cavalcante, J. A., Corrêa, C. D., Mendonça, A. O., Aumonde, T. Z., & Villela, F. A. (2017). Desempenho fisiológico de sementes de soja tratadas com extrato de alga *Ascophyllum nodosum* (L.). *Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp*, 1200-1215.
- Joshi-Paneri, J., Chamberland, G., & Donnelly, D. (2020). Effects of *Chelidonium majus* and *Ascophyllum nodosum* extracts on growth and photosynthesis of soybean. *Acta Agrobotanica*, 73(1).
- Junior, C. L. K., & Waureck, A. (2020). ASSOCIAÇÃO DO USO DE BIOESTIMULANTE E LACTOFEN NAS CARACTERÍSTICAS E NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA. *Revista Scientia Rural-ISSN* 2178-3608, 1(1).
- Krenchinski, F. H., Batista de Castro, E., Cesto, V. J. S., Belapart, D., Rodrigues, D. M., Carbonari, C. A., & Velini, E. D. (2019). Naphthalic anhydride increases

- tolerance of common bean to herbicides. *Journal of Plant Protection Research*, 59(3).
- Kulkarni, M. G., Rengasamy, K. R., Pendota, S. C., Gruz, J., Plačková, L., Novák, O., ... & Van Staden, J. (2019). Bioactive molecules derived from smoke and seaweed *Ecklonia maxima* showing phytohormone-like activity in *Spinacia oleracea* L. *New biotechnology*, 48, 83-89.
- Lamego, F. P., Ruchel, Q., Kasparý, T. E., Gallon, M., Basso, C. J., & Santi, A. L. (2013). Habilidade competitiva de cultivares de trigo com plantas daninhas. *Planta Daninha*, 31, 521-531.
- Machado, E. C., Schmidt, P. T., Medina, C. L., & Ribeiro, R. V. (2005). Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 40, 1161-1170.
- Maçik, M., Gryta, A., & Fraç, M. (2020). Biofertilizers in agriculture: An overview on concepts, strategies and effects on soil microorganisms. *Advances in Agronomy*, 162, 31-87.
- MacKinnon, S. L., Hiltz, D., Ugarte, R., & Craft, C. A. (2010). Improved methods of analysis for betaines in *Ascophyllum nodosum* and its commercial seaweed extracts. *Journal of Applied Phycology*, 22(4), 489-494.
- Mahmoud, S. H., Salama, D. M., El-Tanahy, A. M., & Abd El-Samad, E. H. (2019). Utilization of seaweed (*Sargassum vulgare*) extract to enhance growth, yield and nutritional quality of red radish plants. *Annals of Agricultural Sciences*, 64(2), 167-175.
- Mansori, M., Farouk, I. A., Hsissou, D., & El Kaoua, M. (2019). Seaweed extract treatment enhances vegetative growth and antioxidant parameters in water stressed *Salvia officinalis* L. *J Mater Environ Sci*, 10(8), 756-66.
- Mathur, S., Agrawal, D., & Jajoo, A. (2014). Photosynthesis: response to high temperature stress. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 137, 116-126.
- Maxwell, K., & Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence—a practical guide. *Journal of experimental botany*, 51(345), 659-668.
- Merotto Júnior, A., Wagner, J., & Meneguzzi, C. (2015). Effects of glyphosate and foliar application of micronutrients in transgenic soybean. *Bioscience Journal*, 31(2), 499-508.

- Moles, T. M., Pompeiano, A., Reyes, T. H., Scartazza, A., & Guglielminetti, L. (2016). The efficient physiological strategy of a tomato landrace in response to short-term salinity stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, *109*, 262-272.
- Novais, R. D., Neves, J. C. L., Barros, N. D., Oliveira, A. D., Garrido, W. E., Araújo, J. D., & Lourenço, S. (1991). Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. *Brasília: EMBRAPA SEA*, 189-253.
- de Oliveira Jr, R. S., Constantin, J., & Inoue, M. H. (2011). Biologia e manejo de plantas daninhas. *Curitiba, Brasil: Omnipax*.
- Opanasenko, V., Semenova, G., & Agafonov, A. (1999). Changes in the structure and the functional state of thylakoids under the conditions of osmotic shock. *Photosynthesis Research*, *62*(2), 281-290.
- Perboni, A. T., Martinazzo, E. G., Silva, D. M., & Bacarin, M. A. (2015). Baixas temperaturas sobre a fluorescência da clorofila a em plantas de diferentes híbridos de canola. *Ciência Rural*, *45*, 215-222.
- SANTOS, H. G.; JOCOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBREARAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; FILHO, J. C. A.; OLIVEIRA, J. B; CUNHA, T. J. F. Solos, E. (2013). Sistema brasileiro de classificação de solos. *Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro*, 3.
- dos Santos, V. M., Vaz-de-Melo, A., Cardoso, D. P., Gonçalves, A. H., de Sousa, D. D. C. V., & Silva, Á. R. (2017). Uso de bioestimulantes no crescimento de plantas de soja. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, *12*(3), 512-517.
- Schansker, G., Srivastava, A., & Strasser, R. J. (2003). Characterization of the 820-nm transmission signal paralleling the chlorophyll a fluorescence rise (OJIP) in pea leaves. *Functional Plant Biology*, *30*(7), 785-796.
- Silva, C. S., Seider, W. D., & Lior, N. (2015). Exergy efficiency of plant photosynthesis. *Chemical engineering science*, *130*, 151-171.
- da Silva, N. F., Clemente, G. S., Teixeira, M. B., Soares, F. A. L., Cunha, F. N., & da Silva Azevedo, L. O. (2017). Use of foliar fertilizers for the specific physiological management of different soybean crop stages. *American Journal of Plant Sciences*, *8*(04), 810.
- Luis, H. S., Durval, D. N., Evandro, B. F., Walquiria, F. T., Marina, R. D. R., & Klaus, R. (2016). Soybean seed treatment with micronutrients, hormones and amino

- acids on physiological characteristics of plants. *African journal of agricultural Research*, 11(35), 3314-3319.
- Lobato, E., & de SOUSA, D. M. G. (2004). *Cerrado: correção do solo e adubação*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004..
- Stirbet, A. (2011). On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll a fluorescence induction) and photosystem II: basics and applications of the OJIP fluorescence transient. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 104(1-2), 236-257.
- Strasser, R. J., Srivastava, A., & Tsimilli-Michael, M. (2000). The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. *Probing photosynthesis: mechanisms, regulation and adaptation*, 445-483.
- Tripathy, B. C., Mohapatra, A., & Gupta, I. (2007). Impairment of the photosynthetic apparatus by oxidative stress induced by photosensitization reaction of protoporphyrin IX. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 1767(6), 860-868.
- Vanlerberghe, G. C. (2013). Alternative oxidase: a mitochondrial respiratory pathway to maintain metabolic and signaling homeostasis during abiotic and biotic stress in plants. *International journal of molecular sciences*, 14(4), 6805-6847.
- Vargas, L., Silva, D. R. O., Agostinetto, D., Matallo, M. B., Santos, F. M., Almeida, S. D. B., ... & Silva, D. F. P. (2014). Glyphosate influence on the physiological parameters of *Conyza bonariensis* biotypes. *Planta Daninha*, 32, 151-159.
- Viana, J. S., de Melo, J. P. R., de Almeida Silva, J. C., Gonçalves, E. P., Lima, J. J. P., & Júnior, W. R. T. (2019). Plant biostimulant on the production of biomass and yield grain of soybean: Bioestimulante vegetal e períodos de corte na produção de biomassa e rendimentos de grãos de soja. *Diversitas Journal*, 4(3), 1105-1118.
- Yakhin, O. I., Lubyaynov, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in plant science*, 7, 2049.
- Yusuf, M. A., Kumar, D., Rajwanshi, R., Strasser, R. J., Tsimilli-Michael, M., & Sarin, N. B. (2010). Overexpression of γ -tocopherol methyl transferase gene in transgenic *Brassica juncea* plants alleviates abiotic stress: physiological and chlorophyll a fluorescence measurements. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 1797(8), 1428-1438.

- Zhou, R., Kan, X., Chen, J., Hua, H., Li, Y., Ren, J., ... & Yin, Z. (2019). Drought-induced changes in photosynthetic electron transport in maize probed by prompt fluorescence, delayed fluorescence, P700 and cyclic electron flow signals. *Environmental and Experimental Botany*, 158, 51-62.
- Zobiolo, L. H. S., Oliveira Jr, R. S., Constantin, J., & Biffe, D. F. (2011). Prevenção de injúrias causadas por glyphosate em soja RR por meio do uso de aminoácido. *Planta Daninha*, 29, 195-205.
- .

5. CAPÍTULO III

**APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTE MANTÉM A FISIOLOGIA E INDUZ A
TOLERÂNCIA DE PLANTAS DE SOJA SUBMETIDAS À APLICAÇÃO DOS
HERBICIDAS CLORANSULAM E LACTOFEN**

RESUMO

É conhecido que os bioestimulantes aumentam a produtividade das culturas e estimulam a tolerância das plantas a alguns estresses abióticos, mas pouca atenção tem sido dada ao efeito dos bioestimulantes na capacidade da planta de lidar com os danos indesejados que os herbicidas podem causar às plantações. Sendo assim, objetivando avaliar o efeito dos herbicidas cloransulam e lactofen nos primeiros dias após aplicação em plantas de soja, além de verificar o potencial do bioestimulante Megafol[®] aplicado em diferentes estádios, em minimizar os possíveis efeitos dos herbicidas e verificar a qualidade fisiológica das sementes. O experimento foi realizado na safra 2020/21, e após dois dias da aplicação dos herbicidas cloransulam e lactofen foram realizadas avaliações fisiológicas, e aos 10 dias após a aplicação dos herbicidas foram avaliados o arranjo fatorial, com os fatores dispostos em esquema 3 (sem aplicação, cloransulam e lactofen) x 3 (sem aplicação, bioestimulante 3 dias após aplicação do herbicida - DAA e bioestimulante 6 DAA). Foram avaliadas as trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a*, índice de clorofilas, radicação fotossinteticamente ativa, índice de vegetação por diferença normalizada, qualidade fisiológica das sementes, matéria seca de plântulas, parâmetros relativos ao crescimento e produtividade de grãos. Foi constatado o efeito benéfico do bioestimulante Megafol[®] na fisiologia das plantas, com incrementos na taxa fotossintética, índice de clorofila *a*. Além disso, destaca-se que a aplicação do bioestimulante Megafol[®] aos 6 DAA obteve melhor desempenho que os demais tratamentos. Constatando que o uso dos herbicidas proporcionou resposta negativas na qualidade das sementes, em contrapartida foi evidente o efeito benéfico do bioestimulante Megafol[®] no incremento do teste de vigor (tetrazólio e envelhecimento acelerado) e germinação. Este estudo abre a perspectiva do uso de bioestimulantes específicos para aumentar a resistência das culturas a herbicidas pós-emergentes amplamente utilizados.

Palavras-chaves: *Glycine max* L.; tolerância a herbicidas; taxa fotossintética; inibidor da ALS; inibidor da Protox; germinação de sementes.

ABSTRACT

It is known that biostimulants increase crop productivity and stimulate plant tolerance to some abiotic stresses, but little attention has been given to the biostimulants effect on the plant's ability to deal with the unwanted damage that herbicides can cause to crops. Therefore, it was aimed to evaluate the effect of the herbicides cloransulam and lactofen in the first days after application in soybean plants, in addition to verifying the potential of the Megafol® biostimulant applied at different stages, in minimizing the possible herbicides effects and verifying the physiological quality of seeds. The experiment was carried out in the 2020/21 crop season, where after two days of herbicides cloransulam and lactofen application, physiological evaluations were carried out, and at 10 days after the herbicides application, the factorial arrangement was evaluated, with the factors arranged in scheme 3 (without application, chloransulam and lactofen) x 3 (without application, biostimulant 3 days after herbicide application - DAA and biostimulant 6 DAA). Gas exchange, chlorophyll a fluorescence, chlorophyll index, photosynthetically active root, vegetation index by normalized difference, seed physiological quality, seedling dry matter, parameters related to growth and grain yield were evaluated. The beneficial effect of Megafol® biostimulant on plant physiology was verified, with increases in photosynthetic rate, chlorophyll an index. In addition, it is noteworthy that the biostimulant Megafol® application at 6 DAA had better performance than the other treatments. It was also found that the use of herbicides provided a negative response in the seeds quality, on the other hand, the beneficial effect of the Megafol® biostimulant was evident in the increment of the vigor test (tetrazolium and accelerated aging) and germination. This study opens the prospect of using specific biostimulants to increase crop resistance to widely used post-emergent herbicides.

Keywords: *Glycine max* L.; herbicide tolerance; photosynthetic rate; ALS inhibitor; Protox inhibitor; seed germination.

5. 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a soja (*Glycine max* L.) representa mais de 60% de toda proteína vegetal produzida no mundo, sendo o Brasil o maior exportador e produtor mundial (Silva *et al.*, 2021). A utilização de sementes com alta qualidade fisiológica é um dos pilares para a construção de altas produtividades de soja. A manutenção das altas produtividades da soja depende de inúmeros fatores bióticos e abióticos, dentre eles o controle ou morte de plantas daninhas e os métodos agrícolas convencionais empregam o uso de produtos químicos, especialmente herbicidas para esse propósito. Dessa forma, o uso dos herbicidas, assim como o cloransulam e lactofen são alternativas para o manejo de plantas de difícil controle. O herbicida cloransulam atua inibindo a enzima acetolactato sintase (ALS), chave para a biossíntese dos aminoácidos valina, leucina e isoleucina interrompendo o crescimento e a divisão das células vegetais, e é prontamente absorvido pelas folhas e facilmente transportado por toda a planta (Wei *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2020). Já o herbicida lactofen é um membro dos herbicidas do grupo químico difeniléter que age inibindo a atividade da protoporfirinogênio oxidase (PROTOX) na via biossintética da porfirina de plantas, levando ao dano peroxidativo dos lipídios da membrana celular e à ruptura da permeabilidade da membrana, conduzindo à morte das plantas (Zhang *et al.*, 2018; Shan *et al.*, 2022).

É relatado ampla gama de interferências causadas por herbicidas na produção e qualidade das culturas (Altman, 2018). É de conhecimento que a energia da luz absorvida pelas moléculas de clorofila pode ser usada em diferentes processos, dentre eles, a fotossíntese e a fluorescência da clorofila *a* (Oxborough, 2004; Petrozza *et al.*, 2014). Por outro lado, já foi relatado que alguns herbicidas afetaram severamente a atividade fotossintética, o metabolismo do nitrogênio e reduz o conteúdo de pigmentos fotossintéticos em culturas como soja e milho (Nadas *et al.*, 2015; Boulahia *et al.*, 2018). Adicionalmente, efeitos sobre a biomassa vegetal em culturas não alvo foram encontrados com a aplicação de

diferentes herbicidas (Alla *et al.*, 2008), e, alguns estudos mostraram que os herbicidas também podem afetar negativamente a capacidade da planta de adquirir nutrientes (Del Buono *et al.*, 2015; Bartucca *et al.*, 2018). Isso ocorre porque os herbicidas exercem efeitos adversos nas culturas causando danos oxidativos às plantas, sendo crucial considerar este aspecto para avaliar o impacto que os herbicidas podem ter em espécies não alvo, assim como as plantas de soja.

Embora os herbicidas seletivos sejam necessários para o controle de plantas daninhas na soja, seu uso pode proporcionar efeitos indesejados como injúrias ao aparato fisiológico das plantas, e uma estratégia promissora para amenizar os efeitos deletérios é o uso dos bioestimulantes. Bioestimulantes podem proporcionar condições favoráveis para que as plantas metabolizem e eliminem vestígios das moléculas, reduzindo o efeito sob as sementes produzidas e atuando no desenvolvimento do crescimento da planta, juntamente com sua eficiência nutricional, além de ter como objetivo de potencializar a tolerância a estresse (Gupta *et al.*, 2021). Em estudos realizados, já foram verificados a eficácia na produtividade da ação de bioestimulantes diante da presença de herbicidas (Andrade *et al.*, 2018a; Andrade *et al.*, 2018b; *et al.*, 2020). Andrade *et al.* (2018) observaram incrementos na produtividade de grãos da soja decorrente da aplicação dos bioestimulante MC Extra[®] e o Megafol[®], mesmo diante da aplicação do herbicida glyphosate. O bioestimulante Megafol[®] é amplamente utilizado para atenuar as respostas fisiológicas em plantas diante de estresse, e a indução de genes relacionados a fotossíntese foi verificada em tomates submetidos ao estresse hídrico, culminando em plantas mais saudáveis e tolerantes ao estresse (Petrozza *et al.*, 2014). Os bioestimulantes são gatilhos para as defesas naturais da planta, sendo necessárias apenas pequenas quantidades para melhorar a tolerância a diversos estresses, o que é bastante interessante para fins comerciais (Del Buono, 2021).

Dessa forma, a hipótese do estudo é que o uso do bioestimulante Megafol[®] pode mitigar os efeitos deletérios dos herbicidas cloransulam e lactofen, através de manutenção ou até mesmo melhoria da fisiologia e produtividade das plantas de soja, e se os bioestimulantes mantêm a qualidade fisiológica das sementes de soja mesmo diante da aplicação dos herbicidas. Mediante ao exposto o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito dos herbicidas cloransulam e lactofen em parâmetros fisiológicos das plantas de soja, além de verificar o potencial do bioestimulante Megafol[®] aplicado em diferentes dias, em minimizar os efeitos dos herbicidas em campo e verificar a qualidade fisiológica das sementes.

5. 2. MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido em campo na Fazenda Experimental de Ensino Pesquisa e Extensão – UniBRAS, no município de Rio Verde/GO (na região sudoeste de Goiás 17°45'08" S e 50°55'53" W e altitude 754m) na safra 2020/21, tendo como cultura antecessora o milho, cultivado no sistema plantio direto. O clima na localidade é do tipo Aw (inverno seco), sendo caracterizado como tropical com estação seca, com chuvas mais intensas no verão em relação ao inverno (Alvares *et al.*, 2013). Os dados climáticos durante a condução do ensaio estão representados na Figura 1.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho (Teixeira *et al.*, 2017). A amostra de solo da área experimental foi coletada na camada de 0-20 cm de profundidade apresentando as seguintes características físico-químicas, levando-se em consideração a classificação de adequado (Ad), muito baixo (MB), baixo (B), médio (M), alto (A) e muito alto (MA): pH em CaCl₂: 4,53 (B); Ca: 2,19 (M); Mg: 0,72 (B); K: 0,16 (M); Al: 0,10 (MB); H+Al: 7,08 (A); SB: 2,08 (M) e CTC: 10,16 (Ad), em cmol_c dm⁻³; S: 10,95 (A) e P: 12,86 (A), em mg dm⁻³; Matéria orgânica: 36,90 (MB) em g kg⁻¹; m: 3,14 (MB) e v: 30,31 (M) em %; argila, silte e areia: 44,48; 6,80 e 48,72 em %, respectivamente; Fe: 43,13 (A); Mn: 19,22 (A); Cu: 3,81 (A) e Zn: 0,42 (B) em mg dm⁻³.

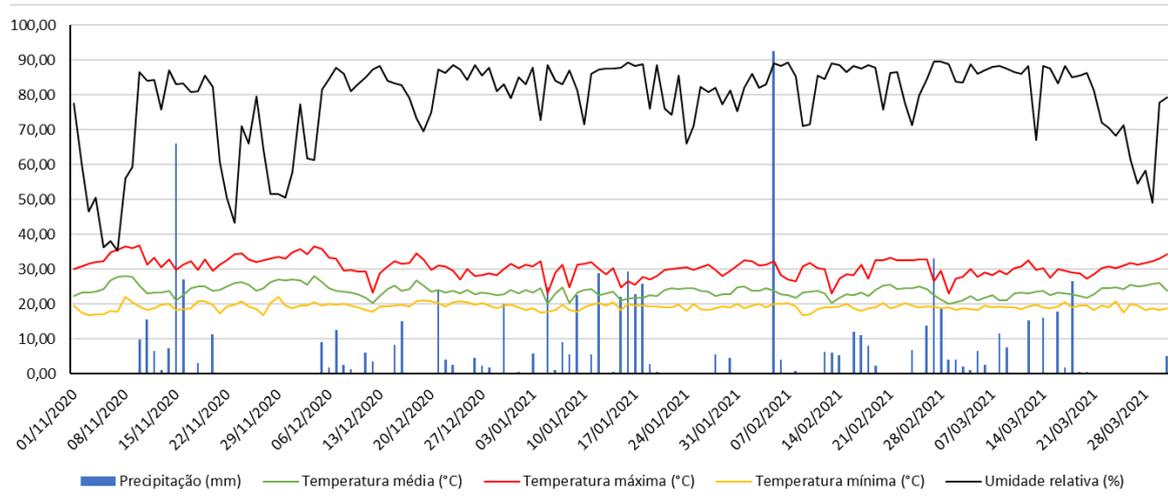


Figura 1. Dados diários, precipitação, temperatura e umidade relativa no período decorrente do experimento, safra 2020-21, Rio Verde–Goiás.

Foi semeada a cultivar de soja Brasmax Power® (73710 IRF IPRO) em 06/11/2021 com 18 sementes por metro linear. Este cultivar é caracterizado por ter hábito de crescimento indeterminado, ciclo precoce com grupo de maturação 7.3 para a microrregião do experimento. As unidades experimentais continham seis linhas de 5 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, 4 m². A adubação foi realizada no sulco de semeadura e em cobertura, sendo empregado 100 kg ha⁻¹ de fosfato monoamônico e 80 kg ha⁻¹ de 00-00-60, respectivamente. Os tratos culturais com capina foram realizados de acordo com as necessidades da cultura para evitar problemas com pragas e doenças, com o intuito de assegurar que estes fatores não interferissem no desenvolvimento e na produtividade da soja.

A aplicação dos herbicidas foi realizada quando as plantas de soja se encontravam com três trifólios completamente expandidos (V₃), vinte e cinco dias após a semeadura. Primeiramente, o experimento foi instalado em delineamento de blocos ao acaso, sendo 3 tratamentos (herbicida lactofen - 180 g i. a. ha⁻¹; herbicida cloransulam - 39,48 g i. a. ha⁻¹; e sem aplicação de herbicida), com 15 repetições totalizando 45 unidades experimentais. Antes da aplicação dos bioestimulantes e após dois dias da aplicação dos herbicidas foram avaliadas as trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e teor de pigmentos das plantas de soja.

Aos 10 dias após a aplicação dos herbicidas foram avaliados o arranjo fatorial, com os fatores dispostos em esquema 3 (sem aplicação, cloransulam e lactofen) x 3 (sem aplicação, bioestimulante 3 dias após aplicação do herbicida - DAA e bioestimulante 6 DAA), com 5 repetições, totalizando 45 unidades experimentais. Sendo os nove tratamentos dispostos a seguinte forma: 1. Sem aplicação de herbicida e do bioestimulante, 2. Aplicação dos herbicidas lactofen (180 g i. a. ha⁻¹) + ausência do bioestimulante, 3. Aplicação dos herbicidas cloransulam (39,48g i. a. ha⁻¹) + ausência do bioestimulante, 4. Aplicação dos herbicidas lactofen (180 g i. a. ha⁻¹) + bioestimulantes 3 dias após aplicação do herbicida, 5. Aplicação dos herbicidas cloransulam (39,48 g i. a. ha⁻¹) + bioestimulantes 3 dias após aplicação do herbicida, 6. Aplicação dos herbicidas lactofen (180 g i. a. ha⁻¹) + bioestimulantes 6 dias após aplicação do herbicida, 7. Aplicação dos herbicidas cloransulam (39,48 g i. a. ha⁻¹) + bioestimulantes 6 dias após aplicação do herbicida, 8. Sem aplicação de herbicida + bioestimulantes 3 dias após aplicação do herbicida e 9. Sem aplicação de herbicida + bioestimulantes 6 dias após aplicação do herbicida. As aplicações do bioestimulante ocorreram quando as plantas de soja se encontravam com quatro e cinco trifólios completamente expandidos (V₄/V₅), respectivamente aos 3 e 6 dias após a aplicação dos herbicidas.

O bioestimulante utilizado foi o Megafol[®] (Carbono orgânico: 109,8 g L⁻¹; N: 36,6 g L⁻¹; K₂O: 97,6 g L⁻¹; Valagro[®]), foi aplicado nas plantas na dose de 1,0 L p.c. ha⁻¹. Já os produtos comerciais dos herbicidas foram Pacto[®] (cloransulam, concentração 840 g kg⁻¹,

WG, Corteva AgroSciences®) e Cobra® (lactofen, concentração 240 g L⁻¹, CE, Bayer®). Os tratamentos foram aplicados com pulverizador costal pressurizado por CO₂, equipado com barra de seis pontas de pulverização do tipo TT 110-02 leque duplo. O equipamento foi posicionado a 50 cm acima das plantas de soja, regulado a 300 kPa, proporcionando volume de calda equivalente a 200 L ha⁻¹. As datas e as condições climáticas nas respectivas épocas de aplicação dos tratamentos estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Condições climáticas nas respectivas épocas de aplicação dos tratamentos. Rio verde - GO, 2020/21.

	Herbicidas	Bioestimulante	Bioestimulante
Estádio	V ₃	V _{4/5}	V ₅
Data	08/12/2020	11/12/2020	15/12/2020
Horário da aplicação	17:00 – 17:25	06:30-07:00	07:00-07:20
Velocidade vento	4-7	5-5	6-5
T °C	25-28	23-25	22-24
Umidade relativa %	45-42	67-61	60-60

5. 2.1 Detalhamento das avaliações

5.2.1.1 Trocas gasosas

As trocas gasosas das plantas foram avaliadas para registro das taxas fotossintética [A , $\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$] e transpiratória [E , $\text{mmol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$], da condutância estomática [g_s , $\text{mol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$], e concentração interna de CO₂ (C_i) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$). A partir desses dados foram estimadas a relação entre a concentração interna e externa de CO₂ (C_i/C_a) e eficiência da carboxilação (A/C_i) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})$]. Estas avaliações foram realizadas utilizando o analisador de gases no infravermelho portátil (IRGA) modelo LI6800 (Li-Cor, Nebraska, EUA), incidindo uma densidade de fluxo de fótons igual a 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, no horário entre 08h e 12h, sempre em uma folha expandida.

5.2.1.2 Fluorescência da clorofila *a*

A fluorescência transiente da clorofila *a* foi determinada com o uso de um fluorômetro portátil (FluorPen FP100, Photon Systems Instruments; Drasov, Czech Republic), na mesma folha utilizada na avaliação das trocas gasosas, a qual foi previamente adaptada ao escuro por 30 minutos para oxidação completa do sistema fotossintético de transporte de elétrons. Posteriormente, foram submetidas a um pulso de 3000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de luz azul, medindo-se a fluorescência mínima (F_0) em 50 μs quando todos os centros de reação PSII (fotossistema II) estão abertos e definido como o passo O, seguida pelo passo J (a 2 ms), o passo I (a 30 ms) e a

fluorescência máxima (Fm) quando todos os centros de reação PSII estão fechados, conhecido como passo P. Estes valores foram utilizados para a estimativa de vários índices bioenergéticos do PSII, conforme (Strasser *et al.*, 2000). Foram obtidos os valores relativos ao fluxo específico de absorção luminosa por centro de reação (ABS/RC); fluxo de energia capturado por centro de reação (TRo/RC); fluxo de energia dissipada por centro de reação (DIO/RC) e índice de desempenho fotossintético calculado com base na absorção (PI_{ABS}). Estas avaliações foram realizadas no horário entre 08 e 12 horas, sempre em uma folha expandida.

5.2.1.3 Índice de clorofilas

Para a determinação de pigmentos por clorofilômetro foi utilizado o equipamento Clorofilog modelo CFL-1030 (FALKER – Automação Agrícola). O equipamento mede o teor de clorofilas na folha, sendo as leituras de clorofila *a*, clorofila *b*, e clorofila total, expressos como Índice de clorofila Falker (ICF). Estas avaliações foram realizadas no horário entre 08 e 12 horas, sempre em uma folha expandida.

5.2.1.4 Radiação fotossinteticamente ativa e índice de vegetação por diferença normalizada

Adicionalmente, foram avaliadas quanto ao índice de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). As avaliações ocorreram a partir dos 10 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA) em intervalos sete dias quando as plantas se encontravam em estádios V₆, V₈, R₂ e R₅ respectivamente, entre 8h e 12h. Foram realizadas medidas de radiação fotossinteticamente ativa (RFA), com o auxílio de um ceptômetro, da marca Decagon Devices modelo AccuPAR LP-80. As leituras de RFA foram realizadas perpendicularmente às linhas de semeadura, sendo a RFA incidente (RFA_{inc}), realizada acima do dossel e a transmitida (RFA_t) abaixo do dossel e ao nível do solo. A radiação fotossinteticamente interceptada (RFA_i) foi obtida pela diferença entre a incidente e a transmitida e a eficiência de interceptação (ϵ_i) pela divisão entre a RFA_i e a RFA_{inc}.

Foram realizadas medidas do índice NDVI com o auxílio de um sensor GreenSeeker. O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foi proposto por ROUSE *et al.* (1973) para a quantificação do crescimento da vegetação. Esse índice é dado por: $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$, em que: NIR – Refletância do Infravermelho Próximo (770 nm) e o R – Refletância do Vermelho (650 nm). O aparelho foi posicionado à altura entre 0,8 e 1,0 m acima e paralelamente à superfície do solo (Ntech Industries, 2008), e a leitura realizada em

0,3 m² (0,5 m de deslocamento linear sobre a unidade experimental multiplicado pela largura útil de 0,6 m captada pelo sensor).

5.2.1.5 Crescimento e produtividade

Para a determinação do acúmulo de massa e cálculo dos parâmetros de crescimento, foram coletadas duas plantas por parcela, a partir dos 10 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA) em intervalos 29 dias quando as plantas se encontravam em estádios V6, R2. Após as coletas foram determinadas a área foliar (AF - As folhas coletadas foram acondicionadas em superfície contrastante de coloração branca, juntamente com referência de escala de 5 x 5 cm. Para a medida direta da área foliar as imagens digitais serão manuseadas utilizando o Software ImageJ® (Powerful Image Analysis), expressa em metros quadrados (m²). Para a obtenção da massa seca da parte aérea (MSPA), as folhas e caule foram coletados e levadas a estufa de circulação forçada de ar a 60°C, por 24 horas, logo após foi realizado a pesagem e os valores expressos em gramas (g).

Com estes dados foram determinados a taxa de crescimento absoluto [determinada pela expressão: $TCA (g \text{ dia}^{-1}) = MSPA 2 - MSPA 1 / t2 - t1$, em que a MSPA 1 e MSPA 2 representam a massa da matéria seca nos diferentes tempos de avaliação t1 e t2, expressa em g dia⁻¹], taxa de crescimento relativo [determinada pela expressão: $TCR = (\ln MS2 - \ln MS1) / (t2 - t1)$, sendo: ln = logaritmo neperiano; MSPA1 e MSPA2 = massas de matéria seca nos diferentes tempos de avaliação t1 e t2, expressa em g g⁻¹ dia⁻¹], taxa de assimilação líquida [determinada pela expressão: $TAL = (MS2 - MS1 / t2 - t1) \times (\ln AF2 - \ln AF1 / t2 - t1)$, em que : MSPA 1 e MSPA 2= massas de matéria seca da planta (g) nos tempos t1 e t2 (dias); AF1 e AF2= áreas foliares das plantas (m²) nos tempos t1 e t2 (dias) ln = logaritmo neperiano. expressa em g m⁻² dia⁻¹], taxa de crescimento da cultura [determinada pela expressão: $TCC = (MS2 - MS1) / S / (t2 - t1)$, sendo S representa a área amostrada ocupada pela cultura (m²) no terreno e MSPA 1 e MSPA 2, as massas de matéria seca nos diferentes tempos de avaliação (t1) e final (t2) expressas em g m⁻² dia⁻¹], índice de área foliar (determinado por meio da razão entre os valores da área foliar total e área de solo ocupada pelas plantas, determinada pela expressão $IAF = AF \text{ total} / AS$) a razão da área foliar (determinada pela relação entre a massa seca da parte aérea e a área foliar, expressa em m² g⁻¹) (Benincasa 2003; Magalhães 1985).

A colheita foi realizada em 14/03/2021 aos 127 dias após a emergência das plântulas de soja. Posteriormente foi avaliada, na área útil das parcelas, a produtividade de grãos (pesagem dos grãos com correção da umidade para 13%, com posterior conversão para kg ha⁻¹), massa de mil grãos (contagem e pesagem de mil grãos a partir de amostra retirada da massa de grãos colhidos por parcela), massa seca da parte aérea (efetuou-se a pesagem das

amostras colhidas), número de vagens por planta (na haste principal e nas ramificações primárias); número de grãos por plantas e o índice de colheita [obtido mediante a razão entre a massa de matéria seca da fração economicamente rentável (MS econômica) e a fitomassa seca total colhida (MS total). $IC = MS \text{ econômica} / MS \text{ total}$].

5.2.1.6 Qualidade fisiológica das sementes

A colheita foi realizada em 14/03/2021 aos 127 dias após a emergência das plântulas de soja. Posteriormente após a colheita (trilhagem), foram coletadas as sementes de todas as 45 parcelas e levadas ao laboratório de sementes da empresa Sementes Goiás LTDA[®], cada parcela foi constituída de uma amostra. Foi aferido a umidade das amostras com equipamento MOTOMCO[®], todas as amostras estavam com umidade entre 11 e 13%. Posteriormente foram realizadas as seguintes análises:

Teste de tetrazólio: As análises foram realizadas em 2 repetições de 50 sementes cada. As amostras foram acondicionadas em papel “germitest” umedecidos com 2,5 vezes sua massa seca pelo período de 16 horas a 25°C em B.O.D., colocadas em saco plástico para evitar perda de água no germinador. Após o pré-umedecimento, as sementes foram colocadas em copos plásticos, sendo totalmente submersas na solução de tetrazólio com concentração de 0,075% e levadas para B.O.D. a temperatura de 41°C por 1 hora e 30 minutos (Krzyzanowski *et al.*, 2001) na ausência de luz. Após a coloração, as amostras foram retiradas da B.O.D. e as sementes lavadas em água corrente. A avaliação do vigor das sementes foi conduzida por meio da leitura individual com apoio de lupa de mesa. Na leitura do teste, cada semente foi classificada por meio de oito classes de vigor para sementes de soja de acordo com os tipos de danos analisados, dano mecânico, dano por umidade e dano por percevejo, levando em consideração a localização dos danos na semente. Sendo as classes: mais alto vigor (classe 1), alto vigor (classe 2), vigor médio (classe 3), vigor baixo (classe 4), vigor muito baixo (classe 5), não viável (classe 6), não viável (classe 7) e semente morta (classe 8). O resultado de vigor foi obtido com o somatório das sementes nas classes 1, 2 e 3 (Brasil, 2009; França-Neto, *et al.*, 1988).

Teste de Germinação: o teste oficial de germinação teve oito repetições de 50 sementes, totalizando 400 sementes. Para o teste de germinação, o substrato utilizado foi o papel de germinação “germitest” umedecido com água destilada (cálculo da quantidade de água: seu peso x 2,5). Com contador de sementes, foram dispostas 50 sementes no substrato, formando o rolo de papel, cada amostra teve 8 rolos, após identificação do lote, foi levado para sala de germinação (com controle de luz/umidade e temperatura), com 25°C ± 2, por um

período de 5 dias, após esse período foi realizada a leitura, identificando as plântulas viáveis, plântulas anormais, plântulas infectadas, sementes mortas, sementes duras (Brasil, 2009).

Teste de envelhecimento acelerado: foram separadas 400 sementes de cada amostra e levadas a B.O.D. a 4°C por 72 horas em GERBOX com 50ml de água destilada, após esse período na B.O.D, essas sementes foram plantadas conforme o teste de germinação. O substrato utilizado foi o papel de germinação “germitest” umedecido com água destilada (cálculo da quantidade de água: seu peso x 2,5). Com contador de sementes, foram dispostas 50 sementes no substrato, formando o rolo de papel, cada amostra teve 8 rolos, após identificação do lote, foi levado para sala de germinação (com controle de luz/umidade e temperatura), com 25°C ± 2, por um período de 5 dias, após esse período foi realizado a leitura, identificando as plântulas viáveis, plântulas anormais, plântulas infectadas, sementes mortas, sementes duras (Brasil, 2009; Marcos Filho, 1999).

Teste de emergência em areia: foi desenvolvido em canteiros de areia, aonde foram plantadas 100 sementes com 5 cm de profundidade. Após colocadas as sementes no leito de areia, foram cobertas com fina camada de areia. Foi realizada irrigação diária, o aspersor ligava duas vezes ao dia, 8 horas da manhã e as 16 horas da tarde, por 30 minutos. Posteriormente foram realizadas as leituras, sendo aos 6 dias leitura de vigor (contagem de todos os cotilédones que emergiram), aos 10 dias leitura de viabilidade (arranque, identificação de plântulas viáveis, plântulas anormais e sementes mortas) (Brasil, 2009). Após o arranque foram selecionadas 3 plântulas viáveis e foram feitas as medições com auxílio de régua milimetrada, da parte aérea (acima da superfície do solo) e parte radicular (abaixo da superfície do solo).

Matéria seca de plântulas: testes de germinação, envelhecimento acelerado e emergência em canteiro, e foram pesadas 3 plântulas de cada amostra, elas foram separadas e passaram por lavagem em água corrente. Em seguida, as plântulas foram secas em estufa de ventilação forçada QUIMIS® a 60°C até atingir peso constante (Beutler e Centurion, 2004).

Teste de hipoclorito de sódio: 200 sementes foram imersas em solução de trabalho (NaClO e água destilada) e mantidas por 10 minutos, depois de escorrida a solução, as sementes foram colocadas sobre papel toalha para avaliação. Em seguida, foram separadas e contadas as sementes embebidas (Krzyzanowski *et al.*, 2001).

5.2.2 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos a análise de variância com emprego do teste F ($p < 0,05$), para constatar significância entre os fatores avaliados. Uma vez constatado efeito

significativo, foi empregue o teste SNK ($p < 0,05$) para comparação das medias entre os níveis de cada fator. Para a análise dos dados foi utilizado o programa de análise estatística SISVAR (Ferreira, 2011). Os gráficos foram confeccionados pelo programa SigmaPlot 11.0.

5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente estudo foi realizado análises fisiológicas em plantas de soja dois dias após aplicação (DAA) dos herbicidas. Não foi observado efeito significativo para as variáveis rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m), fluxo de energia dissipada por centro de reação ativo (D_{Io}/RC), índice de desempenho na base de absorção (PI_{ABS}), clorofila *a* ($Clo\ a$), clorofila *b* ($Clo\ b$), clorofila total ($Clo\ T$) e eficiência da carboxilação (A/C_i) (Tabela 02 e 03). Em contrapartida, para as variáveis fluxo de captura de energia por centro de reação (TR_o/RC), fluxo de energia absorvida por centro de reação ativo (ABS/RC), taxa fotossintética (A), transpiratória (E), condutância estomática (g_s), relação entre a concentração interna e externa de CO_2 (C_i/C_a) foi observada diferença significativa entre a ausência e a presença do herbicida cloransulam e lactofen (Tabela 2 e 3).

Menores valores de TR_o/RC , A , E , g_s e C_i/C_a foram evidentes quando aplicado o herbicida claransulan em comparação com o herbicida lactofen e a ausência de herbicida, já para a variável ABS/RC ambos herbicidas diminuíram em relação a ausência de aplicação (Tabela 2 e 3). O Cloransulam pertence inibe a enzima acetolactato sintase (ALS) em plantas e é um herbicida usados para controle de dicotiledôneas com alta seletividade a cultura da soja, mas conforme observado neste estudo afetou a fisiologia das plantas de soja. Zhang *et al.*, (2021) afirmam que o contínuo uso do herbicida prejudica as lavouras, e, além disso, Duddu *et al.* (2019) e Soltani *et al.* (2019) constataram que a aplicação de cloransulam danificou o feijão e reduziu a taxa de crescimento do feijão-fava. Outros efeitos secundários da inibição da ALS , é o acúmulo de 2-cetobutirato ou 2-aminobutirato e a depleção de intermediários de vias decorrentes da interrupção no transporte e utilização de produtos da fotossíntese (Zhou *et al.*, 2007). Já foi relatado na literatura um acúmulo de açúcares totais, sacarose e aminoácidos livres após a aplicação de inibidores da ALS , apoiando a hipótese de que o acúmulo pode ser pela diminuição na força de dreno, que irá ocasionar a redução da taxa fotossintética, sendo esse mecanismo caracterizado como retroinibição da fotossíntese (Gaston *et al.*, 2003). Diante desse processo, os estômatos fecham decorrentes da mudança na concentração interna de CO_2 , acarretando aumento de temperatura foliar e consequentemente

danos potenciais ao fotossistema II decorrente da força diminuída de dreno e a fotossíntese é diminuída (Wünsche *et al.*, 2005; Li *et al.*, 2007; Duan *et al.*, 2008).

Tabela 2. Rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m), fluxo de captura de energia por centro de reação (TRo/RC), fluxo de energia dissipada por centro de reação ativo (DIO/RC), índice de desempenho na base de absorção (PI_{ABS}) e fluxo de energia absorvida por centro de reação ativo (ABS/RC) aos dois dias após a aplicação de herbicidas pós-emergência em plantas de soja.

F.V	F_v/F_m	TRo/RC	DIO/RC	PI_{ABS}	ABS/RC
Trat.	1,31 ^{ns}	19,9 ^{**}	2,66 ^{ns}	1,33 ^{ns}	5,89 ^{**}
Ausência	0,59±0,0a	2,1±0,1a	1,4±0,3a	0,12±0,1a	3,6±0,4a
Cloransulan	0,62±0,0a	1,9±0,0b	1,3±0,2a	0,17±0,0a	3,2±0,02b
Lactofen	0,60±0,0a	2,1±0,0a	1,2±0,2a	0,17±0,0a	3,4±0,02ab
CV (%)	6,63	4,95	20,01	56,28	10,14

**; *Significativo a 1 e 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade. Médias seguidas de desvio padrão.

A variável ABS/RC ambos os herbicidas diminuíram em relação a ausência de aplicação (Tabela 2 e 3), ou seja, mesmo sem diminuição na clorofila conforme evidente anteriormente. Neste caso a aplicação do lactofen diminuiu a fluxo de energia absorvida por centro de reação ativo em plantas de soja. Esse decréscimo de parâmetros relacionados a fisiologia foi observado em estudo realizados também com plantas de soja e aplicação do herbicida lactofen, no qual diminuiu os níveis de clorofila horas iniciais após a aplicação (Ferreira *et al.*, 2010). Além disso, Price *et al.* (2021) relatou que em plantas de amendoim com a aplicação do herbicida lactofen, perdeu o rendimento principalmente sob condições climáticas adversas. É conhecido que o lactofen é um herbicida de éter difenílico tipicamente empregado para controlar ervas daninhas de folhas largas, e leva à inibição da enzima protoporfirinogênio oxidase (Protox - PPO), que causa diminuição da síntese de clorofila, bem como acúmulo de protoporfirinogênio IX, destruindo a membrana celular de plantas (Shan *et al.*, 2022). Essa observação pode ser justificada, uma vez que os tratamentos com herbicidas resultaram em estresse oxidativo pela produção de oxigênio singlete, que é capaz de oxidar lipídios e proteínas, gerando peróxidos ou outros produtos oxidados e culminando em danos teciduais graves (Tripathy *et al.*, 2007). Levando em consideração o já relatado

diante da aplicação dos herbicidas, a aplicação de bioestimulante foi de essencial importância para minimizar os danos causados em plantas de soja diante dos herbicidas estudados.

Tabela 3. Clorofila *a* (Clo *a*), clorofila *b* (Clo *b*), clorofila total (Clo T), taxas fotossintéticas (*A*), transpiratória (*E*), condutância estomática (g_s), relação entre a concentração interna e externa de CO₂ (*Ci/Ca*) e eficiência da carboxilação (*A/Ci*) aos dois dias após a aplicação de herbicidas pós-emergência em plantas de soja.

F.V	Clo <i>a</i>	Clo <i>b</i>	Clo T	<i>A</i>	<i>E</i>	g_s	<i>Ci/Ca</i>	<i>A/Ci</i>
Trat.	0,37 ^{ns}	2,74 ^{ns}	0,30 ^{ns}	6,02 ^{**}	19,2 ^{**}	19,8 ^{**}	11,7 ^{**}	2,38 ^{ns}
Ausência	29,3±0,8a	6,4±0,4a	35,8±1,1a	23,6±2,2a	13,2±1,4a	1,2±0,1a	0,87±0,0a	0,07±0,0a
Cloransulam	29,6±1,3a	6,4±0,8a	36,0±2,0a	21,0±2,7b	10,0±2,3b	0,7±0,2c	0,83±0,0b	0,06±0,0a
Lactofen	29,2±1,0a	6,9±0,6a	36,2±1,4a	23,1±1,6a	12,2±1,2a	1,0±0,1b	0,86±0,0a	0,07±0,0a
CV (%)	3,38	10,91	4,45	9,59	12,11	17,71	2,83	10,04

^{**}; ^{*}Significativo a 1 e 5% de probabilidade, ^{ns} não significativo. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

Aos 10 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas foram realizadas avaliações fisiológicas com o propósito de verificar o efeito do bioestimulante nas plantas de soja bem como o potencial do mesmo em reverter as injúrias causadas pela aplicação do lactofen e cloransulam, e foram realizadas avaliações de acordo com o fatorial entre herbicidas e bioestimulante. Não foram constatadas diferenças estatísticas para Clo *b*, porém para Clo *a* e Clo total observou diferença entre os fatores isolados herbicida e DAA dos bioestimulantes, tanto para Clo *a* e para Clo total aos 6 DAA maiores valores foram observados, e quando verificado o fator isolado herbicidas, ambos os herbicidas diminuiram essas variáveis em comparação às plantas sem aplicação (MS-Tab.04; Figura 02 A, B, C e D).

Para a taxa de crescimento relativo observou menores valores em plantas de soja com aplicação do herbicida cloransulam, já quando analisado os bioestimulantes, a ausência da aplicação e aos 3 DAA obtiveram maiores valores (Figura 02 E e F), em contrapartida, não foi evidenciado diferença significativa para a taxa de crescimento absoluto e taxa de crescimento da cultura (MS-Tab.06). Os herbicidas inibidores de ALS, bloqueiam a síntese de valina, leucina e isoleucina *in vivo*, e a deficiência de aminoácidos de cadeia ramificada causaram a diminuição na síntese de proteínas que, por sua vez, poderia retardar a taxa de divisão celular, e eventualmente causar a morte da célula (Zhou *et al.*, 2007), justificando a redução na taxa de crescimento relativo encontrada nesse estudo (Figura 02 E).

Foi confirmada interação significativa no fatorial para as variáveis A , A/Ci , F_v/F_m , DI_o/RC , ABS/RC e TR_o/RC , sendo que, apenas para Ci/Ca não obteve diferença significativa (MS-Tab.05; Figura 03). Quando analisado a interação no fator herbicida a taxa fotossintética diminuiu para as plantas de soja submetidas a ambos os herbicidas e a aplicação do bioestimulante aos 3 DAA (Fig. 03 A). Entretanto, quando analisado o fator bioestimulante com aplicação aos 6 DAA, mesmo na presença dos herbicidas, manteve similar a A das plantas sem aplicação do herbicida (Fig. 03 A), mostrando a importância de conhecer o momento correto para aplicação do bioestimulante. Adicionalmente os resultados da A/Ci (Fig. 03 B) foram semelhantes ao encontrado para A .

Neste trabalho, foi aplicado o bioestimulante Megafol® no 6º dia e foi avaliado a fisiologia das plantas novamente aos 10 DAA dos herbicidas, e verificou valores de taxa fotossintética (A) e eficiência da carboxilação (A/Ci) similares as plantas sem aplicação dos herbicidas. A A/Ci está diretamente relacionada com a taxa de assimilação e a concentração interna de carbono, e essa manutenção pode ser em função da disponibilidade de ATP e NADPH e do substrato para a RuBisco, acarretando maior assimilação de CO_2 e conversão em açúcares para o desenvolvimento das plantas (da Costa *et al.*, 2020). Essa constatação é de extrema importância, pois como relatado anteriormente os herbicidas aplicados sem os bioestimulantes influenciaram na fisiologia das plantas. Isso ocorreu pois o tratamento com herbicidas lactofen leva à inibição da enzima Protox, que causa diminuição da síntese de clorofila (Ferreira *et al.*, 2010), e o herbicida cloransulam dificulta a síntese de aminoácidos de cadeia ramificada, por sua vez afetando a síntese de proteínas e inibindo o crescimento da planta (Chen *et al.*, 2021).

Com a aplicação do bioestimulante Megafol® aos 6 DAA do herbicida, além da manutenção da A , maiores valores de clorofila a e total também foram observados em relação a ausência da aplicação do bioestimulante. Embora sua composição seja reservada, o bioestimulante Megafol® contém a mistura de aminoácidos (prolina e triptofano), glicosídeos, polissacarídeos, nitrogênio orgânico e carbono (Petrozza *et al.*, 2014), respondendo a esses resultados.

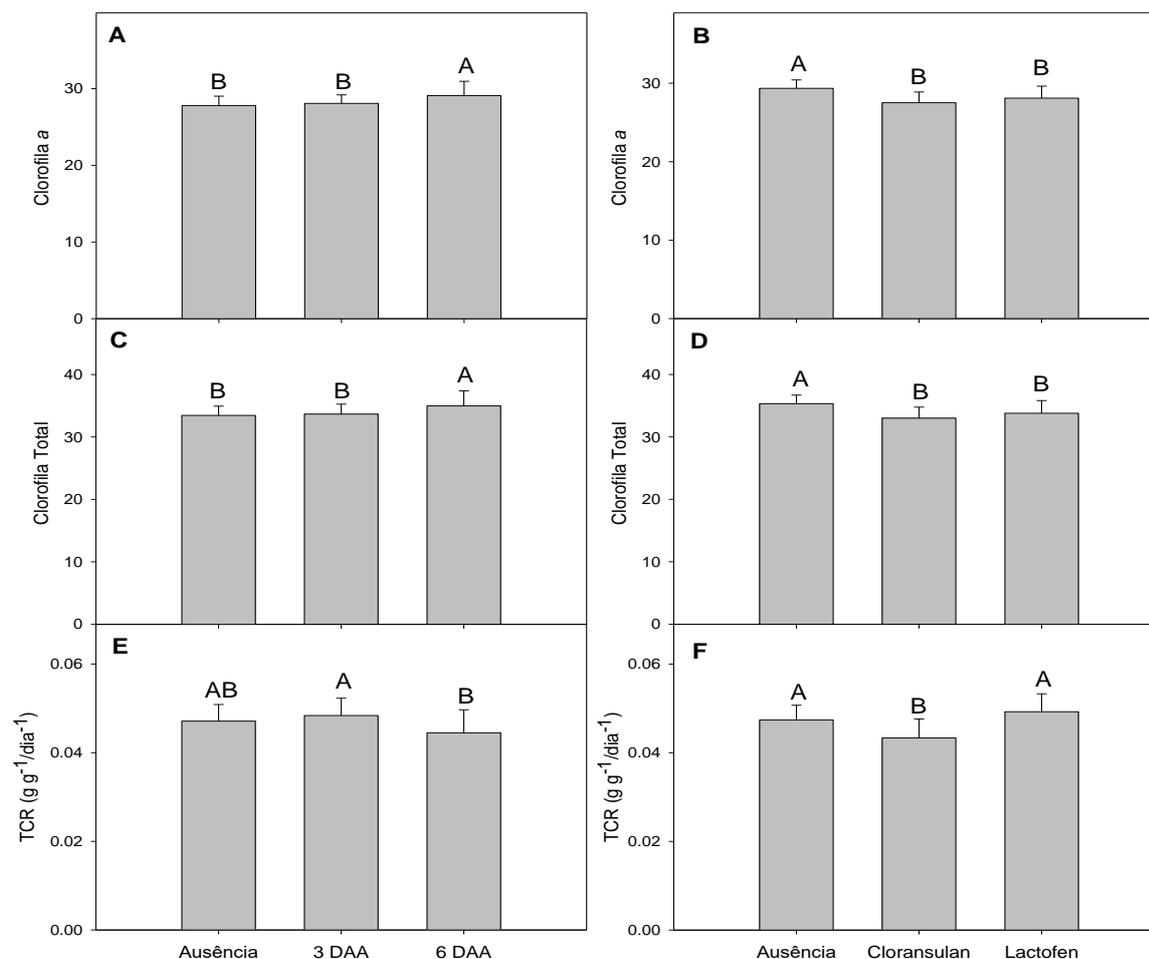


Figura 02. Clorofila *a* (A, B), clorofila total (C, D) e taxa de crescimento relativo (TCR - E, F) em plantas de soja aos dez dias após a aplicação de herbicidas em pós-emergência, na safra 2020/21. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

A avaliação da fluorescência transiente da clorofila permite averiguar uma cascata de energia que inicia com a absorção da luz pelos pigmentos antena e termina com a redução dos aceptores finais de elétrons durante o processo fotossintético (Yusuf *et al.*, 2010). No presente estudo o *Fv/Fm* diminuiu quando aplicado somente o herbicida cloransulam em comparação as plantas sem aplicação de herbicidas, e quando aplicado o bioestimulante aos 3 DAA decréscimo também foi verificado para o herbicida lactofen em relação as plantas sem aplicação e com aplicação do cloransulan (Fig. 03 C). Sem a aplicação do bioestimulante para as variáveis ABS/RC e TRo/RC maiores valores foram para as plantas com a aplicação do cloransulam, já com a aplicação do bioestimulante aos 3 DAA o herbicida lactofen apresentou maiores médias para as variáveis fluxo de energia dissipada por centro de reação ativo, fluxo de energia absorvida por centro de reação ativo e fluxo de captura de energia por centro de

reação (Fig. 03 D). Do mesmo modo, para essas mesmas variáveis quando comparados os herbicidas entre a ausência e presença do bioestimulantes aplicados em diferentes dias, somente as plantas com aplicação do herbicida cloransulam apresentaram menores valores com a presença do bioestimulante (Fig. 03 D).

Isso é necessário, pois a regulação dos complexos coletores de luz equilibra a absorção e utilização de energia luminosa, minimizando potenciais danos foto-oxidativos (Ort *et al.*, 2011). Essa característica é possível pois é conhecido que o Megafol® é um bioestimulante à base de um extrato vegetal que contém betaína em sua composição, e é conhecido na literatura que os solutos compatíveis que se acumulam nas plantas também podem atuar como osmorreguladores e antioxidantes para minimizar o impacto do estresse abiótico (Calvo *et al.*, 2014; Petrozza *et al.*, 2014; Sofy *et al.*, 2020). Em estudo com a aplicação do bioestimulante Megafol® em plantas de milho, redução no nível de peroxidação lipídica diante da aplicação do herbicida foi relatado, e a indução de enzimas antioxidantes específicas explica a maior capacidade das plantas bioestimuladas de lidar com perturbações oxidativas causadas pelo estresse (Panfili *et al.*, 2019). Além disso, estudos realizados por Petrozza *et al.* (2014) demonstraram que tomateiros bioestimulados com o Megafol® e estresse hídrico simultaneamente, apresentaram maior biomassa e teor de clorofila, isso foi explicado diante da indução de genes específicos tipicamente envolvidos nas respostas ao estresse.

Esses relatos confirmam o encontrado no presente estudo, em que mesmo com a aplicação dos herbicidas o bioestimulante atuou minimizando o efeito deletério em plantas de soja, sendo que essa ação estimuladora permitiu que as plantas lidassem melhor com as injúrias causadas pelo herbicida e alcançassem melhor desenvolvimento fisiológico. Até o momento, pouca atenção tem sido dada ao uso de bioestimulantes para aumentar a tolerância das culturas aos herbicidas. E, outro ponto importante que merece relevância e ser levado em consideração é o dia de aplicação do bioestimulante após a aplicação do herbicida, que conforme os resultados no 6º dia melhora a fisiologia, número de grãos por planta e produtividade foi observado. De fato, a possibilidade de estimular ou evitar perdas como encontrado nas amostras tratadas apenas com o herbicida indica a desintoxicação mais rápida e eficiente do composto xenobiótico em plantas bioestimuladas. Em estudos com plantas de soja, submetidos a aplicação do herbicida glyphosate e ao bioestimulante Megafol® proporcionaram maiores incrementos na produtividade no estágio de cinco trifólios desenvolvidos, e o emprego adequado desses produtos, principalmente no que se refere ao

estádio de aplicação e associação com defensivos foi de fundamental importância (De Andrade *et al.*, 2018a).

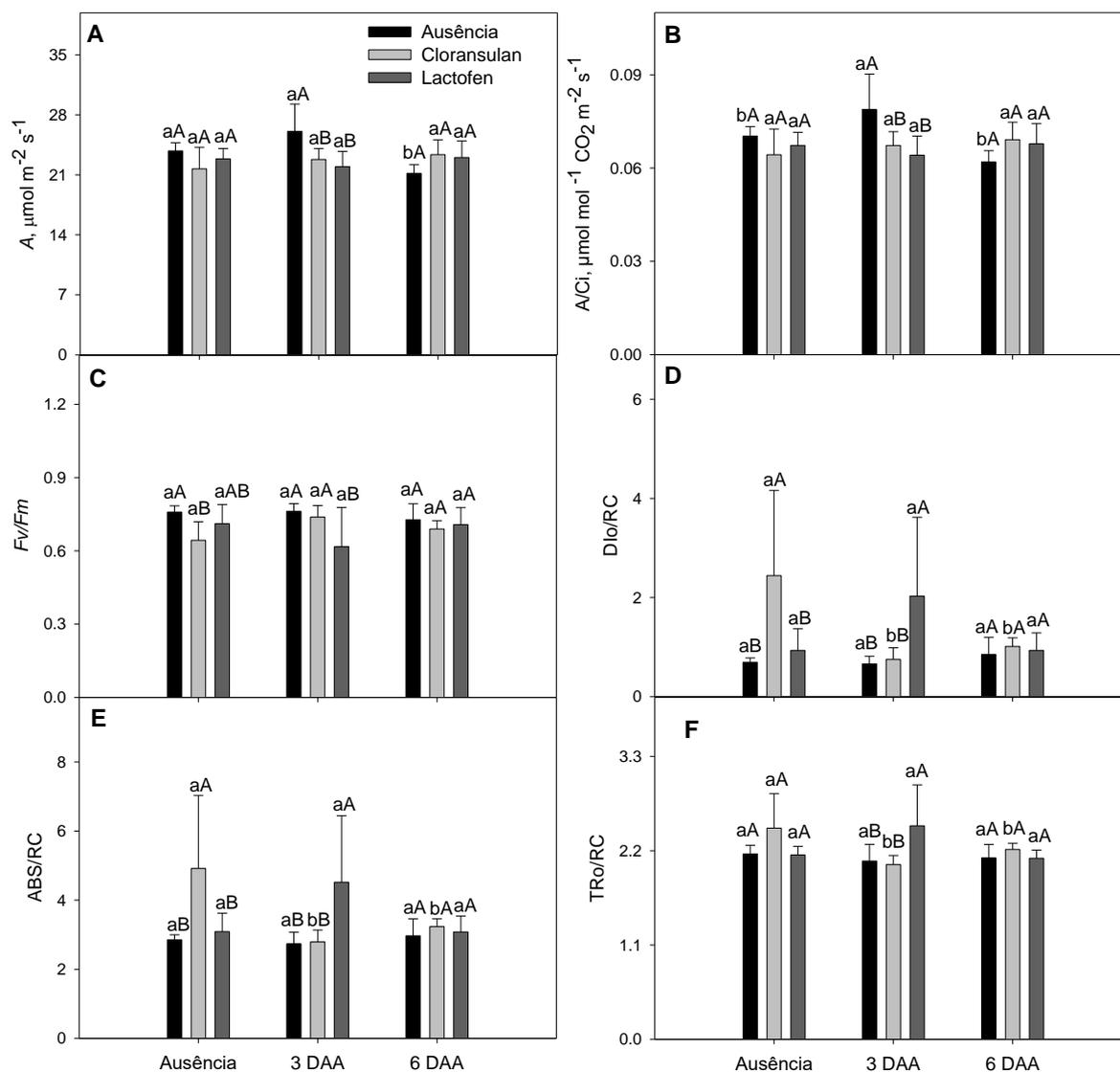


Figura 3. Taxa fotossintética (A_i , A), eficiência da carboxilação (A/C_i , B), rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m , C), fluxo de energia dissipada por centro de reação ativo (D_{I0}/RC , D), fluxo de energia absorvida por centro de reação ativo (ABS/RC , E) e fluxo de captura de energia por centro de reação (TRo/RC , F) em plantas de soja aos dez dias após a aplicação de herbicidas em pós-emergência, na safra 2020/21. Letras minúsculas comparam herbicidas entre bioestimulante e maiúscula comparam herbicidas dentro do bioestimulante pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

Não ocorreu interação para as variáveis g_s , E , PI_{ABS} e IAF , somente para o fator isolado herbicida. A aplicação do herbicida lactofen diminuiu a g_s e E em plantas de soja, em

comparação com as plantas sem aplicação e com aplicação do herbicida cloransulan (Fig. 04 A e B). Em contrapartida, a ausência da aplicação do herbicida manteve maiores valores do PI_{ABS} e do IAF em relação com as plantas com aplicação do herbicida (Fig. 04 C e D).

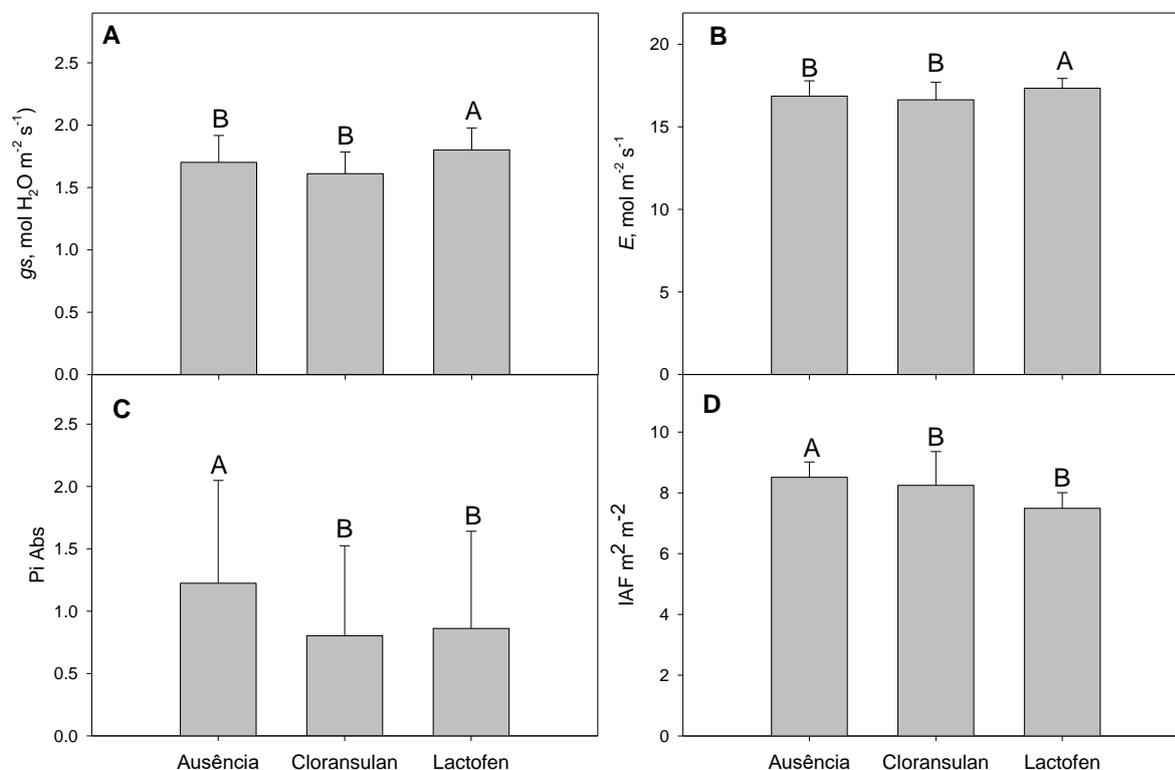


Figura 4. Condutâncias estomática (g_s , A), transpiratória (E , B), índice de desempenho na base de absorção (PI_{ABS} , C) e índice de área foliar (IAF, D) em plantas de soja aos dez dias após a aplicação de herbicidas em pós-emergência, na safra 2020/21. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), a radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFAi) e a eficiência de interceptação (E_i) foi avaliado em quatro momentos com intervalos de sete dias, iniciando aos dez dias após a aplicação do herbicida, e somente o NDVI aos 10 e 14 DAA e o E_i aos 10 DAA diferiu significativamente para o efeito isolado herbicida (MS-Tab.07; Fig. 05). Para o NDVI aos 14 DAA os menores valores foram para as plantas aplicadas com ambos os herbicidas e o E_i aos 10 DAA e NDVI aos 10 DAA diminuiu somente para as plantas com a aplicação do herbicida lactofen em comparação com a ausência e o herbicida cloransulan (Fig. 05).

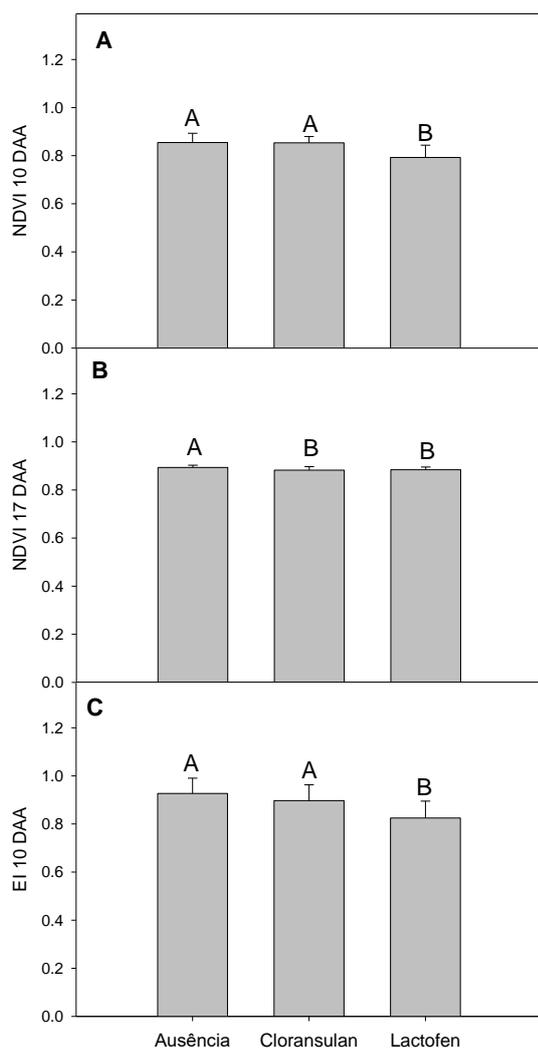


Figura 5. Índice de vegetação por diferença normalizada 10 DAA (NDVI 10 DAA, A), índice de vegetação por diferença normalizada aos 17 DAA (NDVI 17 DAA, B) e eficiência de interceptação aos 10 DAA (EI 10 DAA, C) em plantas de soja aos dez dias após a aplicação de herbicidas em pós-emergência, na safra 2020/21. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

Interação foi evidente para a razão da área foliar (RAF), e a presença do bioestimulante aos 6 DAA diminuiu a RAF sem aplicação de herbicidas (Fig. 06 A). Já na ausência de bioestimulantes somente sem aplicação de herbicidas tiveram maior RAF, além disso a RAF aos 3 DAA da aplicação do bioestimulante diminuiu somente com a aplicação do herbicida lactofen (Fig. 06 A). No presente estudo não foi observado diferença significativa para as variáveis população de plantas, peso de mil grãos, índice de colheita e a produtividade por planta (MS-Tab. 8). Entretanto, para o número de grãos por planta (NGP) e número de

vagens por planta (NVP) foi observado interação entre o herbicida e o bioestimulante (MS-Tab.08; Fig. 06 B e C).

Quando verificado o NGP diante da aplicação do herbicida cloransulam, observa-se que sem a aplicação houve menores valores que as plantas submetidas aos bioestimulantes, e que o 6 DAA foi melhor em relação as plantas sem aplicação do bioestimulante (Fig. 06 B). Já para o herbicida lactofen o efeito foi contrário, pois somente sem a aplicação dos bioestimulante observou maiores valores de NGP (Fig. 06 B). Na ausência do bioestimulante o herbicida cloransulam diminuiu o NGP em comparação com o herbicida lactofen (Fig. 06 B). A interação foi observada para o NVP de acordo com a figura 06 C, em que a aplicação do bioestimulante em ambos os dias diminuiu o NVP em comparação com a ausência e quando em conjunto foi aplicado o herbicida lactofen, além disso aos 3 DAA menores valores de NVP também foram observados para as plantas com a aplicação do herbicida lactofen.

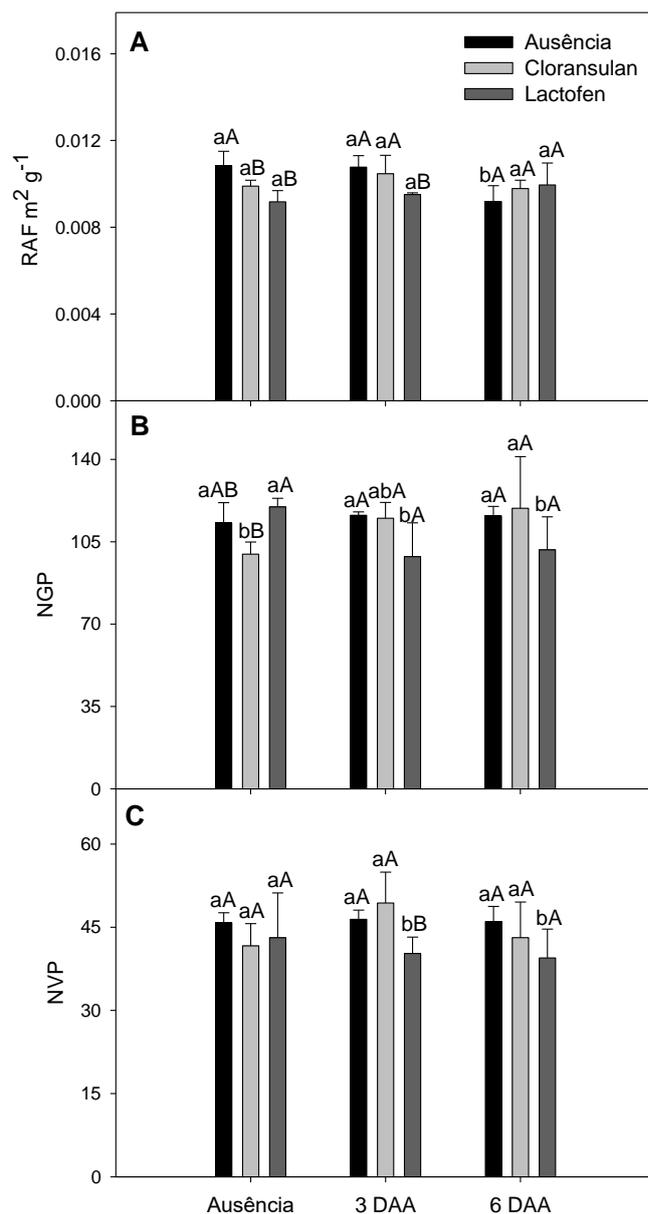


Figura 6. Razão da área foliar (RAF, A), número de grãos por planta (NGP, B), número de vagens por planta (NVP, C) e em plantas de soja aos dez dias após a aplicação de herbicidas em pós-emergência, na safra 2020/21. Letras minúsculas comparam herbicidas entre bioestimulante e maiúscula comparam herbicidas dentro do bioestimulante pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

Ocorreu diferença significativa somente para o efeito bioestimulantes nas variáveis produtividade e taxa assimilatória líquida (TAL), em que maiores valores de produtividade foram evidentes aos 6 DAA em comparação com os 3 DAA e ausência de aplicação do bioestimulante (Fig. 07 A), já a TAL foi maior somente na ausência do bioestimulante (Fig. 07 B).

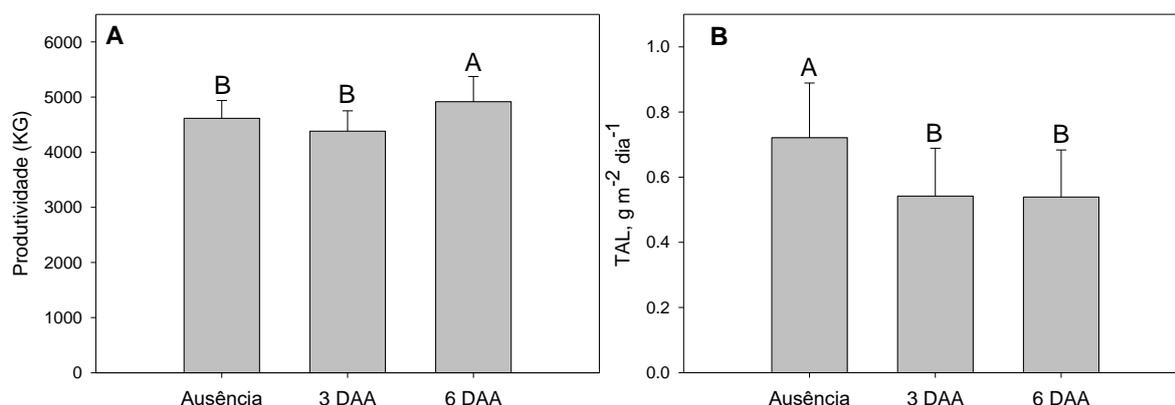


Figura 7. Produtividade (A) e taxa assimilatória líquida (TAL, B) em plantas de soja aos dez dias após a aplicação de herbicidas em pós-emergência, na safra 2020/2021. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

Mediante a análise dos dados foi possível constatar que o teste de tetrazólio – vigor (TZ-VG), germinação (GER) e envelhecimento acelerado (EA) foram influenciados pela aplicação do bioestimulante (Fig. 8 A, C, E). Por outro lado, quando se analisa o efeito dos herbicidas na qualidade fisiológica das sementes de soja, observa-se que sua aplicação não proporcionou efeitos significativos apenas para as variáveis dano por umidade (DU), dano mecânico (DM) e teste de hipoclorito (HP) (Fig. 8 e 9). Adicionalmente os resultados de nenhuma das variáveis analisadas foram dependentes da interação entre os herbicidas e as aplicações de bioestimulante.

A aplicação do bioestimulante aos 3 e 6 dias após a aplicação dos herbicidas proporcionou incrementos no teste de tetrazólio vigor (TZ-VG) (Fig. 8A) e na porcentagem da germinação padrão (GER) (Fig. 8C). Por outro lado, a aplicação do bioestimulante aos 3 dias após a aplicação dos herbicidas proporcionou incrementos apenas na germinação submetida ao envelhecimento acelerado (EA) (Fig. 8E). O bioestimulante em questão possui em sua composição micronutrientes, como o ferro, cobre, zinco e manganês que atuam como ativadores enzimáticos que incrementam a atividade metabólica da planta (De Andrade *et al.*, 2018), portanto estas substâncias têm sido recomendadas para aumentar a produtividade da soja (Prieto *et al.*, 2017). No entanto por meio deste estudo pode-se sugerir que o efeito residual de sua aplicação, em estágio vegetativo da cultura, contribuiu fortemente para a manutenção de características de interesse nos campos de produção de sementes de soja.

Dessa forma, o incremento no vigor e na germinação das sementes características desejáveis, visto que vigor da semente é um parâmetro importante dentro de um sistema de produção, em função de expressar a capacidade da semente em originar plântulas normais e uniformes em condições adversas (Rodrigues *et al.*, 2020). Adicionalmente, é importante destacar que o bioestimulante não interferiu nos variáveis matéria seca germinação (MS-GER) e matéria seca envelhecimento acelerado (MS-EA). Dessa forma, os resultados deste estudo tornam-se muito reveladores visto que o uso do cloransulam e do lactofen, em estágio V₄ das plantas de soja, proporcionou reduções nos valores encontrados para o teste de tetrazólio – viabilidade (TZ- VIA), vigor (TZ-VG) (Fig. 8B, D) indicando o potencial destes herbicidas em reduzir a viabilidade e vigor das sementes de soja. Não era esperado que a aplicação de lactofen proporcionasse tantos efeitos negativos aos parâmetros fisiológicos das sementes, afinal herbicidas inibidores da PROTOX por serem ácidos fracos, em sua maioria são pouco solúveis em água e com baixa mobilidade na planta (Carvalho, 2013), apresentando ação de contato. Por outro lado, o cloransulam por ser um produto sistêmico possui alta mobilidade na planta pode apresentar efeito residual mais prolongado (Ferreira *et al.*, 2007), induzindo a sensibilidade da soja a esses herbicidas na fase vegetativa perdurando até a fase reprodutiva. Este resultado é corroborado por Albrecht e Ávila (2010), avaliando a aplicação de glyphosate em pós-emergência também identificou influência negativa sobre a qualidade de sementes de soja. Adicionalmente a aplicação de cloransulam e lactofen proporcionou reduções na porcentagem de germinação (GER, Fig. 8 D). Neste caso a aplicação de cloransulam e lactofen reduções de 3,79 e 3,17% respectivamente, na capacidade germinativa das sementes. É válido destacar que a capacidade germinativa das sementes pode influenciar diretamente no estande de plantas e no custo de implantação da cultura fazendo com que o produtor busque sementes com o maior potencial de germinação possível.

Ademais, é muito comum nas áreas de cultivo de soja, sementes serem armazenadas de um ano a outro, dessa forma, o teste de envelhecimento acelerado tenta reproduzir o cenário de perda de vigor por tempo de armazenamento (Oliveira *et al.*, 2014; Vasconcelos *et al.*, 2012). Para o teste de envelhecimento acelerado (EA, Fig. 8F) foi possível constatar que a aplicação do cloransulam e lactofen proporcionaram reduções nos valores desse parâmetro, neste caso nota-se que em sementes que passaram pelo processo de envelhecimento a redução foi de 4,44 e 2,82% para cloransulam e lactofen respectivamente. As doses empregadas neste trabalho seguiram as recomendações de bula, no entanto é importante destacar que o aumento destas doses em campo pode proporcionar efeitos negativos na qualidade das sementes. A exemplo disto Timossi *et al.*, (2020), avaliando a fitotoxicidade de herbicidas inibidores da

ALS em feijão, foi constatado níveis elevados do herbicida ocasionou a fitotoxicidade às plantas, portanto um dos critérios a serem avaliados é a dosagem.

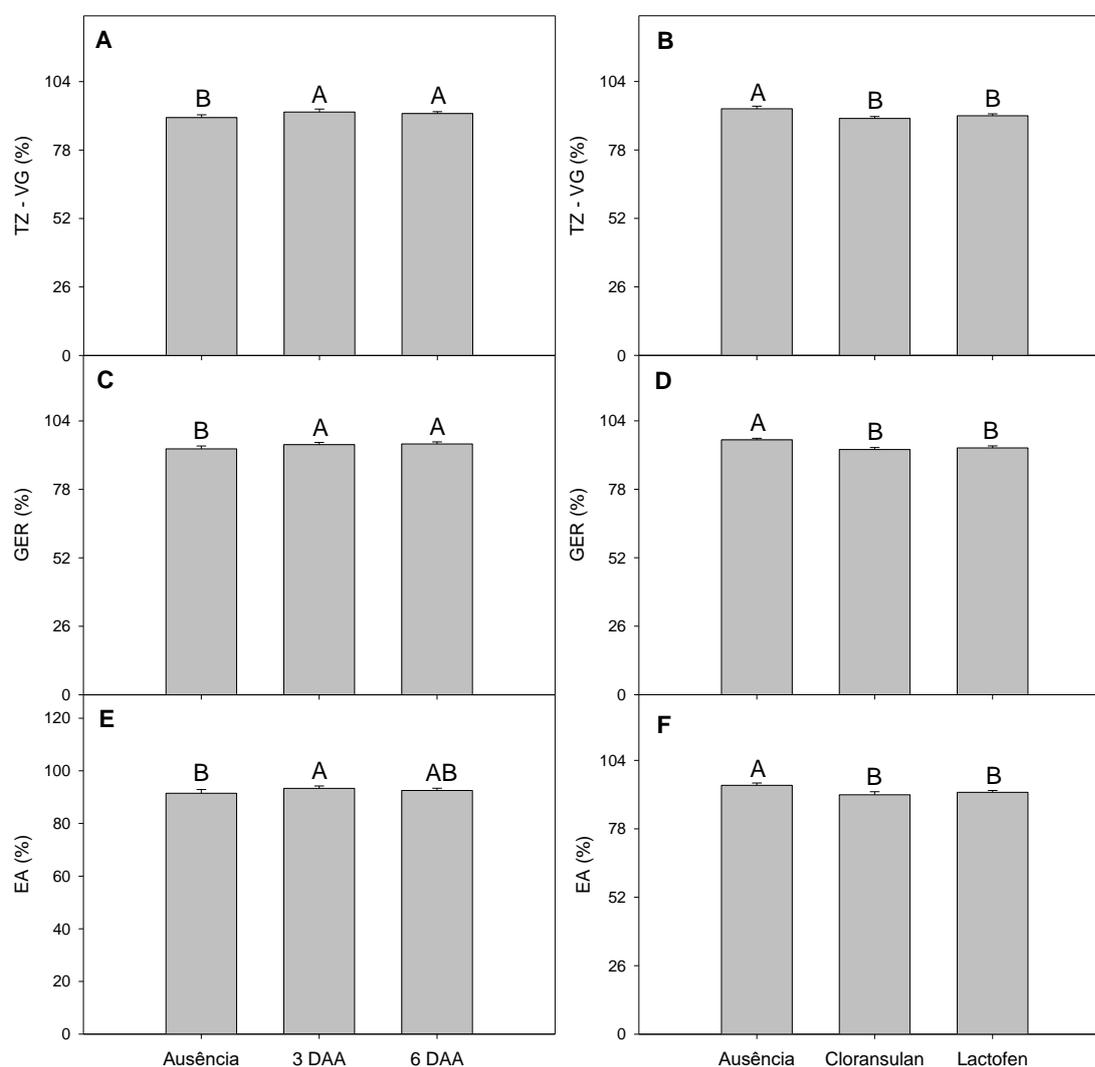


Figura 8. Teste de tetrazólio vigor (TZ–VG, A e B), testes de germinação (GER, C e D) e envelhecimento acelerado (EA, E e F), em função dos diferentes tratamentos, na safra 2020/21. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

As plantas de soja por ser uma espécie anual, de ciclo relativamente curto variando entre 90 e 150 dias, pode ser muito influenciada por fatores abióticos, assim como o efeito residual de herbicidas, causando estresse (Gonçalves *et al.*, 2018) levando à redução do crescimento, da produtividade e da qualidade dos produtos colhidos (Dan *et al.*, 2012). Neste caso foi possível constatar que a aplicação de cloransulam e lactofen proporcionou reduções nos valores das características das variáveis teste de tetrazólio viabilidade (TZ-VIA, Fig. 9 A),

matéria seca germinação (MS-GER, Fig. 9 B), matéria seca envelhecimento acelerado (MS-EA, Fig. 9 C) e matéria seca canteiro (MS-CA, Fig. 9 D).

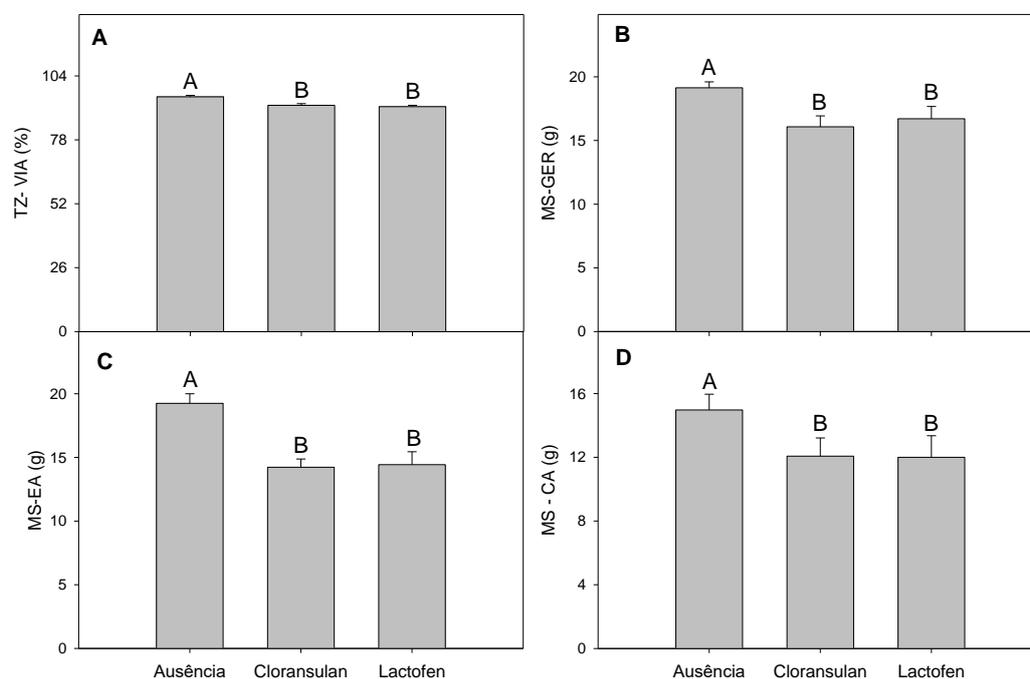


Figura 9. Teste de tetrazólio viabilidade (TZ-VIA, A), matéria seca germinação (MS-GER, B), matéria seca envelhecimento acelerado (MS-EA, C) e matéria seca canteiro (MS-CA, D) em função dos diferentes tratamentos, na safra 2020/21. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

A viabilidade de um lote de sementes é expressa em termos de percentagem de sementes vivas capazes de germinar. Dessa forma, o uso de cloransulam e lactofen reduziu em 3 e 4% na capacidade destas sementes em germinar (TZ-VIA, Fig. 9 A). Muitas vezes, ela é semelhante a germinação, por isto o teste padrão de germinação pode ser utilizado para ambas as determinações. Entretanto, cabe lembrar que nem toda semente viável irá germinar, visto que em termos fisiológicos, germinação é definida como o processo que inicia com a absorção de água, até a protusão da raiz primária através do tegumento da semente, dessa forma este ato depende substratos a serem usados para cada espécie, temperatura de incubação, necessidade de luz e períodos das contagens (Gallardo *et al.*, 2001). Adicionalmente observa-se que o uso de cloransulam e lactofen proporcionou reduções de 16 e 12% na matéria seca da germinação, respectivamente (MS-GER, Fig. 9 B). Já para a matéria seca da germinação com envelhecimento acelerado este resultado foi ainda mais evidente,

neste caso constatou-se redução de 26% no valor da característica com o uso de ambos os herbicidas (MS-EA, Fig. 9 C) e reduções de 19 e 20% na matéria seca em canteiro (MS-CA, D) mostrando que ambos os herbicidas têm grande potencial de efeito residual nas sementes (Petter *et al.*, 2011). Adicionalmente é importante destacar que o parâmetro matéria seca, é de suma importância, uma vez que seu acúmulo está relacionado diretamente a deposição de componentes essenciais as plantas como nutrientes minerais.

Muito embora os efeitos destes herbicidas ainda não estejam completamente elucidados é possível notar que apesar da semelhança estatística entre os herbicidas o lactofen apontou maiores percentuais na redução dos valores das características viabilidade, matéria seca germinação e matéria seca envelhecimento acelerado. Isso pode ser atribuído a ação do lactofen na oxidação de lipídeos e proteínas, resultando na perda da clorofila e carotenoides e no rompimento das membranas, fazendo com que as organelas se desidratem e desintegrem rapidamente (Oliveira Jr. *et al.*, 2011), essa lixiviação de substâncias das organelas faz com que as sementes percam reservas e conseqüentemente tenham suas características fisiológicas comprometidas.

Para os testes de emergência em canteiro de areis nota-se que o uso do bioestimulante não proporcionou efeitos significativos para a característica em todos os momentos avaliados. Por outro lado, o uso de cloransulam e lactofen reduziu a emergência das plântulas de soja em canteiro aos 6 dias (CA-6, Fig. 10 A) e 12 dias (CA-12, Fig. 10 B). Muitas vezes os danos causados pelos herbicidas não são visíveis e o tempo de avaliação não é suficiente para que se constate intoxicação da cultura pelo produto aplicado (Ferreira *et al.*, 2015), e este estudo mostra que a intoxicação e o estresse obtidos por essas plantas foram sinalizados posteriormente em suas sementes.

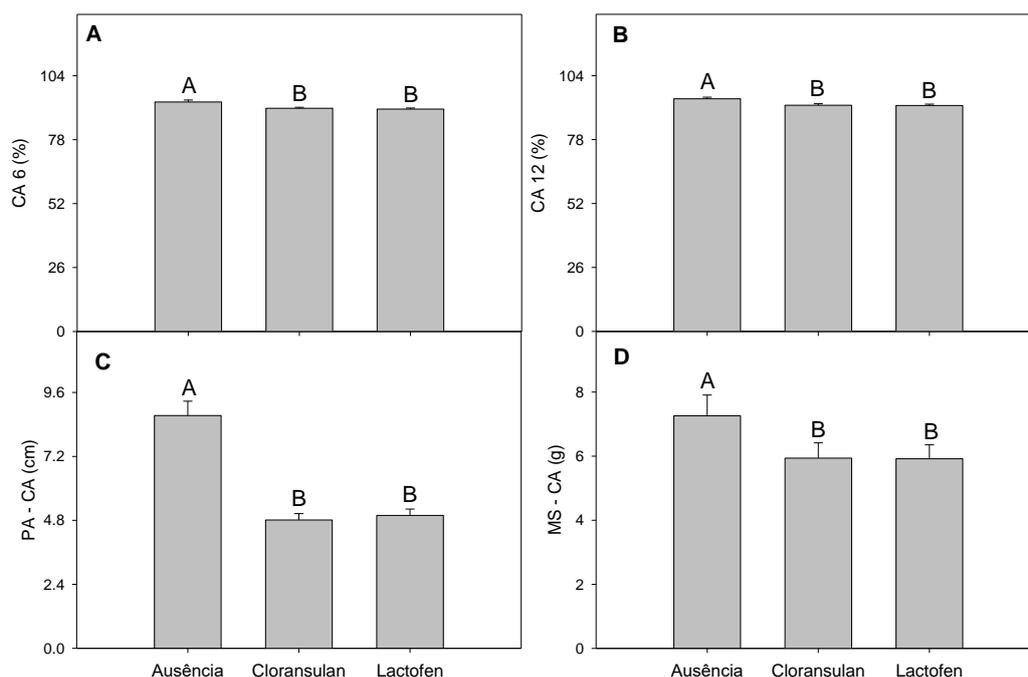


Figura 10. Teste emergência em canteiro 6 dias (CA-6, A), emergência em canteiro 12 dias (CA-12, B), comprimento parte aérea canteiro (PA-CA, C) e comprimento parte radicular canteiro (PR-CA, D) em função dos diferentes tratamentos, na safra 2020/21. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

A avaliação da emergência em canteiro aos 6 dias (CA-6) arremete a análise de vigor e irá refletir a emergência uniforme do estande. Sementes com menores valores de vigor podem estar sujeitas a redução da velocidade de emergência, menor produção de biomassa seca e taxas de crescimento de plântulas (Delarmelino-Ferraresi *et al.*, 2014). Dessa forma, o resultado encontrado para (CA-6) corrobora o encontrado neste trabalho, e os tratamentos que obtiveram menores valores para CA-6 também obtiveram os e menores comprimentos de parte aérea (PA-CA, Fig. 10 C) e parte radicular (PR-CA, Fig. 10 D) da emergência em canteiro. Em emergência em canteiro aos 12 dias (CA-12) assim como (CA-6), a presença de herbicidas nos tratamentos reduz a emergência das plântulas, entre todos os testes avaliados o de emergência em canteiro é considerado peça-chave dentro de um controle de qualidade de sementes, este teste costuma ser considerado um teste de referência, porque é o teste que mais se aproxima da realidade a campo, é o teste que é realizado mais próximo a expedição das sementes.

Como se pode notar, o uso de herbicidas tanto de contato como sistêmico, podem gerar respostas de estresse nas plantas e ocasionar queda de produção e gerar sementes com qualidade fisiológica inferiores. Plantas que sofreram injúrias no período vegetativo podem expressar essa resposta até a fase maturação, pois esses danos podem ter sido a nível celular e planta não conseguiu fazer esse alto reparo. Portanto a ausência de injúrias visuais não é suficiente para determinar sua tolerância a esse produto, requerendo uma avaliação mais detalhada (Costa *et al.*, 2012).

Por outro lado, o efeito do bioestimulantes foi mais discreto, entretanto é possível constatar que em determinadas condições os bioestimulantes derivados de *Ascophyllum nodosum* tem a capacidade de promoverem incrementos benéficos nas características agronômicas da soja. Melo *et al.* (2021), analisando bioestimulante semelhante ao utilizado neste estudo, observaram que o bioestimulante beneficia culturas desde os estádios iniciais, como aumento de vigor e maior capacidade e velocidade de emergência de plântulas.

Dessa forma, é importante conduzir campos livre de interferências visto que vigor da semente é um parâmetro importante dentro de um sistema de produção, em função de expressar a capacidade da semente em originar plântulas normais e uniformes em condições adversas (Rodrigues *et al.*, 2020). Pode-se notar que a aplicação dos herbicidas afetou diretamente as características de qualidade fisiológica das sementes avaliadas, sendo um fato de grande relevância pensando no fator produtividade.

5.4. CONCLUSÕES

Em conclusão, este estudo abre a perspectiva do uso de bioestimulantes específicos para aumentar a resistência das culturas a herbicidas pós-emergentes amplamente utilizados. O efeito benéfico do bioestimulante Megafol[®] na fisiologia das plantas, refletindo na produtividade foi relatado em plantas de soja submetidas a aplicação dos herbicidas cloransulam e lactofen. Por esta razão, o uso de bioestimulantes, além das conhecidas melhorias do metabolismo, utilização de nutrientes e tolerância a alguns estresses, pode ser visto como ferramenta para aumentar a tolerância das culturas a herbicidas. Além disso, destacando que a aplicação do bioestimulante Megafol[®] no sexto dia melhorou a taxa fotossintética, produtividade e o número de grãos por planta em comparação com a ausência de aplicação e ao 3 DAA, sendo um resultado importante, entender o tempo certo da aplicação do bioestimulante acarretará resultados promissores. Além disso, a aplicação de cloransulam e lactofen no estágio vegetativo da cultura da soja proporciona danos morfofisiológicos nas

sementes de soja, influenciando na qualidade final dessas sementes e a aplicação de bioestimulante não proporcionou efeito reparador as injúrias causadas pelos herbicidas. Por outro lado, a aplicação de bioestimulante em ambos os momentos proporcionou incrementos ao vigor e ao percentual de germinação.

5.5. REFERÊNCIAS

- Albrecht, L. P., & Ávila, M. R. (2010). Manejo de glyphosate em soja RR ea qualidade das sementes. *Inf. Abrates*, 20(2), 45-54.
- Alla, M. N., Badawi, A. M., Hassan, N. M., El-Bastawisy, Z. M., & Badran, E. G. (2008). Effect of metribuzin, butachlor and chlorimuron-ethyl on amino acid and protein formation in wheat and maize seedlings. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 90(1), 8-18.
- Altman, J. (2018). Interações de pesticidas na produção agrícola: efeitos benéficos e deletérios; CRC Press: Boca Raton, FL, EUA.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. D. M., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728.
- Bartucca, M. L., Di Michele, A., & Del Buono, D. (2018). Interference of three herbicides on iron acquisition in maize plants. *Chemosphere*, 206, 424-431.
- Boulahia, K., Carol, P., Planchais, S., & Abrous-Belbachir, O. (2016). Phaseolus vulgaris L. seedlings exposed to prometryn herbicide contaminated soil trigger an oxidative stress response. *Journal of agricultural and food chemistry*, 64(16), 3150-3160.
- Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and soil*, 383(1), 3-41.
- Carvalho, L. B. (2013). Herbicidas, Lages, SC, vi, 62 p.
- Costa, E. M., Almeida, D. P., Pereira, L. S., Ventura, M. V. A., Baliza, L. M., & Jakelaitis, A. (2020). Bioestimulante e fertilizante foliar na redução de injúrias em plantas de soja causadas pelo 2,4-D. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 19(1).
- Da Costa, R. S., de Souza Silva, J., de Freitas Fonteles, A. K., da Silva, A. K. F., & Mesquita, R. O. (2020). Physiological responses of cowpea genotypes cultivated in rainfed on different phenological stages. *Revista Agro@ mbiente On-line*, 14.
- Da Silva, E. H. F. M., Antolin, L. A. S., Zanon, A. J., Junior, A. S. A., de Souza, H. A., dos Santos Carvalho, K., ... & Marin, F. R. (2021). Impact assessment of soybean yield and

- water productivity in Brazil due to climate change. *European Journal of Agronomy*, 129, 126329.
- Dan, H. A., de Moraes Dan, L. G., de Lemos Barroso, A. L., de Oliveira Neto, A. M., & Guerra, N. (2012). Resíduos de herbicidas utilizados na cultura da soja sobre o milho cultivado em sucessão. *Revista Caatinga*, 25(1), 86-91.
- De Andrade, C. L. L., Barroso, A. L. L., Rosa, M., Gonçalo, T. P., & Rodrigues, R. L. S. (2018b). Uso de bioestimulante na reversão de injúria de glyphosate no milho convencional. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 17(4), 593-1.
- De Andrade, C. L. L., da Silva, A. G., Braz, G. B. P., de Oliveira Junior, R. S., & Simon, G. A. (2020). Desempenho da soja submetida a aplicação de formulações de glyphosate em associação com bioestimulante. *Revista Caatinga*, 33(2), 371-383.
- De Andrade, C. L. L., da Silva, A. G., Melo, G. B., Ferreira, R. V., Moura, I. C. S., & Siqueira, G. G. (2018a). Bioestimulantes derivados de *Ascophyllum nodosum* associados ao glyphosate nas características agrônômicas da soja RR. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 17(3), 592-1.
- Del Buono, D. (2021). Can biostimulants be used to mitigate the effect of anthropogenic climate change on agriculture? It is time to respond. *Science of the Total Environment*, 751, 141763.
- Del Buono, D., Astolfi, S., Mimmo, T., Bartucca, M. L., Celletti, S., Ciaffi, M., & Cesco, S. (2015). Effects of terbuthylazine on phytosiderophores release in iron deficient barley. *Environmental and Experimental Botany*, 116, 32-38.
- Delarmelino-Ferraresi, L. M., Villela, F. A., & Aumonde, T. Z. (2014). Desempenho fisiológico e composição química de sementes de soja. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 9(1), 14-18.
- Duan, W., Fan, P. G., Wang, L. J., Li, W. D., Yan, S. T., & Li, S. H. (2008). Photosynthetic response to low sink demand after fruit removal in relation to photoinhibition and photoprotection in peach trees. *Tree Physiology*, 28(1), 123-132.
- Duddu, H. S., Johnson, E. N., Willenborg, C. J., & Shirtliffe, S. J. (2019). High-throughput UAV image-based method is more precise than manual rating of herbicide tolerance. *Plant Phenomics*, 2019.
- Ferreira, A. D. B., Lamas, F. M., & Procópio, S. D. O. (2007). Sintomas de fitotoxidez de herbicidas no algodoeiro. *Embrapa Algodão-Circular Técnica (INFOTECA-E)*.
- Ferreira, D. F. (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e agrotecnologia*, 35, 1039-1042.

- Ferreira, E. A., de Matos, C. D. C., Barbosa, E. A., Silva, D. V., dos Santos, J. B., Pereira, G. A. M., ... & da Silva, C. T. (2015). Respostas fisiológicas da mandioca à aplicação de herbicidas. *Semina: Ciências Agrárias*, 36(2), 645-655.
- Ferreira, L. C., Cataneo, A. C., Remaeh, L. M. R., Corniani, N., de Fátima Fumis, T., de Souza, Y. A., ... & Soares, B. J. A. (2010). Nitric oxide reduces oxidative stress generated by lactofen in soybean plants. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 97(1), 47-54.
- Gallardo, K., Job, C., Groot, S. P., Puype, M., Demol, H., Vandekerckhove, J., & Job, D. (2001). Proteomic analysis of *Arabidopsis* seed germination and priming. *Plant physiology*, 126(2), 835-848.
- Gaston, S., Ribas-Carbo, M., Busquets, S., Berry, J. A., Zabalza, A., & Royuela, M. (2003). Changes in mitochondrial electron partitioning in response to herbicides inhibiting branched-chain amino acid biosynthesis in soybean. *Plant Physiology*, 133(3), 1351-1359.
- Gonçalves, F. A. R., Melo, C. A. D., de Queiroz, P. C., Endo, R. T., da Silva, D. V., & dos Reis, M. R. (2018). Atividade residual de herbicidas nas culturas do milho e da soja. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 61.
- Gupta, S., Kulkarni, M. G., White, J. F., Stirk, W. A., Papenfus, H. B., Doležal, K., ... & Van Staden, J. (2021). Categories of various plant biostimulants—mode of application and shelf-life. In *Biostimulants for Crops from Seed Germination to Plant Development* (pp. 1-60). Academic Press.
- Li, W. D., Duan, W., Fan, P. G., Yan, S. T., & Li, S. H. (2007). Photosynthesis in response to sink—source activity and in relation to end products and activities of metabolic enzymes in peach trees. *Tree physiology*, 27(9), 1307-1318.
- Melo, G. B., da Silva, A. G., Perin, A., Braz, G. B. P., & de Andrade, C. L. L. (2021). Tratamento de sementes com doses do bioestimulante à base de algas. *Brazilian Journal of Development*, 7(1), 1418-1431.
- Nadasy, E., Lehoczky, E., Lukacs, P., & Adam, P. (2000). Influence of different pre-emergent herbicides on the growth of soybean varieties. *Zeitschrift Fur Pflanzenkrankheiten Und Pflanzenschutz-Sonderheft*, 17, 635-640.
- Ntech Industries. (2008). Greenseeker Manuals. <http://www.ntechindustries.com/greenseeker-manual.html>.

- Oliveira Jr, R. S., Constantin, J., & Inoue, M. H. (2011). Biologia e manejo de plantas daninhas. *Curitiba, Brasil: Omnipax*.
- Oliveira, S. S. C. D., Martins, C. C., Cruz, S. J. S., & Silva, C. J. D. (2014). Seleção de progênies de nabo-forrageiro para germinação sob altas temperaturas. *Ciência Rural, 44*, 217-222.
- Ort, D. R., Zhu, X., & Melis, A. (2011). Optimizing antenna size to maximize photosynthetic efficiency. *Plant physiology, 155*(1), 79-85.
- Oxborough, K. (2004). Imaging of chlorophyll a fluorescence: theoretical and practical aspects of an emerging technique for the monitoring of photosynthetic performance. *Journal of Experimental Botany, 55*(400), 1195-1205.
- Panfili, I., Bartucca, M. L., Marrollo, G., Povero, G., & Del Buono, D. (2019). Application of a plant biostimulant to improve maize (*Zea mays*) tolerance to metolachlor. *Journal of agricultural and food chemistry, 67*(44), 12164-12171.
- Petrozza, A., Santaniello, A., Summerer, S., Di Tommaso, G., Di Tommaso, D., Paparelli, E., ... & Cellini, F. (2014). Physiological responses to Megafol® treatments in tomato plants under drought stress: a phenomic and molecular approach. *Scientia Horticulturae, 174*, 185-192.
- Petter, F. A., Zuffo, A. M., & Pacheco, L. P. (2011). Seletividade de herbicidas inibidores de ALS em diferentes estádios de desenvolvimento do arroz de terras altas. *Pesquisa Agropecuária Tropical, 41*, 408-414.
- Price, K. J., Li, X., Price, A. J., Browne, F., Balkcom, K., & Chen, C. Y. (2021). Evaluation of peanut tolerance to mid-season applications of PPO-Inhibitor herbicides mixed with different surfactants. *Crop Protection, 143*, 105557.
- Prieto, C. A., Alvarez, J. W. R., Figueredo, J. C. K., & Trinidad, S. A. (2017). Bioestimulante, biofertilizante e inoculação de sementes no crescimento e produtividade da soja. *Revista de Agricultura Neotropical, 4*(2), 1-8.
- Rodrigues, M. H. B. S., da Silva Santos, A., de Melo, E. N., da Silva, J. N., & Oliveira, C. J. A. (2020). Vigor de sementes: métodos para análise e fatores que o influenciam. *Meio Ambiente (Brasil), 2*(3).
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA special publication, 351*(1974), 309.
- Shang, N., Chen, L., Cheng, M., Tian, Y., & Huang, X. (2022). Biodegradation of diphenyl ether herbicide lactofen by *Bacillus* sp. YS-1 and characterization of two initial degrading esterases. *Science of the Total Environment, 806*, 151357.

- Sofy, M. R., Elhawat, N., & Alshaal, T. (2020). Glycine betaine counters salinity stress by maintaining high K⁺/Na⁺ ratio and antioxidant defense via limiting Na⁺ uptake in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 200, 110732.
- Soltani, N., Shropshire, C., & Sikkema, P. H. (2019). Sensitivity of dry bean to herbicides applied preplant for glyphosate-resistant horseweed control in a strip-tillage cropping system. *Weed Technology*, 33(1), 178-184.
- Teixeira, Paulo César, Donagemma, G. K., Fontana, A. Teixeira, W. G. (2017). Manual de métodos de análise de solo. Brasília: *Embrapa*: 573.
- Timossi, P. C., Gazarini, A. M., Queiroz, B. B. T., Gonçalves, D. C., Almeida, D. P., de Araújo, R. O. B., & Teixeira, I. R. (2020). Efeito residual de herbicidas auxínicos em soja. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 19(3), 699-1.
- Tripathy, B. C., Mohapatra, A., & Gupta, I. (2007). Impairment of the photosynthetic apparatus by oxidative stress induced by photosensitization reaction of protoporphyrin IX. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 1767(6), 860-868.
- Vasconcelos, E. S., Reis, M. S., Sediyaama, T., & Cruz, C. D. (2012). Estimativas de parâmetros genéticos da qualidade fisiológica de sementes de genótipos de soja produzidas em diferentes regiões de Minas Gerais. *Semina: Ciências Agrárias*, 33(1), 65-76.
- Wei, D. I. N. G., Cheng, Z., & Bo, T. A. O. (2010). Effect of chlorimuron-ethyl on biochemical mechanism in tolerant sugar beet. *Agricultural Sciences in China*, 9(12), 1771-1776.
- Wünsche, J. N., Greer, D. H., Laing, W. A., & Palmer, J. W. (2005). Physiological and biochemical leaf and tree responses to crop load in apple. *Tree Physiology*, 25(10), 1253-1263.
- Yusuf, M. A., Kumar, D., Rajwanshi, R., Strasser, R. J., Tsimilli-Michael, M., & Sarin, N. B. (2010). Overexpression of γ -tocopherol methyl transferase gene in transgenic Brassica juncea plants alleviates abiotic stress: physiological and chlorophyll a fluorescence measurements. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 1797(8), 1428-1438.
- Zhang, J., Lu, L., Chen, F., Chen, L., Yin, J., & Huang, X. (2018). Detoxification of diphenyl ether herbicide lactofen by *Bacillus* sp. Za and enantioselective characteristics of an esterase gene lacE. *Journal of hazardous materials*, 341, 336-345.

- Zhang, S., Zhang, C., Sun, F., Zhang, Z., Zhang, X., Pan, H., & Zhang, H. (2020). Glutathione-S-transferase (GST) catalyzes the degradation of Chlorimuron-ethyl by *Klebsiella jilinsis* 2N3. *Science of The Total Environment*, 729, 139075.
- Zhang, Y., Zhang, J., Shi, B., Li, B., Du, Z., Wang, J., & Wang, J. (2021). Effects of cloransulam-methyl and diclosulam on soil nitrogen and carbon cycle-related microorganisms. *Journal of Hazardous Materials*, 126395.
- Zhou, Q., Liu, W., Zhang, Y., & Liu, K. K. (2007). Action mechanisms of acetolactate synthase-inhibiting herbicides. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 89(2), 89-96.

5.6. MATERIAL SUPLEMENTAR

Tabela 04. Análise de variância referente a clorofila *a* (Clo *a*), clorofila *b* (Clo *b*), clorofila total (Clo *t*), rendimento quântico máximo do fotossistema II (*Fv/Fm*), fluxo de captura de energia por centro de reação (TRo/RC), Fluxo de energia dissipada por centro de reação ativo (DIO/RC), índice de desempenho na base de absorção (PI_{ABS}) e fluxo de energia absorvida por centro de reação ativo (ABS/RC) em plantas de soja aos dez dias após a aplicação de herbicidas em pós-emergência, na safra 2018/2019.

F.V	GL	Clo <i>a</i>	<i>a b</i>	lo <i>t</i>	<i>Fv/Fm</i>	TRo/RC	DIO/RC	PI _{ABS}	ABS/R
Bloco (B)	4	3,35 ^{ns}	.7 ^{ns}	10 ^{ns}	0,030**	0,13 ^{ns}	1,35 ^{ns}	4,48**	2,38 ^{ns}
Bioestimulante	2	6,83*	6 ^{ns}),10*	0,000 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,06 ^{ns}	1,03 ^{ns}
Herbicida (H)	2	13,23**	4 ^{ns}),75**	0,022*	0,07 ^{ns}	1,93 ^{ns}	0,78*	2,85 ^{ns}
Bio x H	4	1,79 ^{ns}	4 ^{ns}	31 ^{ns}	0,013*	0,20*	2,75*	0,56 ^{ns}	4,38*
CV (%)	-	4,23	6	63	9,29	11,19	76,70	47,92	31,86

**, *Significativo a 1 e 5% de probabilidade, ns não significativo.

Tabela 05. Análise de variância referente a taxa fotossintética (*A*), condutância estomática (*gs*), taxa transpiratória (*E*), relação entre a concentração interna e externa de CO₂ (*Ci/Ca*) e eficiência da carboxilação (*A/Ci*) em plantas de soja aos dez dias após a aplicação de herbicidas em pós-emergência, na safra 2018/2019.

F.V	GL	<i>A</i>	<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>Ci/Ca</i>	<i>A/Ci</i>
Bloco (B)	4	10,73*	0,15**	3,38**	0,00**	0,00*
Bioestimulante (Bio)	2	4,83 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Herbicida (H)	2	5,70 ^{ns}	0,13**	1,90*	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Bio x H	4	15,30**	0,06 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00*
CV(%)	-	8,23	9,01	4,37	0,97	9,55

**, *Significativo a 1 e 5% de probabilidade, ns não significativo.

Tabela 06. Análise de variância referente a índice de área foliar (IAF), razão da área foliar (RAF) taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa assimilatória líquida (TAL) e taxa de crescimento da cultura (TCC) em plantas de soja aos dez dias após a aplicação de herbicidas em pós-emergência, na safra 2018/2019.

F.V	GL	IAF	RAF	TCA	TCR	TAL	TCC
Bloco (B)	4	0,783 ^{ns}	7.257 ^{ns}	0,000263 ^{ns}	0,000002 ^{ns}	0,023 ^{ns}	0,422 ^{ns}
Bioestimulante (Bio)	2	1,557 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	0,003913 ^{ns}	0,000059*	0,163**	6,257 ^{ns}
Herbicida (H)	2	4,214**	0.000002*	0,004534 ^{ns}	0,000138**	0,041 ^{ns}	7,260 ^{ns}
Bio x H	4	0,518 ^{ns}	0.000002**	0,008279 ^{ns}	0,000005 ^{ns}	0,046 ^{ns}	13,246 ^{ns}
CV (%)	--	9,31	6.71	12,71	8,82	24,44	12,71

**; *Significativo a 1 e 5% de probabilidade, ns não significativo.

Tabela 07. Análise de variância referente a índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFAi) e eficiência de interceptação (Ei) em quatro momentos com intervalos de sete dias, em plantas de soja iniciando aos dez dias após a aplicação de herbicidas em pós-emergência, na safra 2018/2019.

		NDVI			
F.V	GL	10 DAA	17DAA	24DAA	31DAA
Bloco (B)	4	0,0057*	0,0006*	0,0001**	0,0002*
Bioestimulante (Bio)	2	0,0006 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0000 ^{ns}
Herbicida (H)	2	0,0188*	0,0005**	0,0000 ^{ns}	0,0000 ^{ns}
Bio x H	4	0,0012 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0000 ^{ns}
CV (%)		4,36	1,23	0,79	0,56
		RFAi - $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$			
F.V	GL	10 DAA	17DAA	24DAA	31DAA
Bloco (B)	4	2623678,13	1372925,57**	49657,53**	505723,02**
Bioestimulante (Bio)	2	30649,08 ^{ns}	94692,20 ^{ns}	1487,48 ^{ns}	5113,62 ^{ns}
Herbicida (H)	2	471384,15	138222,06 ^{ns}	4674,42 ^{ns}	4603,08 ^{ns}
Bio x H	4	272029,59	104208,76 ^{ns}	11232,82 ^{ns}	8549,72 ^{ns}
CV (%)		33,35	10,62	5,53	5,68
		Ei - adimensional			
F.V	GL	10 DAA	17DAA	24DAA	31DAA
Bloco (B)	4	0,0019 ^{ns}	0,0004 ^{ns}	0,0004 ^{ns}	0,0000 ^{ns}
Bioestimulante (Bio)	2	0,0016 ^{ns}	0,0002 ^{ns}	0,0001 ^{ns}	0,0000 ^{ns}
Herbicida (H)	2	0,0823**	0,0007 ^{ns}	0,0007 ^{ns}	0,0000 ^{ns}
Bio x H	4	0,0288 ^{ns}	0,0003 ^{ns}	0,0001 ^{ns}	0,0000 ^{ns}
CV (%)		8,05	2,21	2,38	0,44

**; *Significativo a 1 e 5% de probabilidade, ns não significativo.

Tabela 08. Análise de variância referente a população de plantas (POP), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), peso de mil grãos (PMG), produtividade de grãos (PROD), índice de colheita (IC) e a produtividade por planta (PROD.P) em plantas de soja, submetidas a aplicação de herbicidas e bioestimulante, na safra 2018/2019.

F.V	GL	POP	NVP	NGP	PMG
Bloco (B)	4	3,82**	25,62 ^{ns}	200,15 ^{ns}	103,16 ^{ns}
Bioestimulante (Bio)	2	1,64 ^{ns}	5,50 ^{ns}	23,73 ^{ns}	66,22 ^{ns}
Herbicida (H)	2	537188194,99 ^{ns}	91,07*	321,24 ^{ns}	65,16 ^{ns}
Bio x H	4	2,36 ^{ns}	82,74*	541,11*	143,04 ^{ns}
CV (%)	--	10,08	11,30	10,87	4,75
F.V	GL	PROD	IC	PROD. P	
Bloco (B)	4	335354,15*	0,000680 ^{ns}	4,37 ^{ns}	
Bioestimulante (Bio)	2	1197266,06**	0,000628 ^{ns}	3,38 ^{ns}	
Herbicida (H)	2	120435,22 ^{ns}	0,000379 ^{ns}	0,12 ^{ns}	
Bio x H	4	291883,19 ^{ns}	0,000676 ^{ns}	3,97 ^{ns}	
CV (%)	--	7,23	3,60	9,66	

**; *Significativo a 1 e 5% de probabilidade, ns não significativo.

6. CONCLUSÃO GERAL

Por meio dos resultados obtidos neste estudo, constatou-se que os herbicidas empregados não proporcionam danos significativos ao desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da soja, entretanto, afetam consideravelmente a qualidade das sementes.

Por outro lado, em todos os casos estudados o uso do bioestimulante proporciona incrementos em características fisiológicas e agronômicas da soja. Assim, em nenhum dos trabalhos realizados foi possível verificar o efeito reparador do bioestimulante ao efeito dos herbicidas.