

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

**RESPOSTAS AGRONÔMICAS DE SOJA E MILHO
INDUZIDAS PELA APLICAÇÃO FOLIAR DE
AMINOÁCIDOS**

Autor: Giacomo Zanotto Neto

Orientador: Dr. Marconi Batista Teixeira

Rio Verde - GO

Dezembro, 2023

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

**RESPOSTAS AGRONÔMICAS DE SOJA E MILHO
INDUZIDAS PELA APLICAÇÃO FOLIAR DE
AMINOÁCIDOS**

Autor: Giacomo Zanotto Neto

Orientador: Dr. Marconi Batista Teixeira

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

Dezembro, 2023

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

ZZ33r Zanotto Neto, Giacomo
 RESPOSTAS AGRONÔMICAS DE SOJA E MILHO INDUZIDAS
PELA APLICAÇÃO FOLIAR DE AMINOÁCIDOS / Giacomo
Zanotto Neto; orientador Marconi Batista Teixeira. -
- Rio Verde, 2023.
 65 p.

 Tese (Doutorado em Programa de Pós-Graduação em
Ciências Agrárias - Agronomia - PPGCA-AGRO) --
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2023.

 1. Aminoácido. 2. Biofertilizante. 3.
Bioestimulante. 4. Fertilizante Foliar. 5. Soja e
Milho. I. Teixeira, Marconi Batista , 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

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

Nome completo do autor:

Giacomo_Zanotto_Neto

Matrícula:

2020102320140129

Título do trabalho:

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: / /

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 - GO

Local

11/02/2024

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

Documentos 92/2023 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

RESPOSTAS AGRONÔMICAS DE SOJA E MILHO INDUZIDAS PELA APLICAÇÃO FOLIAR DE AMINOÁCIDOS

Autor: Giacomo Zanotto Neto

Orientador: Dr. Marconi Batista Teixeira

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

APROVADA em, 15 de dezembro de 2023.

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira (Presidente)

Prof. Dr. Wilker Alves Moraes (Avaliador interno)

Prof. Dr. Aurélio Ferreira Melo (Avaliador externo)

Prof. Dr. Nelmicio Furtado da Silva (Avaliador externo)

Prof. Dr. Edson Luiz Souchie (Avaliador interno)

Documento assinado eletronicamente por:

- Aurelio Ferreira Melo, Aurelio Ferreira Melo - Professor Avaliador de Banca - Associação de Ensino Superior de Goiás – Unibrás (33636671000100), em 22/12/2023 21:12:46.
- Edson Luiz Souchie, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 19/12/2023 08:45:29.
- Wilker Alves Moraes, 2017102344060001 - Discente, em 16/12/2023 00:35:20.
- Nelmício Furtado da Silva, Nelmício Furtado da Silva - 2345 - PROFESSORES NA ÁREA DE FORMAÇÃO PEDAGÓGICA DO ENSINO SUPERIOR - Universidade de Rio Verde (01815216000178), em 15/12/2023 13:36:23.
- Marconi Batista Teixeira, COORDENADOR(A) DE CURSO - FUC1 - CCMDAGRO-R, em 15/12/2023 10:17:21.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 06/12/2023. 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: 554378

Código de Autenticação: 2bae0917b3



DEDICO

A Deus,

Pela vida, saúde, força e esperança nos momentos de dificuldades.

OFEREÇO

À minha família,

Aos meus queridos pais, Wilson e Sandra (*in memoriam*), por todo amor, e confiança que depositaram em mim, e por apesar dos sacrifícios não desistiram de apoiar à minha educação. Aos meus irmãos, Giovanni e Giovanna, meus sobrinhos e afilhados Yasmin, Nicolas, Rafaella, Victória e Dante que souberam entender minha distância ao longo desta jornada.

Ao meu sogro Benedito e minha sogra Maria Paula, sempre apoiando e ajudando nossa família e em especial, ofereço para a minha esposa **Di** e minha fantástica e extraordinária filha **Alice**, por estarem ao meu lado sempre que precisei desde o início desta caminhada, por todo carinho, atenção, amor, compreensão e principalmente serem a razão e luz guia da minha vida.

" É preferível arriscar coisas grandiosas, alcançar triunfos e glórias, mesmo expondo-se à derrota, do que formar fila com os pobres de espírito, que não gozam muito e nem sofrem muito, porque vivem na penumbra obscura e cinzenta dos que não conhecem nem a vitória e nem a derrota"

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, todo pessoal envolvido (Diretoria, coordenação, secretaria etc.), ao IF Goiano – Campus Rio Verde, pela oportunidade e suporte concedido para a realização desse curso de pós-graduação e pelo desenvolvimento deste trabalho.

Aos funcionários de todos Departamento da Instituição, pela atenção e colaboração nos momentos que necessitei de auxílio para continuar nesta caminhada.

À Tecno Nutrição Vegetal, localizada no município de Rio Verde - GO, pela parceria e colaboração na execução do projeto de pesquisa. Em especial, a Giovani Saccardo Clemente grande incentivador de pesquisa e desenvolvimento.

Ao Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira e Prof. Dr. Nelmício Furtado da Silva, por todo o apoio e orientação e ensinamentos ao longo da execução deste estudo e sobretudo pela valiosa demonstração de amizade no decorrer desta caminhada.

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos, de maneira especial, ao amigo parceiro e colega Wendson Soares da Silva Cavalcante, e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, pelos incentivos constantes, apoio e amizade dispensados ao longo de todo curso de pós-graduação, cuja contribuição através de discussões e troca de experiência foi de grande importância e relevância.

BIOGRAFIA DO AUTOR

GIACOMO ZANOTTO NETO, filho de Wilson José Zanoto e Sandra Maciel Zanoto, nasceu no dia 11 de dezembro de 1978, na cidade de São Paulo, SP.

Casado com Edinalva Paes Zanotto, pai da incrível, fantástica e extraordinária Alice Paes Zanotto, trabalhou durante anos na área agrícola fazendo diversos cursos em conjunto com sua trajetória acadêmica.

No mês de fevereiro de 1994, iniciou no curso de Técnico em Química no colégio Getúlio Vargas – Sorocaba – SP, finalizando em dezembro de 1996.

Em março de 1998, ingressou no curso de Graduação em Química com Atribuições Tecnológicas – Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), graduando-se em dezembro de 2002.

Entre 1998 e 2002, durante o curso superior ingressou na Iniciação Científica (IC) nas áreas de Química-Analítica, Química-Inorgânica, Físico-Química e Química Orgânica.

Em março de 2003, iniciou no curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências - Química-Analítica, no Instituto São Paulo USP, como bolsista (CNPq), sob a orientação do Professor Dr. Luiz Alberto Avaca, concluindo em fevereiro de 2005.

Em março de 2020, iniciou no curso de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, no Instituto Federal Goiano – Campus de Rio Verde - GO, sob a orientação do Professor Dr. Marconi Batista Teixeira, concluindo em dezembro de 2023.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABELAS	10
ÍNDICE DE FIGURAS	11
RESUMO	12
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	14
2 OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo Geral	17
2.2 Objetivo Específicos	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
3 CAPÍTULO I - APLICAÇÃO FOLIAR DE AMINOÁCIDOS INDUZ RESPOSTAS FISIOLÓGICAS NA CULTURA DA SOJA.....	20
3.1 INTRODUÇÃO	22
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	24
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
3.4 CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
4 CAPÍTULO II - RESPOSTAS BIOMÉTRICAS, NUTRICIONAIS E PRODUTIVAS NA CULTURA DA SOJA INDUZIDAS PELA APLICAÇÃO FOLIAR DE AMINOÁCIDOS	40
4.1 INTRODUÇÃO	42
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	43
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.4 CONCLUSÃO	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
5 CAPÍTULO III - DESEMPENHO VEGETATIVO, PRODUTIVIDADE E NUTRIÇÃO DA CULTURA DO MILHO INDUZIDAS PELA APLICAÇÃO FOLIAR DE AMINOÁCIDOS	52
5.1 INTRODUÇÃO	54
5.2 MATERIAL E MÉTODOS	55
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
5.4 CONCLUSÃO	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1. ANÁLISE QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA DO SOLO ANTES DA INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	25
TABELA 2. QUANTIDADES E ADUBOS UTILIZADOS.	25
TABELA 3. NÚMERO DE APLICAÇÕES, ÉPOCA, DOSE, PRODUTO COMERCIAL E PRINCÍPIOS ATIVOS UTILIZADOS DURANTE O CULTIVO DA SOJA.	25
TABELA 4. DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS, NÚMERO DE APLICAÇÕES, ÉPOCA E DOSES UTILIZADAS.	26
TABELA 5. RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS PARÂMETROS FISIOLÓGICOS DE PLANTAS DE SOJA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO FOLIAR DE AMINOÁCIDOS, SAFRA 2019-20, RIO VERDE - GO.....	28
TABELA 6. ANÁLISE QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA EM AMOSTRAS DE DO SOLO COLETADAS ANTES DA INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO.	43
TABELA 7. QUANTIDADES E ADUBOS UTILIZADOS.	43
TABELA 8. NÚMERO DE APLICAÇÕES, ÉPOCA, DOSE, PRODUTO COMERCIAL E PRINCÍPIOS ATIVOS UTILIZADOS DURANTE O CULTIVO DA SOJA.	44
TABELA 9. DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS, NÚMERO DE APLICAÇÕES, ÉPOCA E DOSES UTILIZADAS.	45
TABELA 10. RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS EFEITOS DA APLICAÇÃO FOLIAR DE AMINOÁCIDOS NOS PARÂMETROS BIOMÉTRICOS, NUTRICIONAIS E DE PRODUTIVIDADE DE GRÃOS, SAFRA 2019-20, RIO VERDE - GO.	47
TABELA 11. ANÁLISE QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA DO SOLO, EM AMOSTRAS COLETADAS ANTES DA IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO.	56
TABELA 12. QUANTIDADES E ADUBOS UTILIZADOS.	57
TABELA 13. NÚMERO DE APLICAÇÕES, ÉPOCA, DOSE, PRODUTO COMERCIAL E PRINCÍPIOS ATIVOS UTILIZADOS DURANTE O CULTIVO DO MILHO.	57
TABELA 14. DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS, NÚMERO DE APLICAÇÕES, ÉPOCA E DOSES UTILIZADAS.	58
TABELA 15. RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS EFEITOS DA APLICAÇÃO FOLIAR DE AMINOÁCIDOS NAS VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS, NUTRICIONAIS, ÍNDICE DE CLOROFILA E DE PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO DE SEGUNDA SAFRA 2020, RIO VERDE - GO.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. DADOS DIÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIAL, TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA NO PERÍODO DECORRENTE DO EXPERIMENTO, SAFRA 2019-20, RIO VERDE – GO.	24
FIGURA 2; FOTOSÍNTESE LIQUIDA (A); TAXA DE TRANSPIRAÇÃO (B); CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA (C); FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA A (D), EM PLANTAS DE SOJA SUBMETIDAS À APLICAÇÃO FOLIAR DE AMINOÁCIDOS, SAFRA 2019-20, RIO VERDE – GO.	29
FIGURA 3. RENDIMENTO FOTOQUÍMICO DO PSII (A); TAXA DE TRANSPORTE DE ELÉTRONS (B); EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA (C), EM PLANTAS DE SOJA SUBMETIDAS À APLICAÇÃO FOLIAR DE AMINOÁCIDOS, SAFRA 2019-20, RIO VERDE – GO..	31
FIGURA 4. ALTURA DE PLANTAS DE SOJA SUBMETIDAS À APLICAÇÃO FOLIAR DE AMINOÁCIDOS, SAFRA 2019-20, RIO VERDE – GO.	48
FIGURA 5. PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE SOJA SUBMETIDAS À APLICAÇÃO FOLIAR DE AMINOÁCIDOS, SAFRA 2019-20, RIO VERDE – GO.	48
FIGURA 6. DADOS DIÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIAL, TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA NO PERÍODO DECORRENTE DO EXPERIMENTO DE MILHO, SEGUNDA SAFRA 2020-20, RIO VERDE – GO.....	56
FIGURA 7. MASSA DE 100 GRÃOS DE MILHO SUBMETIDAS À APLICAÇÃO FOLIAR DE AMINOÁCIDOS, SEGUNDA SAFRA 2020-20, RIO VERDE – GO.....	61
FIGURA 8. PRODUTIVIDADE DE GRÃOS, EM PLANTAS DE MILHO SUBMETIDAS A APLICAÇÃO FOLIAR DE AMINOÁCIDOS, SEGUNDA SAFRA 2020-20, RIO VERDE – GO.....	62

RESUMO

ZANOTTO NETO, G. **Respostas agronômicas de soja e milho induzidas pela aplicação foliar de aminoácidos**. 2023. 66p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias – Agronomia) - Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, Brasil.

O objetivo deste estudo foi conhecer os efeitos individuais e resposta das culturas da soja e do milho cultivados com a aplicação de diferentes aminoácidos aplicados via foliar, este conhecimento será utilizado em formulações balanceadas e otimizadas de fertilizantes foliares, gerando produtos únicos. Os tratamentos (experimentos realizados a campo) consistiram na aplicação de aminoácidos isolados: Ácido aspártico; Arginina; Cisteína; Cistina; Citrulina; Fenilalanina; Glicina; Glutamina; Isoleucina; Leucina; Lisina; Metionina; Ornitina; Prolina; Taurina; Tirosina; Treonina; Triptofano; Valina, aplicados na dose de 20 g ha⁻¹ em dois estádios fenológicos da cultura da soja (V4 + R1) e do milho (V4 + V9). O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 20 tratamentos e quatro repetições. Os dados foram submetidos a análise de variância ($p < 0,05$) e os casos de significância submetidos ao teste de média (Scott-Knott $p < 0,05$), utilizando o software estatístico SISVAR[®]. Foram avaliados os parâmetros fisiológicos (relação Ci/Ca; temperatura da folha; Fotossíntese líquida; Taxa de transpiração; Condutância estomática; Fluorescência; Rendimento fotoquímico do PSII; Taxa de transporte de elétrons e a Eficiência no uso da água. Também foram avaliadas, as variáveis biométricas Altura de planta; Diâmetro de caule (colmo para o milho), número de entrenós; Número de folhas; Número de galhos; Número de vagem e as variáveis nutricionais como teor foliar de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn). A aplicação de aminoácidos melhora o desempenho fisiológico, produtivo, maior eficiência no uso da água, não promove alterações no teor de macro e micronutrientes em folhas de soja e milho. A aplicação de aminoácidos isolados em plantas de milho e soja, sobretudo tirosina, promoveu incrementos na massa de 100 grãos. Nas condições do presente estudo, a aplicação de aminoácidos via foliar não promoveu alterações nas variáveis biométricas de crescimento, índice de Clorofila e teor de macro e micronutrientes em folhas de milho e soja.

PALAVRAS-CHAVE: *Glycine max*; *Zea mays*; Estresse abiótico; Produtividade; Bioestimulantes; Eficiência de uso da água; Aminoácido; Biométricas; Fisiológicas; Fertilizante Foliar.

ABSTRACT

ZANOTTO NETO, G. **Agronomic responses of soybean and corn induced by foliar application of amino acids.** 2023. 66p. Thesis (Doctorate in Agricultural Sciences – Agronomy) – Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, Brazil.

The objective of this study was to understand the individual effects and response of soybean and corn crops grown with the application of different amino acids applied via foliar. This knowledge will be used in balanced and optimized formulations of foliar fertilizers, generating unique products. The treatments (field experiments) consisted of the application of isolated amino acids: Aspartic acid; Arginine; Cysteine; Cystine; Citrulline; Phenylalanine; Glycine; Glutamine; Isoleucine; Leucine; Lysine; Methionine; Ornithine; Proline; Taurine; Tyrosine; Threonine; Tryptophan; Valine, applied at a dose of 20 g ha⁻¹ in two phenological stages of soybean (V4 + R1) and corn (V4 + V9) crops. The experimental design was in randomized blocks with 20 treatments and four replications. The data were subjected to analysis of variance (p<0.05) and when significant the data were subjected to the mean test (Scott-Knott p<0.05), using the statistical software SISVAR®. Physiological parameters were evaluated (Ci/Ca ratio; leaf temperature; Net photosynthesis; Transpiration rate; Stomatal conductance; Fluorescence; PSII photochemical yield; Electron transport rate and Efficiency in water use. The biometric variables as Plant height; Stem diameter (stem for corn), number of internodes; Number of leaves; Number of branches; Number of pods and nutritional variables such as leaf nutrient content (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn). The amino acids application improves physiological and productive performance, greater efficiency in water use, does not promote changes in the content of macro and micronutrients in soybean and corn leaves. The amino acids isolated application in corn and soybean plants, especially tyrosine, promoted increases in the mass of 100 grains. Under the conditions of the present study, the amino acids application via foliar did not promote changes in the biometric variables of growth, Chlorophyll index and macro and micronutrients in corn and soybean leaves.

KEYWORDS: *Glycine max*; *Zea mays*; Abiotic stress; Productivity; Biostimulants; Water use efficiency; Amino acid; Biometrics; Physiological; Foliar Fertilizer.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A soja é a leguminosa com maior expansão em âmbito mundial, possui alto teor nutricional, com mais de 40% de proteínas, 20% de lipídeos, 5% de minerais e 34% de carboidratos essenciais. Portanto, é de grande valia para a alimentação humana, fornecendo os maiores valores proteicos, substituindo a proteína animal em alguns casos. Além da proteína, os grãos possuem óleo, minerais e carboidratos.

Segundo Pieniz e Silva (2008), os aminoácidos são considerados aditivos, e o seu uso está se tornando cada vez mais frequente por meio de pulverizações foliares. Os aminoácidos podem formar complexos com cátions como: Cu, Zn, Mn e Fe, protegendo-os e aumentando a disponibilidade para as plantas (VIEIRA; CASTRO, 2000).

Aminoácidos são formados por um grupo amina e (NH_2) e um grupo funcional carboxílico (COOH). Do ponto de vista bioquímico, aminoácido é uma estrutura orgânica que tem como função a produção de proteínas e é coadjuvante na síntese de hormônios. Existem 20 aminoácidos principais, sendo denominados aminoácidos primários ou padrão; mas, além desses, existem alguns aminoácidos especiais, que só aparecem em alguns tipos de proteínas. Exemplo são aqueles que desempenham funções como suprimento de energia e fornecimento de parte da estrutura de hormônios e enzimas (ZOBIOLE *et al.*, 2010). As plantas conseguem absorver os aminoácidos tanto pelas folhas quanto pelas suas raízes.

Os aminoácidos são subprodutos da quebra das proteínas, seja ela por processos físicos, químicos ou biológicos. As indústrias em geral com destaque especial às alimentícias geram quantidade expressiva de subprodutos em seus processos que contêm na composição diversos desses aminoácidos, como por exemplo a Ajinomoto uma das maiores produtoras do mundo. Esses produtos contêm composições percentuais de cada aminoácido baseadas no processo primário que foi derivado e não, necessariamente, o melhor balanceamento para as plantas. Na maioria dos casos as empresas da área agrícola utilizam essas fontes em adição a formulação, lançando produtos que mesmo com resultados positivos (ZOBIOLE *et al.*, 2010) não trazem informações consistentes como cada um deles contribuiu para o resultado.

O crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura da soja é resultante da interação entre o ambiente e o potencial genético da cultivar. Há mutualidade entre a planta de soja e o ambiente, deste modo, quando ocorrem mudanças no ambiente,

similarmente refletem no desenvolvimento da planta. Todos os cultivares portam potencial máximo de rendimento que é geneticamente determinado (FREITAS, 2011).

A utilização de aminoácidos na agricultura é bastante promissora, haja vista que são largamente utilizados em hortaliças, frutíferas além de citros, cafeeiro, algodoeiro e culturas produtoras de grãos, tais como, feijoeiro e soja. Na literatura, diversos trabalhos têm mostrado a importância de usar aminoácidos, porém, na maioria os aminoácidos são aplicados como complexo de aminoácidos, e não de forma isolada, além de não apresentar quantidades definidas de aminoácidos, como acontece com os fertilizantes minerais em que pode ser ajustado de acordo com a necessidade da cultura (RIBEIRO, 2020).

Os aminoácidos são ácidos orgânicos associados a um ou mais grupamentos amina, desempenhando função principal de constituir as proteínas, além de serem precursores inúmeras substâncias que regulam o metabolismo vegetal. Não obstante, a aplicação não tem o objetivo de suprir a necessidade de aminoácidos para a realização de síntese proteica, mas, sim, ativar o metabolismo fisiológico das plantas, tendo importante ação antiestressante (FLOSS & FLOSS, 2007; HAMMAD *et al.*, 2014; MONDAL *et al.*, 2015; DÖRR *et al.*, 2019).

O uso de aminoácidos potencializa os mecanismos que a planta possui para mitigar situações adversas (TAIZ e ZEIGER, 2017), incrementar a velocidade de resposta frente a essas condições, já que não tem que investir energia para sintetizar aminoácidos imprescindíveis nessas circunstâncias, além de elevar os níveis de produtividade das mais diversas culturas (DOS SANTOS *et al.*, 2019).

Alguns aminoácidos acumulam-se durante estresse osmótico, reduzindo o potencial hídrico da célula, promovendo a retenção da água celular sob condições de estresse, sendo degradados quando o status hídrico retorna ao normal. Vários aminoácidos são usados pelas plantas como reserva, sob condições induzida pela falta de luz (TAIZ e ZEIGER, 2017).

Evidências científicas indicam que alguns aminoácidos são moléculas sinalizadoras para a ativação de defesas da planta, tendo influência na modificação do sistema antioxidante por estimular a ação e produção das enzimas superóxido dismutase, catalase e peroxidase (ANANIEVA *et al.*, 2004; SHARMA *et al.*, 2014).

Dias *et al.* (2017) verificaram que a aplicação de aminoácido reduziu os sintomas de fitointoxicação na cultura do trigo, evitando a redução da produtividade. Existem também, funções particulares em que os aminoácidos estão presentes, como por exemplo na formação da clorofila, no crescimento e funcionamento dos meristemas, na

frutificação, responsáveis pela fertilidade do grão de pólen, pela consistência das paredes celulares, além de propiciar a conexão entre o ciclo do carbono e do nitrogênio nas plantas influenciando a síntese de açúcares e de proteínas, entre outros (COLLA *et al.*, 2015; DU JARDIN, 2015; NARDI *et al.*, 2016).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste estudo foi conhecer os efeitos individuais e resposta da cultura da soja e do milho cultivados com a aplicação de diferentes aminoácidos aplicados via foliar, este conhecimento será utilizado em formulações balanceadas e otimizadas de fertilizantes foliares, gerando produtos únicos.

2.2 Objetivo Específicos

Avaliar o desempenho morfológico das culturas da soja e do milho submetidos à aplicação de diferentes aminoácidos via foliar;

Avaliar o comportamento fisiológico das culturas da soja e do milho submetidos à aplicação de diferentes aminoácidos;

Verificar a qualidade nutricional das plantas de soja e do milho cultivados sob aplicação de diferentes aminoácidos via foliar;

Quantificar a produtividade de grãos das culturas da soja e do milho submetidos aos diferentes tratamentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANANIEVA, E. A.; CHRISTOV, K. N.; POPOVA, L. P. Exogenous treatment with salicylic acid leads to increased antioxidant capacity in leaves of barley plants exposed to Paraquat. **Journal of Plant Physiology**, v. 161, n. 3, p. 319-328, 2004.

BORSARI, F. Tecnologia de Nutrição: Os aminoácidos são considerados aditivos pelo Mapa e tem uso aprovado como fertilizantes, como estabilizantes da formulação. **Revista Agro DBO**, p. 47, 2013.

COLLA, G., NARDI, S.; CARDARELLI, M.; ERTANI, A.; LUCINI, L.; CANAGUIER, R.; ROUPHAEL, Y. Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 28–38, 2015.

DIAS, R. C.; MELO, C. A. D.; SANTOS, L. P. D.; SILVA, G. S.; CARNEIRO, G. D. O. P.; REIS, M. R. Ácido salicílico como atenuador de fitotoxicidade causada pelo flumioxazin na cultura do trigo. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 60, n. 2, p. 152-157, 2017.

DÖRR, C. S.; DE ALMEIDA, T. L.; CAMARA, A. M.; PRATES, J. F.; PANOZZO, L. E. Crescimento de plantas de trigo oriundas de sementes, de alto e baixo vigor, tratadas com aminoácidos. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 5, p. 381-389, 2019.

DOS SANTOS COSTA, L. F.; DE MELO FERREIRA, E.; JUNQUEIRA, P. H.; LOBO, L. M.; MUNIZ, C. O.; DOS SANTOS ISEPON, J. Características físicas, químicas e produtividade de laranja ‘Pera’ em função da aplicação de aminoácidos em cobertura. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 10, n. 1, 2019.

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

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FLOSS, E. L.; FLOSS, L. G. **Fertilizantes organo minerais de última geração: funções fisiológicas e uso na agricultura**. Revista Plantio Direto, n. 100, 2007.

FREITAS, M.C.M. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, 2011.

HAMMAD, S. A. R.; ALI, O. A. M. Physiological and biochemical studies on drought tolerance of wheat plants by application of amino acids and yeast extract. **Annals of Agricultural Science**. Cairo, v. 59, n. 1, p. 133-145, 2014.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.

MONDAL, M. F.; ASADUZZAMAN, M.; TANAKA, H., ASAO, T. Effects of amino acids on the growth and flowering of *Eustoma grandiflorum* under autotoxicity in closed hydroponic culture. **Scientia Horticulturae**, v. 192, n. 31, p. 453-459, 2015.

NARDI, S.; PIZZEGHELLO, D.; SCHIAVON, M.; ERTANI, A. Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. **Scientia Agricola**, v. 73, p. 18–23, 2016.

PIENIZ, T; SILVA, T. R. B. Aplicação de aminoácidos no tratamento de sementes de pinhão manso. **Cultivando o saber**, Cascavel, v. 1, n. 1, p. 80-86, 2008.

RIBEIRO, V. A. **Fertilizante organomineral peletizado na cultura da soja em solo de cerrado**. 2020. 26 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. de; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Eds). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica/Embrapa-CPA, 2004. 416 p.

SHARMA, A.; BHARDWAJ, R. D. Effect of seed pre-treatment with varying concentrations of salicylic acid on antioxidant response of wheat seedlings. **Indian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 3, p. 205-209, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artemed, 2017, p. 329.

VIEIRA E. L.; CASTRO, P. R. C. **Ação do Stimulate na germinação de sementes, vigor de plântulas e crescimento radicular de plantas de milho (Zea mays L.)**. Piracicaba: ESALQ: USP, 2000. 15 p.

ZOBIOLE, L. H. S.; OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J.; BIFFE, D. F.; KREMER, R. J. Uso de aminoácido Exógeno na Prevenção de Injúrias causadas por Glyphosate na Soja RR. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 643-653, 2010.

3 CAPÍTULO I - APLICAÇÃO FOLIAR DE AMINOÁCIDOS INDUZ RESPOSTAS FISIOLÓGICAS NA CULTURA DA SOJA

RESUMO: Ações que otimizem o aparato fotossintético ou minimizem os efeitos negativos que influenciam a fotossíntese podem melhorar as respostas fisiológicas das plantas. Neste trabalho foi testada a hipótese que os aminoácidos melhoram o desempenho fisiológico de plantas de soja. Objetivou-se com o presente estudo avaliar variáveis fisiológicas de plantas de soja submetidas à aplicação via foliar de diferentes tipos de aminoácidos. O experimento foi realizado a campo, em uma área destinada à experimentação agrícola. Os tratamentos consistiram na aplicação de aminoácidos isolados: Ácido aspártico; Arginina; Cisteína; Cistina; Citrulina; Fenilalanina; Glicina; Glutamina; Isoleucina; Leucina; Lisina; Metionina; Ornitina; Prolina; Taurina; Tirosina; Treonina; Triptofano; Valina, respectivamente, aplicados na dose de 20 g ha⁻¹ em dois estádios fenológicos da cultura da soja (V4 + R1). O delineamento estatístico foi em blocos casualizados com quatro repetições, e 20 tratamentos, sendo as parcelas experimentais compostas por oito linhas espaçadas em 0,45 m e 10 m de comprimento com bordaduras de 2 m entre parcelas e 0,90 m entre blocos. Foram avaliados os parâmetros fisiológicos (relação Ci/Ca; temperatura da folha; Fotossíntese líquida; Taxa de transpiração; Condutância estomática; Fluorescência; Rendimento fotoquímico do PSII; Taxa de transporte de elétrons e a Eficiência no uso da água). Os aminoácidos não apresentaram resultado na relação Ci/Ca e temperatura da folha. Glutamina, Taurina e Tirosina têm efeito na taxa fotossintética. Ornitina, Prolina, Taurina e Tirosina proporcionam maiores taxas transpiratórias. Glutamina, Taurina, Tirosina, Prolina, Ornitina, Leucina, Isoleucina, Metionina, Treonina, Triptofano, Ácido aspártico e Arginina promovem maior condução estomática. A Ornitina promove aumento do rendimento fotoquímico de PSII. Cistina, Fenilalanina e Lisina são mais eficientes no uso da água. De maneira geral, todos os aminoácidos foram eficientes no aumento da eficiência quântica do PSII.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.), Aminoácidos, Trocas gasosas, Condução estomática, Fluorescência.

FOLIAR APPLICATION OF AMINO ACIDS INDUCES PHYSIOLOGICAL RESPONSES IN SOYBEAN CULTURE

ABSTRACT: Actions that optimize the photosynthetic apparatus or minimize the negative effects that influence photosynthesis can improve the physiological responses of plants. In this work, the hypothesis that amino acids improve the physiological performance of soybean plants was tested. The objective of the present study was to evaluate the physiological parameters of soybean plants subjected to isolated application of different amino acids. The experiment was carried out in the field, in an area intended for agricultural experimentation. The treatments consisted of the isolated amino acids application: Aspartic acid; Arginine; Cysteine; cystine; citrulline; Phenylalanine; glycine; Glutamine; Isoleucine; Leucine; lysine; Methionine; ornithine; proline; Taurine; Tyrosine; Threonine; Tryptophan; Valine, respectively applied at a dose of 20 g ha⁻¹ in two phenological stages of soybean crop (V4 + R1). The statistical design was in randomized blocks with four replications, and 20 treatments, the experimental plots consisted of 8 lines spaced at 0.45 m and 10 m in length with borders of 2 m between plots and 0.90 m between blocks. Physiological parameters were evaluated (C_i/C_a ratio; leaf temperature; Liquid photosynthesis; Transpiration rate; Stomatal conductance; Fluorescence; Photochemical yield of PSII; Electron transport rate and Efficiency in water use). Amino acids did not show results in the C_i/C_a ratio and leaf temperature; Glutamine, Taurine and Tyrosine have an effect on photosynthetic rate; Ornithine, Proline, Taurine and Tyrosine provide higher transpiration rates; Glutamine, Taurine, Tyrosine, Proline, Ornithine, Leucine, Isoleucine, Methionine, Threonine, Tryptophan, Aspartic Acid and Arginine promote greater stomatal conduction; Ornithine promotes an increase in the PSII photochemical yield; Cystine, Phenylalanine and Lysine are more efficient in using water and all amino acids were efficient in increasing the PSII quantum efficiency.

Keywords: *Glycine max* (L.), Amino Acids, Gas exchange, Stomatal conduction, Fluorescence.

3.1 INTRODUÇÃO

A produção de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é crescente desde 1961 (RITCHIE *et al.*, 2021), na safra mundial 2021/2022 registrou-se o maior volume de produção na ordem de 395 milhões de toneladas (USDA, 2022), e o Brasil contribuindo com 68,6% desta produção (CONAB, 2022). O uso da soja em sua maior totalidade está voltado para a cadeia produtiva pecuária, seguido da produção de biocombustíveis, indústrias e óleos vegetais. E, uma pequena parcela para o uso direto na produção alimentar humana (USDA, 2022). A comunidade tem questionado os efeitos dessa grande produção em cima dos ecossistemas, e desta forma, a busca por alternativas que permitam maior produção agrícola em um mesmo espaço é crescente, ou seja, aumentar a produtividade agrícola.

Esse viés é uma alternativa para cumprir o segundo Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Organizações das Nações Unidas (ONU), que trata da fome zero e agricultura sustentável. Esse objetivo visa buscar alternativas para erradicar a fome, garantir a segurança alimentar, melhorar a nutrição da humanidade e estabelecer a agricultura sustentável (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2022).

Entre as buscas da eficiência de produção sustentável, destaca-se as estratégias de manejo, como a semeadura direta (JACOBS *et al.*, 2021; YAMEN *et al.*, 2022), a parte de nutrição, por via nutrição química e biológica (ZOLFAGHARI GHESHLAGHI, 2019; DASS *et al.*, 2022), o uso dos controladores como os biocidas, e o uso de variedades de soja modificadas (MATERA *et al.*, 2018; CAVALCANTE *et al.*, 2020; SANTANA *et al.*, 2020).

Na literatura, diversos trabalhos têm mostrado a importância de usar aminoácidos como fonte externa de nutrição química, porém, na maioria os aminoácidos são aplicados como complexo de aminoácidos, e não de forma isolada, além de não apresentar quantidades definidas de aminoácidos, como acontece com os fertilizantes minerais em que pode ser ajustado de acordo com a necessidade da cultura (REZAEIPOUR *et al.*, 2016; JANG & KUK, 2021). Aminoácidos são compostos orgânicos de baixo peso molecular, com o grupo funcional constituído de um carbono central assimétrico, e os ligantes: grupo amino (NH₂), grupo carboxílico (COOH), hidrogênio (H) e um radical (R) que diferencia a fórmula molecular entre os aminoácidos. Os aminoácidos constituem as proteínas além de serem precursores de inúmeras substâncias que regulam o metabolismo vegetal (CASTRO *et al.*, 2017; GLUHIĆ *et al.*, 2020).

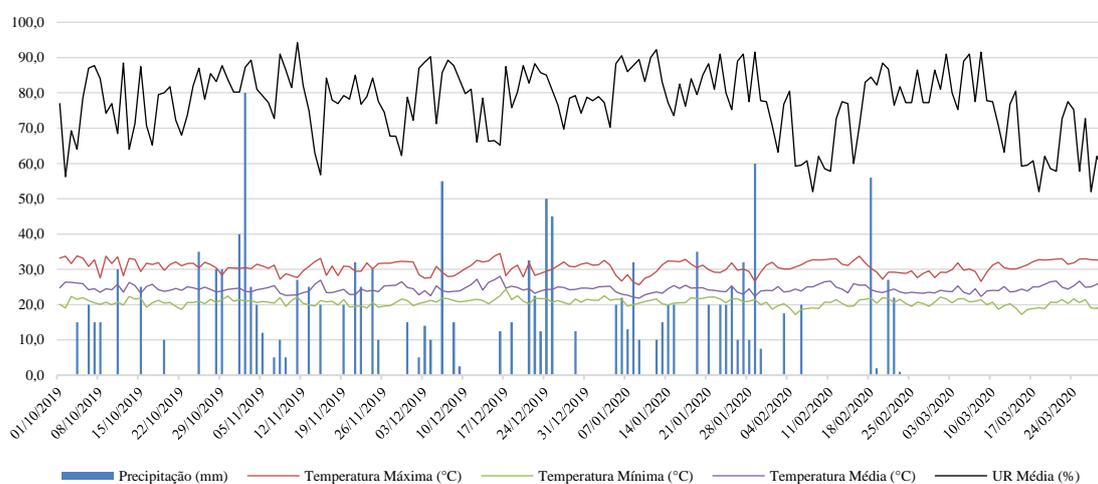
O anabolismo dos aminoácidos envolve muitos metabólitos essenciais para certas vias metabólicas, processos e funções importantes nas plantas como as vias fisiológicas e bioquímicas, influenciando em inúmeros processos fisiológicos (KILBERG *et al.*, 2009; WINTER *et al.*, 2015; AMIR *et al.*, 2018; YANG *et al.*, 2018; URBANO-GÁMEZ *et al.*, 2020; CHEN *et al.*, 2022). As plantas absorvem os aminoácidos através das folhas, caules e ramos. No sistema radicular, a absorção para o interior das células acontece via transportadores específicos e estão associados ao gasto de energia para o carregamento para o interior das células (GIOSEFFI *et al.*, 2012; HILDEBRANDT *et al.*, 2015). Já a penetração dessas moléculas via folhas, caules e ramos ocorre após serem rompidas as duas barreiras na lâmina foliar, (TEGEDER & RENTSH, 2010). Não obstante, a aplicação não tem o objetivo de suprir a necessidade de aminoácidos para a realização de síntese proteica, mas, sim, ativar o metabolismo fisiológico das plantas, tendo importante ação antiestressante (HAMMAD & ALI, 2014; MONDAL *et al.*, 2015; DÖRR *et al.*, 2019).

O uso de aminoácidos potencializa os mecanismos que a planta possui para mitigar situações adversas (TAIZ *et al.*, 2017), incrementar a velocidade de resposta frente a essas condições, já que não tem que investir energia para sintetizar aminoácidos imprescindíveis nessas circunstâncias, além de elevar os níveis de produtividade das mais diversas culturas (SANTOS COSTA *et al.*, 2019; GLUHIĆ, 2020). Evidências científicas indicam que alguns aminoácidos são moléculas sinalizadoras para a ativação de defesas da planta, tendo influência na modificação do sistema antioxidante por estimular a ação e produção das enzimas superóxido dismutase, catalase e peroxidase (SHARMA & BHARDWAJ, 2014). Embora as evidências dos efeitos da aplicação de aminoácidos tenham sido documentadas, poucos trabalhos estão relacionados à cultura da soja (YAKHIN *et al.*, 2017; FLEMING *et al.*, 2019; ALFOSEA-SIMÓN *et al.*, 2020; CAVALCANTE *et al.*, 2020).

Neste estudo foi testada a hipótese de que a bioestimulação da planta de soja com aminoácidos influenciará no desempenho fisiológico. Objetivou-se com o presente estudo avaliar variáveis fisiológicas de plantas de soja submetida à aplicação de aminoácidos via foliar.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em condições de campo, em uma área destinada a experimentação agrícola, cuja semeadura foi realizada em 10 de novembro de 2019 em Rio Verde, Estado de Goiás, Brasil (17°44'20.88''S e 50°57'55.79''O, altitude de 860 m) no sistema plantio direto. Segundo a classificação de Köppen e Geiger (1928) e Alvares *et al.* (2013), clima da região é classificado como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro a maio, e com seca nos meses de junho a setembro. A temperatura média anual varia de 20 a 35°C e as precipitações variam de 1.500 a 1.800 mm anuais e o relevo é suave ondulado (6% de declividade) (SILVA *et al.*, 2017) (Figura 1).



Fonte: Estação Normal INMET – Rio Verde – GO, dados pluviométricos corrigidos pelos dados coletados *in loco*.

Figura 1. Dados de precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa no período decorrente do experimento, safra 2019-20, Rio Verde – GO.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) (SANTOS *et al.*, 2018). No preparo do solo foi feito uma subsolagem e duas nivelagens posteriores à aplicação de calcário. A adubação de correção e semeadura foi realizada com base nos resultados da análise química do solo (Tabela 1) e de acordo com a recomendação de Sousa & Lobato (2004).

Tabela 1. Análise química e granulométrica do solo antes da instalação do experimento com soja, na safra de verão 2019/20, em Rio Verde, GO.

Macronutrientes													
Prof.	pH	P	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	M.O.	SB	CTC	V	m
cm	CaCl ₂		mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³		g dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³			%
0-20	3,9	7,53	17,3	19	0,5	0,37	0,92	7,50	32,6	0,92	8,51	10,8	50,0
20-40	3,9	5,31	16,8	17	0,36	0,28	0,85	6,35	29,0	0,68	7,03	9,7	55,6
Micronutrientes							Granulometria						
	B	Na	Cu	Fe	Mn	Zn		Areia	Silte	Argila	Classe textural		
	mg dm ⁻³							%					
0-20	0,41	0,0	0,39	48,53	9,67	2,53		33	8	59	Argiloso		
20-40	0,41	0,0	0,34	45,03	6,05	1,8		33	4	63	M. Argiloso		

pH da solução do solo, determinado em solução de cloreto de cálcio; MO: matéria orgânica, determinação por método colorimétrico; P: fósforo, melhich; K⁺: potássio, melhich; Ca²⁺ e Mg²⁺: teores trocáveis de cálcio e magnésio, respectivamente, em KCl; S-SO₄²⁻: Enxofre na forma de sulfatos, extraído por fosfato de cálcio e determinado por colorimetria. Al³⁺: Alumínio trocável, extraído por solução de cloreto de potássio a 1 mol L⁻¹. H+Al: acidez total do solo, determinada em solução tampão SMP a pH 7,5. SB: soma de bases (K⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺). CTC: capacidade de troca de cátions (K⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺ + H+Al). V: saturação por bases do solo (relação SB/CTC). m: saturação por alumínio [relação Al³⁺/(SB+Al³⁺)]. Cu, Fe, Mn e Zn: cobre, ferro, manganês e zinco, extraídos por solução melhich.

As quantidades de corretivos e fertilizantes utilizados tanto na correção como na semeadura estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Quantidades e adubos utilizados no experimento com soja, na safra de verão 2019/20, em Rio Verde, GO.

Adubação	Fonte	Quantidade
Correção	Calcário dolomítico ¹	3 t ha ⁻¹
Semeadura	Formulado NPK 05-25-25	400 kg ha ⁻¹

¹Aplicado a lanço em toda a área 30 dias antes do plantio. ²Aplicado no sulco de semeadura.

O manejo fitossanitário foi realizado por meio de aplicação via foliar de produtos químicos para o controle de doenças, pragas e plantas daninhas (Tabela 3).

Tabela 3. Número de aplicações, época, dose, produto comercial e princípios ativos utilizados durante o cultivo da soja, na safra de verão 2019/20, em Rio Verde, GO.

Aplicação	Época	Dose e produto comercial e princípios ativos
1 ^a	Pré-plantio	3,0 L ha ⁻¹ de Crucial (Glifosato) + 0,5 L ha ⁻¹ de Zethamaxx (Flumioxazina + Imazetapir) + 0,6 L ha ⁻¹ de U 46 (2,4-D)
TS	Semeadura	0,5 L 100 kg ⁻¹ de semente de Cropstar (Tiodicarbe + Imidacloprido) + Protreat (Tiram + Carbendazin) + 0,1 L 100 kg ⁻¹ de semente de Nodumax (<i>Bradyrhizobium japonicum</i>)
2 ^a	20 DAE	2,0 L ha ⁻¹ de Crucial (Glifosato) + 0,8 L ha ⁻¹ de Cletodim (Viance)
3 ^a	40 DAE	0,07 L ha ⁻¹ de Kaiso (Lambda-cialotrina) + 0,4 L ha ⁻¹ de Fox (Protioconazol + Trifloxistrobina) + 0,25% de Aureo
4 ^a	60 DAE	0,07 L ha ⁻¹ de Kaiso (Lambda-cialotrina) + 0,4 L ha ⁻¹ de Fox (Protioconazol + Trifloxistrobina) + 0,25% de Aureo
5 ^a	70 DAE	1,0 kg ha ⁻¹ de Perito (Acefato) + 0,2 L ha ⁻¹ de Valio (Óleo de laranja)
6 ^a	80 DAE	0,3 L ha ⁻¹ de Priori Xtra (Azoxistrobina + Ciproconazol) + 0,5% de Nimbus
Dessecação	110 DAE	2,0 L ha ⁻¹ de Gramoxone (Paraquat) + 0,2 L ha ⁻¹ de Valio (Óleo de laranja)

TS – Tratamento de sementes; DAE – dias após a emergência.

O delineamento estatístico foi em blocos casualizados com quatro repetições, e 20 tratamentos, sendo as parcelas experimentais compostas por oito linhas espaçadas em 0,45 m e 10 m de comprimento com bordaduras de 2 m entre parcelas e 0,90 m entre blocos, em que foram testados diferentes aminoácidos (Tabela 4).

Tabela 4. Descrição dos tratamentos, número de aplicações, época e doses utilizadas.

Tratamentos	Formulação	Dose (g ha ⁻¹)	Estádios
1	Ácido aspártico	20	V4 + R1
2	Arginina	20	V4 + R1
3	Cisteína	20	V4 + R1
4	Cistina	20	V4 + R1
5	Citrulina	20	V4 + R1
6	Fenilalanina	20	V4 + R1
7	Glicina	20	V4 + R1
8	Glutamina	20	V4 + R1
9	Isoleucina	20	V4 + R1
10	Leucina	20	V4 + R1
11	Lisina	20	V4 + R1
12	Metionina	20	V4 + R1
13	Ornitina	20	V4 + R1
14	Prolina	20	V4 + R1
15	Taurina	20	V4 + R1
16	Tirosina	20	V4 + R1
17	Treonina	20	V4 + R1
18	Triptofano	20	V4 + R1
19	Valina	20	V4 + R1
20	-	-	-

A semeadura da soja foi realizada utilizando uma semeadora Jumil de cinco linhas, mecânica, equipada com mecanismo de abertura de sulco do tipo disco duplo, com população de plantas de 280 mil plantas ha⁻¹ (cultivar BRASMAX BÔNUS 8579 IPRO).

A dose de 20 g ha⁻¹ foi definida em estudo prévio, os tratamentos foram realizados em dois estádios fenológicos (V4 + R1) principal momento em que os produtores realizam o manejo, as aplicações realizadas com um pulverizador costal com pressurização por CO₂ munido de barra de 2 m, contendo quatro pontas de pulverização do tipo TT 110.02 (0,45 m entre pontas), aplicando volume de calda equivalente a 100 L ha⁻¹. As condições ambientais foram sempre monitoradas para obter condição favorável de temperatura média 25°C, UR média de 60% e velocidade do vento média de 2,5 km h⁻¹.

O índice Falker[®] de Clorofila *a*, *b* e total foram obtidos de quatro plantas por parcela experimental, por meio do medidor de clorofila do tipo ClorofiLOG1030[®], modelo CFL1030 (Falker[®], Porto Alegre, Brasil).

As trocas gasosas das plantas foram avaliadas para registro da taxa fotossintética (A , $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), transpiratória (E , $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol}\cdot\text{H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 (C_i) e a taxa de respiração noturna (R_n , $\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). As medições foram realizadas utilizando medidor portátil de trocas gasosas LI-6800 XT (Li-Cor Inc., Nebraska, USA), entre as 08h e às 11h em uma folha completamente expandida com temperatura ajustada em 25°C, radiação fotossinteticamente ativa artificial (RFA) de $1000\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, concentração atmosférica de CO_2 (C_a) $\sim 400\ \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ e umidade relativa de $\sim 65\%$.

As variáveis de fluorescência da clorofila *a* foram avaliadas utilizando o IRGA (LI-6800 XT (Li-Cor Inc., Nebraska, USA)), na mesma folha em que foram realizadas as medições de trocas gasosas. Foram obtidas as variáveis de fluorescência: fluorescência inicial (F_o) e fluorescência máxima (F_m) e, a partir desses valores, calculado o rendimento quântico potencial do fotossistema II (FSII), $F_v/F_m = (F_m - F_o)/F_m$ (Genty *et al.*, 1989) e o rendimento quântico efetivo de conversão fotoquímica de energia no PSII, $Y_{II} = (F_m' - F)/F_m'$. Os rendimentos quânticos da dissipação de energia regulada, $Y_{NPQ} = (F/F_m') - (F/F_m)$, e da dissipação de energia não regulada, $Y_{NO} = F/F_m$, foram calculados de acordo com Genty *et al.* (1989) e Hendrickson *et al.* (2004). O $\Delta F/F_m'$ foi utilizado ainda para estimar a taxa aparente de transporte de elétrons, $ETR = \Delta F/F_m' \cdot PAR \cdot Leaf_{ABS,0,5}$ (Q *et al.*, 1995), sendo PAR é a densidade de fluxo de fótons ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) incidente sobre a folha; $Leaf_{ABS}$ correspondente à fração de luz incidente que é absorvida pelas folhas e 0,5 à fração de energia de excitação distribuída para o FSII.

Os dados foram submetidos à análise de variância ($p < 0,05$) e os casos de significância submetidos ao teste de média (Scott-Knott $p < 0,05$), utilizando o software estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2011).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

À exceção das variáveis a relação Ci/Ca e temperatura da folha, todos os demais parâmetros fisiológicos avaliados tiveram efeitos em função da aplicação foliar de aminoácidos, cujo resumo da análise de variância pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5. Resumo da análise de variância dos parâmetros fisiológicos de plantas de soja em função da aplicação foliar de aminoácidos, safra 2019-20, Rio Verde - GO.

Quadrados médios					
FV	GL	Fotossíntese líquida	Taxa de transpiração	Condutância estomática	Fluorescência
Tratamentos	19	9,909 **	3,689 *	0,043 **	0,001 *
Blocos	3	0,228	2,768	0,009	0,001
Resíduo	56	2,857	1,810	0,012	0,001
CV (%)		6,51	12,83	17,22	3,52

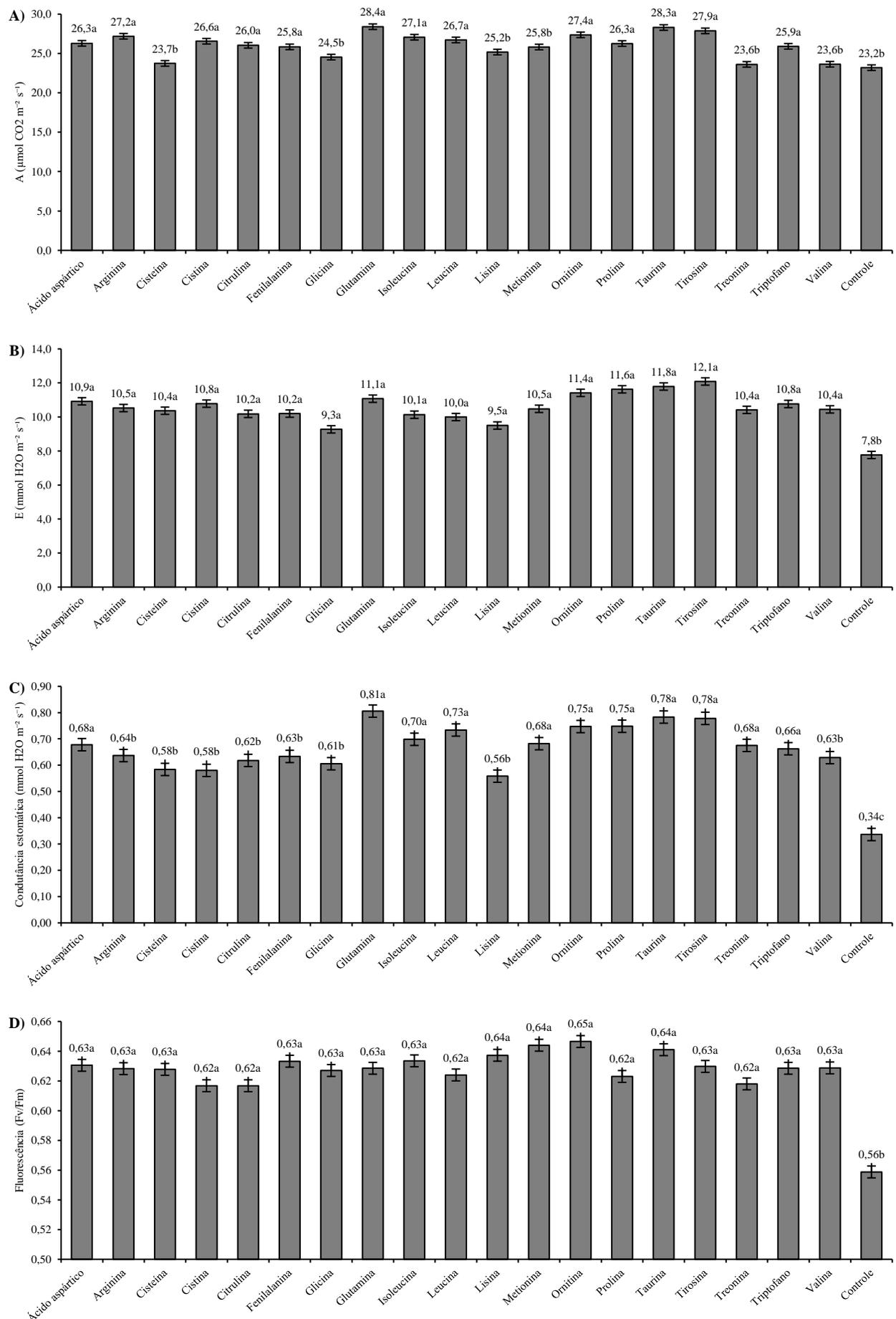
Quadrados médios					
FV	GL	Rendimento fotoquímico do PSII	Taxa de transporte de elétrons	Eficiência no uso da água	
Tratamentos	19	0,002 **	347,858 **	0,199 *	
Blocos	3	0,001	68,869	0,478	
Resíduo	56	0,001	54,649	0,101	
CV (%)		4,36	4,37	12,39	

Quadrados médios					
FV	GL	Ci/Ca	Temperatura da folha		
Tratamentos	19	0,001 ^{ns}	0,126 ^{ns}		
Blocos	3	0,004	0,925		
Resíduo	56	0,001	0,152		
CV (%)		4,28	1,45		

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

A aplicação de Ácido aspártico; Arginina; Cistina; Citrulina; Fenilalanina; Glutamina; Isoleucina; Leucina; Ornitina; Prolina; Taurina; Tirosina; Triptofano quando comparados aos demais aminoácidos e com o tratamento controle, foram mais eficientes no aumento da fotossíntese líquida (Figura 2A).

Todos os aminoácidos proporcionaram maiores taxas transpiratórias (Figura 2B). Ácido aspártico; Glutamina; Isoleucina; Leucina; Metionina; Ornitina; Prolina; Taurina; Tirosina; Treonina; Triptofano foram mais eficientes na condução estomática, quando comparados com os demais aminoácidos e com o Controle (Figura 2C).

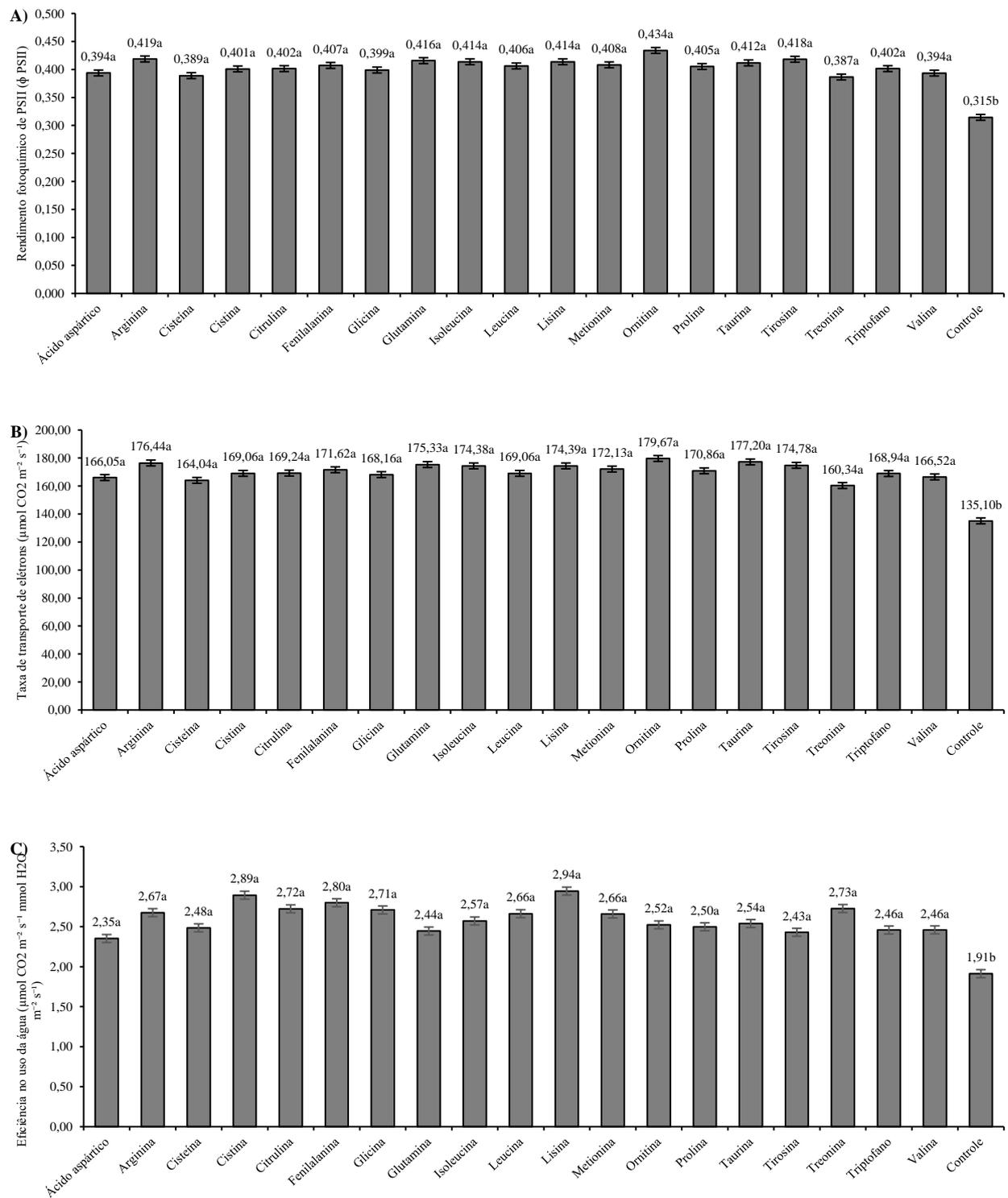


Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si Scott-Knott 5%.

Figura 2; Fotossíntese líquida (A); Taxa de transpiração (B); Condiutância estomática (C); Fluorescência da Clorofila a (D), em plantas de soja submetidas à aplicação foliar de aminoácidos, safra 2019-20, Rio Verde – GO.

Todos os aminoácidos promoveram aumento da eficiência quântica do PSII (Fv/Fm), determinada por meio da fluorescência da *Clorofila a* (Figura 2D). Os aminoácidos comparados com o Controle, promoveram aumento médio de 11,11% na eficiência quântica do PSII (Fv/Fm) (Figura 2D), demonstrando a eficiência dos aminoácidos em promover maior atividade e eficiência do aparato fotossintético. A relação Fv/Fm funciona como indicador da eficiência máxima no processo fotoquímico no FSII e/ou da atividade fotossintética potencial (razão máxima de produção quântica dos processos concorrentes fotoquímicos e não fotoquímicos no FSII) (REIS; CAMPOSTRINI, 2011; SILVA *et al.*, 2015).

Todos os aminoácidos promoveram incrementos no Rendimento Fotoquímico de PSII (Figura 3A) e na Taxa de Transporte de Elétrons (Figura 3B), quando comparados com o Controle. A aplicação de aminoácidos influenciou no aumento da eficiência no uso da água em relação ao tratamento Controle (Figura 3C).



Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si Scott-Knott a 5%.

Figura 3. Rendimento fotoquímico do PSII (A); Taxa de transporte de elétrons (B); Eficiência no uso da água (C), em plantas de soja submetidas à aplicação foliar de aminoácidos, safra 2019-20, Rio Verde – GO.

Os aminoácidos são ácidos orgânicos associados a um ou mais grupamentos amina, que desempenham função principal de constituir as proteínas, além de serem precursores de inúmeras substâncias que regulam o metabolismo vegetal (GIOSEFFI *et al.*, 2012; CASTRO *et al.*, 2017; GLUHIĆ *et al.*, 2020). Também influenciam na modificação do sistema antioxidante, por estimular a ação e produção das enzimas superóxido dismutase, catalase e peroxidase (SHARMA; BHARDWAJ, 2014).

Os efeitos positivos dos aminoácidos nos parâmetros fisiológicos justificam-se por desempenharem papel antioxidante no metabolismo, uma vez que podem promover de forma direta a produção de fitoquelatinas, que auxiliam no controle do excesso de metais nas plantas, estando também relacionados com a produção de glutathione (GSH), moléculas que regulam a produção de espécies reativas de oxigênio (COBBETT, 2017; TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Os aminoácidos estão diretamente relacionados ao aumento da estabilização das membranas celulares e ácidos nucleicos, à manutenção do potencial redox celular ideal e à remoção de espécies reativas de oxigênio (EROs). Além de promover diminuição da acidez citoplasmática e propiciar a manutenção da relação de $\text{NADP}^+/\text{NADPH}$ compatíveis com o metabolismo celular (NAZAR *et al.*, 2015). Não obstante, estão envolvidos na rota de produção de glioxilato, um composto que pode reduzir H_2O_2 contido nas plantas, além de produzir NADPH e ATP , moléculas de energia usadas em vários processos metabólicos (ALHASAWI *et al.*, 2015).

A glutamina está envolvida na absorção e na assimilação do nitrogênio pelas plantas, uma vez que o amônio é incorporado em aminoácidos pelas enzimas sintetase da glutamina (GS) e sintase do glutamato (GOGAT), formando glutamina (GLN) (TAIZ *et al.*, 2017). As células vegetais evitam a toxicidade de NH_4^+ por meio da conversão do NH_4^+ em aminoácido pela ação da enzima glutamina sintase (GS), a qual incorpora glutamato ao NH_4^+ , sintetizando glutamina, justificando o aumento da taxa fotossintética, grande quantidade de N é investida no aparato fotossintético, e a aplicação exógena da Glutamina pode resultar em maior acúmulo de N. Logo, é investida no aparato fotossintético, como em enzimas do ciclo de Calvin-Benson, RuBPCase, transportadores de elétrons, ATP sintase, PEP carboxilase e clorofilas (NUNES-NESI *et al.*, 2010; KAUR *et al.*, 2016; BASSI *et al.*, 2018).

A taurina é um aminoácido que protege a peroxidação lipídica das membranas celulares para promover o crescimento em plantas, pelas funções antioxidante (ASHRAF *et al.*, 2022). A degradação das moléculas de clorofila pode ser mitigada através da

aplicação de taurina, segundo Ashraf *et al.* (2022) a taurina acelera o acúmulo de moléculas sinalizadoras, que resultam em defesa oxidativa em plantas, além de ser um composto essencial para mediar respostas de defesa de plantas sob toxicidade.

A Tirosina é precursor de diversos compostos orgânicos importantes para o metabolismo das plantas, constituindo um poderoso aleloquímico, além de aumentar a atividade de peroxidases, lignina e fenóis (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

A ornitina é um precursor de poliaminas, que são essenciais na regulação do crescimento e desenvolvimento de plantas (MARTIN-TANGUY, 2001). A sua utilização demonstrou boas respostas agrônomicas em diversos estudos, sendo corroborado por Hussein *et al.* (2019), em beterraba. Hussein *et al.* (2019) verificaram melhora da tolerância à seca por regulação osmótica, mantendo a estabilidade das membranas, diminuindo a peroxidação lipídica e estimulando a síntese de novos polipeptídeos.

A prolina está diretamente relacionada ao aumento da estabilização das membranas celulares e ácidos nucleicos, à manutenção do potencial redox celular ideal, bem como à remoção de espécies reativas de oxigênio (EROs) (SZABADOS; SAVOURÉ, 2010; ALHASAWI *et al.*, 2015). Além de promover diminuição da acidose citoplasmática e propiciar a manutenção da relação de $\text{NADP}^+/\text{NADPH}$ compatíveis com o metabolismo celular (ALHASAWI *et al.*, 2015; NAZAR *et al.*, 2015).

Várias substâncias podem ser sintetizadas a partir do aminoácido aromático fenilalanina, como compostos fenólicos, entre eles, flavonoides e lignina. A reação para a produção desses compostos é feita a partir da enzima PAL (fenilalanina amônia-liase), que catalisa a fenilalanina, produzindo ácido trans-cinâmico que leva à produção de flavonoides ou lignina (CHENG *et al.*, 2001; TAIZ *et al.*, 2017).

3.4 CONCLUSÃO

A aplicação foliar de aminoácidos melhorou o desempenho fisiológico de plantas de soja.

A aplicação de Ácido aspártico; Arginina; Cistina; Citrulina; Fenilalanina; Glutamina; Isoleucina; Leucina; Ornitina; Prolina; Taurina; Tirosina; Triptofano quando comparados com os demais aminoácidos e com o tratamento controle, foram mais eficientes no aumento da fotossíntese líquida.

Todos os aminoácidos proporcionaram maiores taxas transpiratórias.

Ácido aspártico; Glutamina; Isoleucina; Leucina; Metionina; Ornitina; Prolina; Taurina; Tirosina; Treonina; Triptofano foram mais eficientes na condução estomática, quando comparados com os demais aminoácidos e com o Controle.

Todos os aminoácidos promoveram aumento da eficiência quântica do PSII (Fv/Fm), determinada por meio da fluorescência da *Clorofila a*.

Todos os aminoácidos promoveram incrementos no Rendimento Fotoquímico de PSII.

Todos os aminoácidos promoveram incrementos na Taxa de Transporte de Elétrons quando comparados com o Controle.

A aplicação de aminoácidos influenciou no aumento da eficiência no uso da água em relação ao tratamento Controle.

Com base nos resultados a conclusão é que para melhor desempenho fisiológico uma formulação de biofertilizante deverá conter Ácido aspártico; Glutamina; Isoleucina; Leucina; Ornitina; Prolina; Taurina; Tirosina; Triptofano, estes aminoácidos apresentaram efeitos positivos em todas as variáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFOSEA-SIMÓN, M.; ZAVALA-GONZALEZ, E. A.; CAMARA-ZAPATA, J. M.; MARTÍNEZ-NICOLÁS, J. J.; SIMÓN, I.; SIMÓN-GRAO, S.; GARCÍA-SÁNCHEZ, F. Effect of foliar application of amino acids on the salinity tolerance of tomato plants cultivated under hydroponic system. **Scientia Horticulturae**, v. 272, 2020.

ALHASAWI, A.; CASTONGUAY, Z.; APPANNA, N. D.; AUGER, C.; APPANNA, V. D. Glycine metabolism and anti-oxidative defence mechanisms in *Pseudomonas fluorescens*. **Microbiological Research**, v. 171, p. 26-31, 2015.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. D. M.; SPAROVEK, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, 711–728. DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

AMIR, R.; GALILI, G.; COHEN, H. The metabolic roles of free amino acids during seed development. **Plant Science**, v. 275, p. 11-18, 2018.

ASHRAF, M. A.; RASHEED, R.; HUSSAIN, I.; IQBAL, M.; FAROOQ, M. U.; SALEEM, M. H.; ALI, S. Taurine modulates dynamics of oxidative defense, secondary metabolism, and nutrient relation to mitigate boron and chromium toxicity in *Triticum aestivum* L. plants. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 1, p. 1-22, 2022.

BASSI, D.; MENOSSI, M.; MATTIELLO, L. Nitrogen supply influences photosynthesis establishment along the sugarcane leaf. **Scientific Reports**, v. 8, p. 2327, 2018.

CASTRO, P. R. C.; CARVALHO, M. E. A.; MENDES, A. C. C. M.; ANGELINI, B. G. **Manual de estimulantes vegetais: nutrientes, biorreguladores, bioestimulantes, bioativadores, fosfitos e biofertilizantes na agricultura tropical**. 1. ed. Editora Agronômica Ceres, 2017, 453p.

CAVALCANTE, W. S.; DA SILVA, N. F.; TEIXEIRA, M. B.; CABRAL FILHO, F. R.; NASCIMENTO, P. E. R.; CORRÊA, F. R. Eficiência dos bioestimulantes no manejo do déficit hídrico na cultura da soja. **IRRIGA**, v. 25, n. 4, p. 754-763, 2020.

CHEN, Q.; WANG, Y.; ZHANG, Z.; LIU, X.; LI, C.; MA, F. Arginine increases tolerance to nitrogen deficiency in *Malus hupehensis* via alterations in photosynthetic capacity and amino acids metabolism. **Frontiers in plant science**, v. 12, p. 772086, 2022.

COBBETT, C. S. Phytochelatin biosynthesis and function in heavy-metal detoxification. **Curr. Opin. Plant Biol**, v. 3, p. 211–216, 2017.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: safra 2021/2022 – décimo segundo levantamento, setembro de 2022**. Brasília: Conab, v. 9, n. 12, 2022. 88 p.

DASS, A.; RAJANNA, G.A.; BABU, S.; LAL, S.K.; CHOUDHARY, A.K.; SINGH, R.; RATHORE, S.S.; KAUR, R.; DHAR, S.; SINGH, T.; RAJ, R.; SHEKHAWAT, K.; SINGH, C.; KUMAR, B. **Foliar Application of Macro- and**

Micronutrients Improves the Productivity, Economic Returns, and Resource-Use Efficiency of Soybean in a Semi-arid Climate. *Sustainability* **2022**, *14*, 5825. <https://doi.org/10.3390/su14105825>

DÖRR, C. S., ALMEIDA, T. L. DE.; CAMARA, A. M.; PRATES, J. F.; PANOZZO, L. E. (2019). Crescimento de plantas de trigo oriundas de sementes, de alto e baixo vigor, tratadas com aminoácidos. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 5, p. 381-389, 2019.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FLEMING, T. R.; FLEMING, C. C.; LEVY, C. C.; REPISO, C.; HENNEQUART, F.; NOLASCO, J. B.; LIU, F. Biostimulants enhance growth and drought tolerance in *Arabidopsis thaliana* and exhibit chemical priming action. **Annals of Applied Biology**, v. 174, n. 2, p. 153-165, 2019.

GIOSEFFI, E.; NEERGAARD, A. De; SCHJØRRING, J. K. Interactions between uptake of amino acids and inorganic nitrogen in wheat plants. **Biogeosciences**, v. 9, n. 4, p. 1509-1518, 2012.

GLUHIĆ, D. Primjena biostimulatora na bazi aminokiselina u poljoprivrednoj proizvodnji. **Glasnik zaštite bilja**, v. 43, n. 3, p. 38–46, 2020.

HAMMAD, S. A. R.; ALI, O. A. M. Physiological and biochemical studies on drought tolerance of wheat plants by application of amino acids and yeast extract. **Annals of Agricultural Science**. Cairo, v. 59, n. 1, p. 133-145, 2014.

HILDEBRANDT, T. M.; NESI, A. N.; ARAÚJO, W. L.; BRAUN, H. P. Amino acid catabolism in plants. **Molecular plant**, v. 8, n. 11, p. 1563-1579, 2015.

HUSSEIN, H. A. A.; MEKKI, B. B.; ABD EL-SADEK, M. E.; EL LATEEF, E. E. Effect of L-Ornithine application on improving drought tolerance in sugar beet plants. **Helyon**, v. 5, p. 10, 2019.

JACOBS, A.A.; STOUTEVANS, R.; ALLISON, J.K.; GARNER, E.R.; KINGERY, W.L.; MCCULLEY, R.L. Cover crops and no-tillage reduce crop production costs and soil loss, compensating for lack of short-term soil quality improvement in a maize and soybean production system. **Soil and Tillage**, 2021, v. 218, 105310. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105310>.

JANG, S. J.; KUK, Y. I. Effects of Biostimulants on Primary and Secondary Substance Contents in Lettuce Plants. **Sustainability**, v. 13, n. 5, p. 2441, 2021.

KAUR, B.; KAUR, G.; ASTHIR, B. Biochemical aspects of nitrogen use efficiency: An overview. **Journal of plant nutrition**, v. 40, p. 506-523, 2016.

KILBERG, M. S.; SHAN, J.; SU, N. ATF4-dependent transcription mediates signaling of amino acid limitation. **Trends in Endocrinology & Metabolism**, v. 20, n. 9, p. 436-443, 2009.

MARTIN-TANGUY, J. Metabolism and function of polyamines in plants: recent development (new approaches). **Plant Growth Regulation**. v. 34, n. 1, p. 135–148, 2001.

MATERA, T. C.; PEREIRA, L. C.; BRACCINI, A. L.; PIANA, S. C.; SUZUKAWA, A. K.; FERRI, G. C.; CORREIA, L. V. Qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas com inseticidas, fungicidas e fertilizante. **Scientia Agraria Paranaensis**, 236-236, 2018.

MONDAL, M. F.; ASADUZZAMAN, M.; TANAKA, H.; ASAO, T. Effects of amino acids on the growth and flowering of *Eustoma grandiflorum* under autotoxicity in closed hydroponic culture. **Scientia Horticulturae**, v. 192, p. 453-459, 2015.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivos de desenvolvimento sustentável**. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/2>. Acesso em: 27 de outubro de 2022.

NAZAR, R.; UMAR, S.; KHAN, N. A. Exogenous salicylic acid improves photosynthesis and growth through increase in ascorbate-glutathione metabolism and S assimilation in mustard under salt stress. **Plant signaling and behavior**, v. 10, n. 3, p. e1003751, 2015.

NUNES-NESE, A.; FERNIE, A. R.; STITT, M. Metabolic and Signaling Aspects Underpinning the Regulation of Plant Carbon Nitrogen Interactions. **Molecular Plant**, v. 3, p. 973-996, 2010.

REIS, F. O.; CAMPOSTRINI, E. Microaspersão de água sobre a copa: um estudo relacionado às trocas gasosas e à eficiência fotoquímica em plantas de mamoeiro. **Revista Brasileira Agrociência**, v.17, p.284-295, 2011.

REZAEIPOUR, V.; ALINEJAD, H.; ASADZADEH, S. Growth performance, carcass characteristics and blood metabolites of broiler chickens fed diets formulated on total or digestible amino acids basis with bovine bile salts powder and soybean oil. **Journal of Central European Agriculture**, v. 17, n. 2, p. 272-284, 2016.

RITCHIE, H.; ROSER, M. (2021) - "Forests and Deforestation". Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: 'https://ourworldindata.org/forests-and-deforestation'

SANTANA, J. S.; DE CAMPOS, H. T.; DE QUEIROZ OLIVEIRA, E. J.; CARDOSO, E. S. (2020). Avaliação da viabilidade de aplicação da técnica de atenuação natural monitorada em solos contaminados por óleo diesel. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 150-172, 2020.

SANTOS COSTA, D. L. F.; DE MELO FERREIRA, E.; JUNQUEIRA, P. H.; LOBO, L. M.; MUNIZ, C. O.; DOS SANTOS ISEPON, J. Características físicas, químicas e produtividade de laranja 'Pera' em função da aplicação de aminoácidos em cobertura. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 10, n. 1, 2019.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; DOS ANJOS, L. H. C.; DE OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed. Brasília: Embrapa, 2018. 355p.

SHARMA, A.; BHARDWAJ, R. D. Effect of seed pre-treatment with varying concentrations of salicylic acid on antioxidant response of wheat seedlings. **Indian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 3, p. 205-209, 2014.

SHARMA, A.; BHARDWAJ, R. D. Effect of seed pre-treatment with varying concentrations of salicylic acid on antioxidant response of wheat seedlings. **Indian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 3, p. 205-209, 2014.

SILVA, F. G. D.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M. D.; FILGUEIRAS, L.; MELO, A. S. D. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 19, 946-952, 2015.

SILVA, N. F. DA.; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; VIDAL, V. M.; MORAIS, W. A. Reposição hídrica e adubação nitrogenada na cana-de-açúcar via gotejamento subsuperficial: cana-planta e cana-soca. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 6, p. 1862, 2017.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Eds). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica/Embrapa-CPA, 2004. 416 p.

SZABADOS, L.; SAVOURÉ, A. Proline: a multifunctional amino acid. **Trends in plant science**, v. 15, n. 2, p. 89-97, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TEGEDER, M.; RENTSCH, D. Uptake and Partitioning of Amino Acids and Peptides. **Molecular Plant**, v. 3, n. 6, p. 997–1011, 2010.

TEIXEIRA, W. F.; FAGAN, E. B.; SOARES, L. H.; UMBURANAS, R. C.; REICHARDT, K.; NETO, D. D. Foliar and seed application of amino acids affects the antioxidant metabolism of the soybean crop. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. March, p. 1–14, 2017.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **PSD Online**. Available at: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery.{/ref}>

URBANO-GÁMEZ, J. A.; EL-AZAZ, J.; ÁVILA, C.; DE LA TORRE, N. F.; CÁNOVAS, F. M. Enzymes Involved in the Biosynthesis of Arginine from Ornithine in Maritime Pine (*Pinus pinaster* Ait.). **Plants**, v. 9, p. 2020.

WINTER, G.; TODD, C. D.; TROVATO, M.; FORLANI, G.; FUNCK, D. Physiological implications of arginine metabolism in plants. **Frontiers in plant science**, v. 6, p. 534, 2015.

YAKHIN, O. I.; LUBYANOV, A. A.; YAKHIN, I. A.; BROWN, P.H. Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 2049, 2017.

YANG, Q.; ZHAO, D.; LIU, Q. Connections between amino acid metabolisms in plants: lysine as an example. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 928, 2020.

YAWEN, H.; BO, T.; YANJUN, Y.; XIAOCHEN, Z.; XIAOJUAN, Y.; JOHN H., G.; WEI, R. Simulating no-tillage effects on crop yield and greenhouse gas emissions in Kentucky corn and soybean cropping systems: 1980–2018. *Agricultural Systems* Volume 197 March 2022 Article number 103355. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103355>

ZOLFAGHARI GHESHLAGHI, M., PASARI, B., SHAMS, K., ROKHZADI, A., MOHAMMADI, K. The effect of micronutrient foliar application on yield, seed quality and some biochemical traits of soybean cultivars under drought stress. (2019) *Journal of Plant Nutrition*, 42 (20), pp. 2715-2730. doi: 10.1080/01904167.2019.1655034.

4 CAPÍTULO II - RESPOSTAS BIOMÉTRICAS, NUTRICIONAIS E PRODUTIVAS NA CULTURA DA SOJA INDUZIDAS PELA APLICAÇÃO FOLIAR DE AMINOÁCIDOS

RESUMO: Os aminoácidos desempenham diversas funções que regulam o metabolismo vegetal, diversos processos metabólicos importantes para o desenvolvimento das plantas, e por isso são usados na bioestimulação de plantas. Partindo da hipótese de que os aminoácidos melhoram o desempenho produtivo, as variáveis biométricas e o teor de nutrientes em plantas. Objetivou-se avaliar o efeito do uso de aminoácidos de forma isolada via foliar no desenvolvimento, na produtividade e na nutrição da cultura da soja. O experimento foi conduzido em condições de campo em um Latossolo Vermelho distrófico sob sistema plantio direto. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 20 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram na aplicação foliar de aminoácidos isolados: Ácido aspártico; Arginina; Cisteína; Cistina; Citrulina; Fenilalanina; Glicina; Glutamina; Isoleucina; Leucina; Lisina; Metionina; Ornitina; Prolina; Taurina; Tirosina; Treonina; Triptofano; e Valina, aplicados na dose de 20 g ha⁻¹ em dois estádios fenológicos da cultura da soja (V4 + R1). Foram avaliadas as variáveis biométricas (altura de planta, diâmetro de caule, número de entrenós, altura de planta, número de folhas, número de galhos e o número de vagens), nutricionais (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) e produtivas (massa de 100 grãos e a produtividade de grãos). Os aminoácidos promoveram incrementos na produtividade de grãos de soja.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.), Bioestimulação de Plantas, Proteínas, Macronutrientes, Micronutrientes, Produtividade.

BIOMETRIC, NUTRITIONAL AND PRODUCTION RESPONSES IN SOYBEAN CULTURE INDUCED BY FOLIAR APPLICATION OF AMINO ACIDS

ABSTRACT: Amino acids perform several functions that regulate plant metabolism, as well as various metabolic processes important for plant development, and are therefore used in plant biostimulation. Starting from the hypothesis that amino acids improve productive performance, biometric variables, and nutrient content in plants. The objective was to evaluate the effect of using amino acids in isolation via foliar use on the development, productivity, and nutrition of soybeans, grown in a dystrophic Red Oxisol in the Cerrado. The experiment was carried out under field conditions in a dystrophic Red Oxisol under a no-tillage system. The experimental design was in randomized blocks with 20 treatments and four replications. The treatments consisted of foliar application of isolated amino acids: Aspartic acid; Arginine; Cysteine; Cystine; Citrulline; Phenylalanine; Glycine; Glutamine; Isoleucine; Leucine; Lysine; Methionine; Ornithine; Proline; Taurine; Tyrosine; Threonine; Tryptophan; and Valine, applied at a dose of 20 g ha⁻¹ in two phenological stages of the soybean crop (V4 + R1). Biometric variables (plant height, stem diameter, number of internodes, plant height, number of leaves, number of branches and number of pods), nutritional variables (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, and Zn) and productive (mass of 100 grains and grain productivity) were evaluated. Amino acids promoted increases in soybean grain productivity.

Keywords: *Glycine max* (L.), Plant Biostimulation, Macronutrients, Micronutrients, Productivity.

4.1 INTRODUÇÃO

Os aminoácidos podem ser definidos como compostos orgânicos formados por um grupo amina e (NH_2) e um grupo funcional carboxílico (COOH), que desempenham a função de constituir as proteínas e atuarem como precursores de substâncias que regulam o metabolismo vegetal (TEIXEIRA *et al.*, 2017; GLUHIĆ, 2020), vias metabólicas, processos e funções importantes nas plantas como as vias fisiológicas e bioquímicas, influenciando em inúmeros processos fisiológicos (WINTER *et al.*, 2015; AMIR *et al.*, 2018; YANG *et al.*, 2018; URBANO-GÁMEZ *et al.*, 2020; CHEN *et al.*, 2022).

Atualmente, os aminoácidos são usados na bioestimulação de plantas, pelos inúmeros benefícios como a resiliência a estresses, precursores de fitormônios e outras substâncias que atuam indiretamente ou diretamente no processo e na manutenção da fotossíntese (ROCA; MROGINSKI, 2015). Quando os aminoácidos são absorvidos pelas plantas, estimulam a formação de clorofila, ácido indolacético (AIA), produção de vitaminas, síntese de inúmeros processos enzimáticos, além de possuir efeitos positivos no crescimento e rendimento das plantas (WANG *et al.*, 2014; MONDAL *et al.*, 2015; SADAK; ABDELHMID; SCHMIDHALTER, 2022).

A glicina é um precursor da síntese de clorofila e importante quelante de metais; a arginina atua no desenvolvimento radicular e aumenta a solubilidade e absorção de nutrientes, sendo o principal aminoácido translocado no floema (SADAK; ABDELHMID; SCHMIDHALTER, 2022). Estudos mostram que a prolina, lisina, metionina e ácido glutâmico são essenciais para a germinação do pólen e posterior frutificação (TEIXEIRA *et al.*, 2022). Alguns aminoácidos estão ligados à síntese de lignina, auxiliando na diminuição da perda de água pelas plantas, corroborando na redução nos danos provenientes do déficit hídrico no cultivo (GINS *et al.*, 2017).

Sadak, Abdelhmi e Schmidhalter (2022) mostraram que a aplicação de aminoácidos promove aumentos significativos nas variáveis de crescimento, peso fresco de plântulas, e incrementos no rendimento produtivo. Santos Costa *et al.* (2019), Gluhić (2020) e Liu *et al.* (2008) mostram em seus estudos que a aplicação foliar de aminoácidos promove aumentos nos teores de nutrientes, como o nitrogênio na parte aérea. Abo Seder *et al.* (2010) mostram em seu estudo que o uso de aminoácidos em morangueiro aumentou significativamente o teor de nitrogênio, fósforo e potássio nos tecidos vegetais em comparação com o tratamento controle.

Neste estudo foi testada a hipótese de que os aminoácidos melhoram o desempenho produtivo, as variáveis biométricas de crescimento e os teores de macro e micronutrientes em

plantas. Objetivou-se com o presente estudo avaliar os parâmetros biométricos, nutricionais e produtivos de plantas de soja submetida à aplicação de aminoácidos.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em condições de campo, em uma área destinada a experimentação agrícola, com a semeadura realizada em 10 de novembro de 2019, em Rio Verde, Estado de Goiás, Brasil (17°44'20.88''S e 50°57'55.79''O, altitude de 860 m) no sistema plantio direto

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (LVd) (SANTOS *et al.*, 2018). No preparo do solo foi feita uma subsolagem e duas nivelagens posteriores a aplicação de calcário. A adubação de correção e plantio foi realizada com base na análise de solo (Tabela 6) e de acordo com a recomendação de Sousa & Lobato (2004).

Tabela 6. Análise química e granulométrica em amostras do solo coletadas antes da instalação do experimento.

Prof. cm	pH	Macronutrientes							M.O. g dm ⁻³	SB cmol _c dm ⁻³	CTC	V %	m
		P mg dm ⁻³	S mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	Al	H+Al					
0-20	3,9	7,53	17,3	19	0,5	0,37	0,92	7,50	32,6	0,92	8,51	10,8	50,0
20-40	3,9	5,31	16,8	17	0,36	0,28	0,85	6,35	29,0	0,68	7,03	9,7	55,6
		Micronutrientes					Granulometria						
		B	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	Areia	Silte	Argila	Classe textural		
		mg dm ⁻³							%				
0-20	0,41	0,0	0,39	48,53	9,67	2,53	33	8	59	Argiloso			
20-40	0,41	0,0	0,34	45,03	6,05	1,8	33	4	63	M. Argiloso			

pH da solução do solo, determinado em solução de cloreto de cálcio; MO: matéria orgânica, determinação por método colorimétrico; P: fósforo, melhich; K⁺: potássio, melhich; Ca²⁺ e Mg²⁺: teores trocáveis de cálcio e magnésio, respectivamente, em KCl; S-SO₄²⁻: Enxofre na forma de sulfatos, extraído por fosfato de cálcio e determinado por colorimetria. Al³⁺: Alumínio trocável, extraído por solução de cloreto de potássio a 1 mol L⁻¹. H+Al: acidez total do solo, determinada em solução tampão SMP a pH 7,5. SB: soma de bases (K⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺). CTC: capacidade de troca de cátions (K⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺ + H+Al). V: saturação por bases do solo (relação SB/CTC). m: saturação por alumínio [relação Al³⁺/(SB+Al³⁺)]. Cu, Fe, Mn e Zn: cobre, ferro, manganês e zinco, extraídos por solução melhich.

As quantidades e adubos utilizados tanto na correção como no plantio estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7. Quantidades e adubos utilizados.

Adubação	Fonte	Quantidade
Correção	Calcário dolomítico ¹	3 t ha ⁻¹
Semeadura	Formulado ₀₅₋₂₅₋₂₅ ²	400 kg ha ⁻¹

¹Aplicado a lanço em toda a área 30 dias antes do plantio. ²Aplicado no sulco de semeadura.

O manejo fitossanitário foi realizado por meio de aplicação via foliar de produtos químicos para o controle de doenças, pragas e plantas daninhas (Tabela 8).

Tabela 8. Número de aplicações, época, dose, produto comercial e princípios ativos utilizados durante o cultivo da soja.

Aplicação	Época	Dose e produto comercial e princípios ativos
1 ^a	Pré-plantio	3,0 L ha ⁻¹ de Crucial (Glifosato) + 0,5 L ha ⁻¹ de Zethamaxx (Flumioxazina + Imazetapir) + 0,6 L ha ⁻¹ de U 46 (2,4-D)
TS	Semeadura	0,5 L 100 kg ⁻¹ de semente de Cropstar (Tiodicarbe + Imidacloprido) + Protreat (Tiram + Carbendazin) + 0,1 L 100 kg ⁻¹ de semente de Nodumax (<i>Bradyrhizobium japonicum</i>)
2 ^a	20 DAE	2,0 L ha ⁻¹ de Crucial (Glifosato) + 0,8 L ha ⁻¹ de Cletodim (Viance)
3 ^a	40 DAE	0,07 L ha ⁻¹ de Kaiso (Lambda-cialotrina) + 0,4 L ha ⁻¹ de Fox (Protiocanazol + Trifloxistrobina) + 0,25% de Aureo
4 ^a	60 DAE	0,07 L ha ⁻¹ de Kaiso (Lambda-cialotrina) + 0,4 L ha ⁻¹ de Fox (Protiocanazol + Trifloxistrobina) + 0,25% de Aureo
5 ^a	70 DAE	1,0 kg ha ⁻¹ de Perito (Acefato) + 0,2 L ha ⁻¹ de Valio (Óleo de laranja)
6 ^a	80 DAE	0,3 L ha ⁻¹ de Priori Xtra (Azoxistrobina + Ciproconazol) + 0,5% de Nimbus
Dessecação	110 DAE	2,0 L ha ⁻¹ de Gramoxone (Paraquat) + 0,2 L ha ⁻¹ de Valio (Óleo de laranja)

TS – Tratamento de sementes; DAE – dias após a emergência.

O delineamento estatístico foi em blocos casualizados com quatro repetições, e 20 tratamentos, as parcelas experimentais foram compostas por 8 linhas espaçadas em 0,45m e 10 m de comprimento com bordaduras de 2 m entre parcelas e 0,90 m entre blocos, foram testados diferentes aminoácidos (Tabela 9).

A semeadura da soja foi realizada utilizando uma semeadora Jumil de 05 linhas, mecânica, equipada com mecanismo de abertura de sulco do tipo disco duplo, com população de plantas de 280 mil plantas ha⁻¹ (*Glycine max* (L.) Merrill – cultivar BRASMAX BÔNUS 8579 IPRO).

Tabela 9. Descrição dos tratamentos, número de aplicações, época e doses utilizadas.

Tratamentos	Formulação	Dose (g ha ⁻¹)	Estádios
1	Ácido aspártico	20	V4 + R1
2	Arginina	20	V4 + R1
3	Cisteína	20	V4 + R1
4	Cistina	20	V4 + R1
5	Citrulina	20	V4 + R1
6	Fenilalanina	20	V4 + R1
7	Glicina	20	V4 + R1
8	Glutamina	20	V4 + R1
9	Isoleucina	20	V4 + R1
10	Leucina	20	V4 + R1
11	Lisina	20	V4 + R1
12	Metionina	20	V4 + R1
13	Ornitina	20	V4 + R1
14	Prolina	20	V4 + R1
15	Taurina	20	V4 + R1
16	Tirosina	20	V4 + R1
17	Treonina	20	V4 + R1
18	Triptofano	20	V4 + R1
19	Valina	20	V4 + R1
20	-	-	-

A dose de 20 g ha⁻¹ foi definida em estudo prévio, os tratamentos foram realizados em dois estádios fenológicos (V4 + R1) principal momento em que os produtores realizam o manejo fitossanitário, as aplicações foram realizadas por meio de um pulverizador costal com pressurização por CO₂ munido de barra de 2 m, contendo quatro pontas de pulverização do tipo TT 110.02 (0,45 m entre pontas), aplicando volume de calda equivalente a 100 L ha⁻¹. As condições ambientais foram sempre monitoradas para obter condição favorável de temperatura média 25°C, UR média de 60% e velocidade do vento média de 2,5 km h⁻¹.

Foram avaliadas e quantificadas nas linhas centrais de cada parcela, a altura de planta, diâmetro de caule, número de entrenós, altura de planta, número de folhas, número de galhos e o número de vagens, mensuradas no estágio fenológico R6. O diâmetro de caule foi determinado com o auxílio de um paquímetro digital na região do colo das plantas, e expresso em mm. O número de entrenós, número de folhas, número de galhos e número de vagens foram obtidos pela contagem. A altura da planta foi mensurada com auxílio de uma fita métrica, posicionada desde a base da planta até a extremidade do último trifólio. Para obtenção dos dados biométricos foram coletados e quantificados em duas plantas por parcela experimental.

Por ocasião do florescimento da cultura da soja (R2), foram coletados, a cerca de 20 plantas por parcela, o terceiro trifólio completamente desenvolvido, a partir do ápice da planta. Estes trifólios foram coletados para determinação dos teores nutricionais (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) conforme metodologia descrita em Malavolta *et al.* (1997). Para tanto, as folhas foram submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada à temperatura média de

65°C até atingir massa constante, e posteriormente moídas em moinho tipo Willey para determinação dos teores nutricionais.

No final do ciclo, as plantas foram dessecadas e posteriormente foram quantificadas a massa de 100 grãos e a produtividade de grãos. A produtividade de grãos foi determinada, colhendo e trilhando as plantas, conforme o grau de maturação, foi determinado o teor de água da massa total de grãos e corrigido para 13% de umidade, e os valores extrapolados para kg ha⁻¹.

Os dados foram submetidos à análise de variância ($p < 0,05$) e os casos de significância foram submetidos ao teste de média (Scott-Knott $p < 0,05$), utilizando o software estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2014).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis altura de planta e produtividade de grãos de soja apresentaram efeitos em função da aplicação foliar de aminoácidos. Já os parâmetros relacionados aos teores foliar de macro e micronutrientes não foram influenciados pela aplicação foliar de aminoácidos (Tabela 10).

Tabela 10. Resumo da análise de variância dos efeitos da aplicação foliar de aminoácidos nos parâmetros biométricos, nutricionais e de produtividade de grãos, safra 2019-20, Rio Verde - GO.

FV	GL	Quadrados médios				
		Altura de planta	Número de entrenós	Número de folhas	Número de galhos	Número de vagens
Tratamentos	19	49,041 **	0,753 ^{ns}	14,249 ^{ns}	1,648 ^{ns}	148,684 ^{ns}
Blocos	3	169,919	17,441	188,561	1,125	949,708
Resíduo	57	18,318	2,391	20,947	1,289	241,116
CV (%)		5,83	10,87	21,57	27,36	24,70

FV	GL	Quadrados médios					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Tratamentos	19	7,226 ^{ns}	0,429 ^{ns}	13,548 ^{ns}	30,381 ^{ns}	2,373 ^{ns}	3,158 ^{ns}
Blocos	3	23,140	1,099	80,858	503,765	72,167	4,539
Resíduo	57	10,041	0,297	18,360	20,799	2,157	3,315
CV (%)		7,82	14,96	26,66	21,09	15,49	53,85

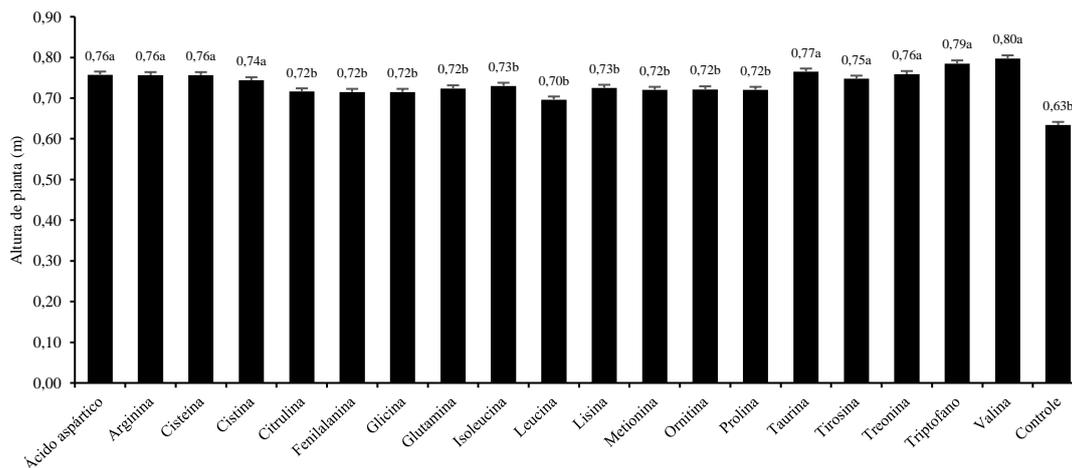
FV	GL	Quadrados médios				
		Fe	Mn	Cu	Zn	Mg
Tratamentos	19	21947,183 ^{ns}	2443,881 ^{ns}	6,690 ^{ns}	45,111 ^{ns}	84,225 ^{ns}
Blocos	3	536778,340	4079,361	30,227	371,738	97,923
Resíduo	57	17753,138	2689,721	5,868	43,648	69,947
CV (%)		30,95	82,07	19,19	16,26	19,59

FV	GL	Quadrados médios	
		Massa de 100 grãos	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)
Tratamentos	19	0,634 ^{ns}	495009,686 **
Blocos	3	10,627	15123,585
Resíduo	56	0,421	83400,751
CV (%)		3,45	8,53

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

Os resultados observados por Dörr *et al.* (2018) corroboram os observados neste estudo, uma vez que os autores não observaram variações significativas nos parâmetros biométricos como número de entrenós, folha, galhos e vagens. Os aminoácidos não se caracterizam como fontes de nutrientes às plantas, cujo objetivo da sua aplicação não é de suprir a necessidade de substâncias essenciais para o crescimento do vegetal, mas ativar o metabolismo fisiológico das plantas, tendo importante ação antiestressante (HAMMAD; ALI, 2014; MONDAL *et al.*, 2015; DÖRR *et al.*, 2019).

A aplicação foliar de aminoácidos isolados em plantas de soja promoveu incrementos na altura de planta. O uso de Ácido aspártico, Arginina, Cisteína, Cistina, Taurina, Tirosina, Treonina, Triptofano e Valina promoveram incremento médio de 20,63% (0,13 m) quando comparados ao Controle (Figura 4).

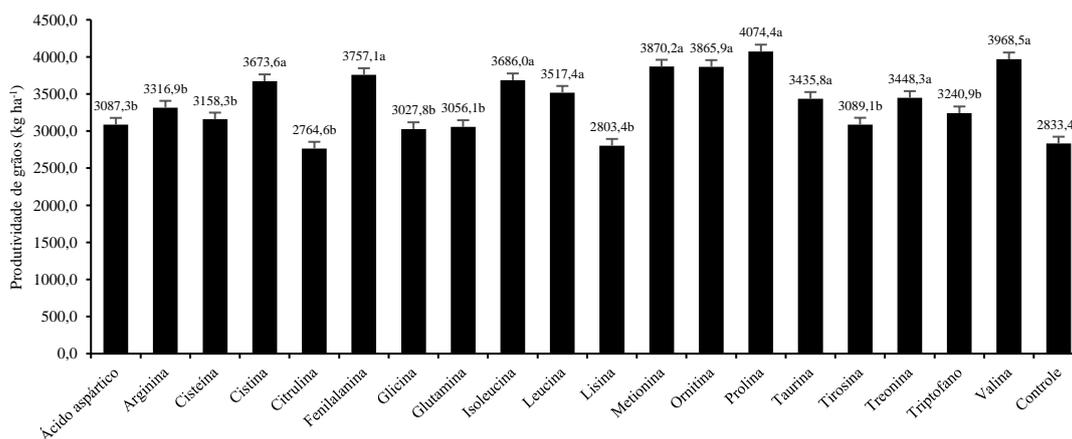


Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si (Scott-Knott a 5%).

Figura 4. Altura de plantas de soja submetidas à aplicação foliar de aminoácidos, safra 2019-20, Rio Verde – GO.

A Cistina, Fenilalanina, Isoleucina, Leucina, Metionina, Ornitina, Prolina, Taurina, Treonina e Valina promoveram incremento médio de 22,77% ($691,9 \text{ kg ha}^{-1}$) na produtividade de grãos de soja, quando comparadas ao Controle e aos demais aminoácidos (Figura 5).

Cistina, Fenilalanina, Isoleucina, Leucina, Metionina, Ornitina, Prolina, Taurina, Treonina e Valina mostraram-se mais eficientes que os outros aminoácidos, assim como o tratamento Controle.



Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si (Scott-Knott a 5%).

Figura 5. Produtividade de grãos de soja submetidas à aplicação foliar de aminoácidos, safra 2019-20, Rio Verde – GO.

Os aminoácidos são precursores de substâncias que regulam o metabolismo vegetal e a produção de enzimas como a superóxido dismutase, catalase e peroxidase (SHARMA; BHARDWAJ, 2014; GLUHIĆ *et al.*, 2020).

Santos *et al.* (2014) observaram que bioestimulantes contendo aminoácidos promoveram incrementos na produtividade de grãos, tanto em aplicações de sementes quanto foliares. Os resultados encontrados por Teixeira *et al.* (2022) corroboram com os deste estudo, ao analisarem o efeito de aminoácidos aplicados via foliar observaram incrementos na produtividade de cafeeiros.

Os aminoácidos estão diretamente relacionados ao aumento da estabilização das membranas celulares e ácidos nucleicos, à manutenção do potencial redox celular ideal, bem como à remoção de espécies reativas de oxigênio (EROs). Além de promover diminuição da acidose citoplasmática e propiciar a manutenção da relação de NADP⁺/NADPH compatíveis com o metabolismo celular (ALHASAWI *et al.*, 2015; NAZAR *et al.*, 2015).

Considerando o potencial de melhoria no desempenho vegetativo e produtivo da soja, a utilização de aminoácidos deve ser mais investigada, especialmente em condições ambientais mais susceptíveis ao déficit hídrico. É importante destacar, ainda, que o uso de aminoácidos consiste em uma tecnologia relativamente de baixo custo, fácil aplicação e não poluente; sustentável sob o ponto de vista econômico e ambiental.

4.4 CONCLUSÃO

A aplicação foliar de aminoácidos melhora o desempenho produtivo e a altura de plantas de soja.

A aplicação foliar de Ácido aspártico, Arginina, Cisteína, Cistina, Taurina, Tirosina, Treonina, Triptofano e Valina induziu respostas na altura de planta.

O uso da Cistina, Fenilalanina, Isoleucina, Leucina, Metionina, Ornitina, Prolina, Taurina, Treonina e Valina promoveu incrementos na produtividade de grãos.

A aplicação foliar de aminoácido não promove alterações no teor de macro e micronutrientes em folhas de soja.

Com base nos resultados a conclusão é que para melhor desempenho fisiológico uma formulação de biofertilizante deverá conter Cistina, Taurina, Treonina, Triptofano e Valina, pois, estes aminoácidos apresentaram efeitos positivos nas variáveis altura de plantas de soja e produtividade de grãos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abo Sadera, F. A., Abd El-Latif, A. A., Bader, L. A. A., & Rezk, S. M. (2010). Effect of NPK mineral fertilizer levels and foliar application with humic and amino acids on yield and quality of strawberry. *Egypt J Appl Sci*, 25, 154-169.
- Alhasawi, A., Castonguay, Z., Appanna, N. D., Auger, C., & Appanna, V. D. (2015). Glycine metabolism and anti-oxidative defence mechanisms in *Pseudomonas fluorescens*. *Microbiological research*, 171, 26-31.
- 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.
- Amir, R., Galili, G., & Cohen, H. (2018). The metabolic roles of free amino acids during seed development. *Plant Science*, 275, 11-18.
- Chen, Q., Wang, Y., Zhang, Z., Liu, X., Li, C., & Ma, F. (2022). Arginine increases tolerance to nitrogen deficiency in *Malus hupehensis* via alterations in photosynthetic capacity and amino acids metabolism. *Frontiers in plant science*, 12, 772086.
- Dörr, C. S., de Almeida, T. L., Camara, A. M., Prates, J. F., & Panozzo, L. E. (2019). Crescimento de plantas de trigo oriundas de sementes, de alto e baixo vigor, tratadas com aminoácidos. *Revista Engenharia na Agricultura*, 27(5), 381-389.
- Ferreira, D. F. (2014). Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e agrotecnologia*, 38, 109-112.
- Gins, M. S., Gins, V. K., Baikov, A. A., Kononkov, P. F., Pivovarov, V. F., Sidelnikov, N. I., ... & Goncharova, O. I. (2017). Antioxidant content and growth at the initial ontogenesis stages of *Passiflora incarnata* plants under the influence of biostimulant Albit. *Russian agricultural sciences*, 43(5), 384-389.
- Gluhic, D. (2020). Primjena biostimulatora na bazi aminokiselina u poljoprivrednoj proizvodnji. *Glasnik Zaštite Bilja*, 43(3.), 38-46.
- Hammad, S. A., & Ali, O. A. (2014). Physiological and biochemical studies on drought tolerance of wheat plants by application of amino acids and yeast extract. *Annals of Agricultural Sciences*, 59(1), 133-145.
- Köppen, W., & Geiger, R. (1928). *Klimate der Erde*. Gotha: Verlagcondicionadas. *Justus Perthes*.
- Liu, X. Q., Chen, H. Y., Ni, Q. X., & Kyu, S. L. (2008). Evaluation of the role of mixed amino acids in nitrate uptake and assimilation in leafy radish by using ¹⁵N-labeled nitrate. *Agricultural Sciences in China*, 7(10), 1196-1202.
- Malavolta, E., Vitti, G. C., & Oliveira, S. A. D. (1997). Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 319 p.
- Mondal, M. F., Asaduzzaman, M., Tanaka, H., & Asao, T. (2015). Effects of amino acids on the growth and flowering of *Eustoma grandiflorum* under autotoxicity in closed hydroponic culture. *Scientia Horticulturae*, 192, 453-459.
- Nazar, R., Umar, S., & Khan, N. A. (2015). Exogenous salicylic acid improves photosynthesis and growth through increase in ascorbate-glutathione metabolism and S assimilation in mustard under salt stress. *Plant signaling & behavior*, 10(3), e1003751.
- Santos Costa, L. F. Dos., Melo Ferreira, E. De., Junqueira, P. H., Lobo, L. M., Muniz, C. O., & dos Santos Isepon, J. Características físicas, químicas e produtividade de laranja 'Pera' em função da aplicação de aminoácidos em cobertura. *Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas*, 10(1).

Santos, H. G. Dos., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C. Dos., Oliveira, V. A. De., Lumbreras, J. F., Coelho, M. R., Cunha, T. J. F. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5.ed. Brasília: Embrapa, 2018. 355p.

Sh Sadak, M., Abdelhamid, M. T., & Schmidhalter, U. (2015). Effect of foliar application of aminoacids on plant yield and some physiological parameters in bean plants irrigated with seawater. *Acta biológica colombiana*, 20(1), 141-152.

Sharma, A., & Bhardwaj, R. D. (2014). Effect of seed pre-treatment with varying concentrations of salicylic acid on antioxidant response of wheat seedlings. *Indian journal of plant physiology*, 19(3), 205-209.

Silva, N. F. Da., Cunha, F. N., Teixeira, M. B., Soares, F. A. L., Vidal, V. M., & Morais, W. A. (2017). Reposição hídrica e adubação nitrogenada na cana-de-açúcar via gotejamento subsuperficial: cana-planta e cana-soca 107127/rbaiv11n600642. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 11(6), 1862.

Sousa, D. M. G., Lobato, E. (Eds). Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica/Embrapa-CPA, 2004. 416 p.

Teixeira, N. T., dos Santos, N. M. C., Jesus, A. S., & de Oliveira, F. C. (2022). Formulado comercial contendo nitrogênio, fósforo e aditivado com aminoácidos via foliar em cafeeiro. *Revista Foco*, 15(5), e525-e525.

Teixeira, W. F., Fagan, E. B., Soares, L. H., Umburanas, R. C., Reichardt, K., & Neto, D. D. (2017). Foliar and seed application of amino acids affects the antioxidant metabolism of the soybean crop. *Frontiers in plant science*, 8, 327.

Urbano-Gámez, J. A., El-Azaz, J., Ávila, C., de la Torre, F. N., & Cánovas, F. M. (2020). Enzymes Involved in the biosynthesis of arginine from ornithine in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). *Plants*, 9(10), 1271.

Wang, J., Liu, Z., Wang, Y., Cheng, W., & Mou, H. (2014). Production of a water-soluble fertilizer containing amino acids by solid-state fermentation of soybean meal and evaluation of its efficacy on the rapeseed growth. *Journal of Biotechnology*, 187, 34-42.

Winter, G., Todd, C. D., Trovato, M., Forlani, G., & Funck, D. (2015). Physiological implications of arginine metabolism in plants. *Frontiers in plant science*, 6, 534.

Yang, Q., Zhao, D., & Liu, Q. (2020). Connections between amino acid metabolisms in plants: lysine as an example. *Frontiers in Plant Science*, 11, 928.

5 CAPÍTULO III - DESEMPENHO VEGETATIVO, PRODUTIVIDADE E NUTRIÇÃO DA CULTURA DO MILHO INDUZIDAS PELA APLICAÇÃO FOLIAR DE AMINOÁCIDOS

RESUMO: Os aminoácidos constituem as proteínas, além de serem precursores de inúmeras substâncias que regulam o metabolismo vegetal, e por isso são usados na bioestimulação de plantas. Partindo da hipótese que a aplicação de aminoácidos melhora o desempenho produtivo, as variáveis biométricas de crescimento e o teor de nutrientes em plantas. Objetivou-se com este estudo avaliar a influência da aplicação isolada de aminoácidos via foliar nas variáveis biométricas de crescimento e nutricionais, no índice de clorofila e na produtividade de grãos da cultura do milho. O experimento foi conduzido em condições de campo, em um Latossolo Vermelho distrófico. O delineamento estatístico foi em blocos casualizados com quatro repetições, e 20 tratamentos, as parcelas experimentais foram compostas por 8 linhas espaçadas em 0,45m e 10 m de comprimento com bordaduras de 2 m entre parcelas e 0,90 m entre blocos. Os tratamentos consistiram na aplicação de aminoácidos isolados: Ácido aspártico; Arginina; Cisteína; Cistina; Citrulina; Fenilalanina; Glicina; Glutamina; Isoleucina; Leucina; Lisina; Metionina; Ornitina; Prolina; Taurina; Tirosina; Treonina; Triptofano; Valina, respectivamente, aplicados na dose de 20 g ha⁻¹ em dois estádios fenológicos da cultura do milho (V4 + V9). Foram avaliadas as variáveis biométricas (altura de planta, altura de inserção de primeira espiga, número de folhas, largura das folhas, comprimento das folhas, diâmetro de colmo, diâmetro do colmo na inserção de primeira espiga), nutricionais (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn), dos teores de clorofila (índice Falker[®] de Clorofila *a*, *b* e total) e produtivos (massa de 100 grãos e a produtividade de grãos). Os aminoácidos promoveram incrementos na produtividade de grãos de milho.

Palavras-chave: *Zea mays* (L.), Estresse bióticos e abióticos, Estado nutricional de plantas, Macronutrientes, Micronutrientes, Produtividade.

VEGETATIVE PERFORMANCE, PRODUCTIVITY AND NUTRITION) OF CORN CULTURE INDUCED BY FOLIAR APPLICATION OF AMINO ACIDS

ABSTRACT: Amino acids make up proteins, in addition to being precursors of numerous substances that regulate plant metabolism, and therefore are used in plant biostimulation. Starting from the hypothesis that the amino acids application improves the productive performance, the biometric variables of growth and the nutrient content in plants. The objective of this study was to evaluate the biometric variables of growth and nutrition, the chlorophyll index and the grain yield of maize plants submitted to isolated application of amino acids. The experiment was carried out under field conditions, in a dystrophic Red Oxisol. The statistical design was in randomized blocks with four replications, and 20 treatments, the experimental plots were composed of 8 rows spaced at 0.45m and 10 m long with borders of 2 m between plots and 0.90 m between blocks. The treatments consisted of the isolated amino acids application: Aspartic acid; Arginine; Cysteine; Cystine; Citrulline; Phenylalanine; Glycine; Glutamine; Isoleucine; Leucine; Lysine; Methionine; Ornithine; Proline; Taurine; tyrosine; Threonine; Tryptophan; Valine, respectively, applied at a dose of 20 g ha⁻¹ in two phenological stages of the corn crop (V4 + V9). The biometric variables (plant height, height of first ear insertion, number of leaves, leaf width, leaf length, stem diameter, stem diameter at first ear insertion), nutritional (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn), chlorophyll contents (Falker® index of Chlorophyll a, b and total) and yield (mass of 100 grains and grain yield) were evaluated. Amino acids promoted increments in corn grain yield.

Keywords: *Zea mays* (L.), Biotic and abiotic stress, Nutritional status of plants, Macronutrients, Micronutrients, Productivity.

5.1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um dos principais cereais cultivadas no mundo. Entre os maiores produtores destacam-se países como os Estados Unidos, a China e o Brasil (USDA, 2017). Após o cultivo da soja, a cultura do milho tornou-se a principal cultura, ocupando a área de 21.581,9 mil hectares, com produção de 113.272,1 mil toneladas (CONAB, 2022). A importância da cultura do milho vai desde a segurança alimentar global atual e futura, no balanço global de carbono (planta C4) e pela sua tolerância e diversidade quanto ao ambiente de cultivo (ALZREEJAWI; AL-JUTHERY, 2021).

A cultura do milho apesar de apresentar capacidade genética que permite a obtenção de altos tetos produtivos, fatores edafoclimáticos associado à nutrição inadequada ainda são os principais limitantes. Em função do aumento de áreas agricultáveis associada à necessidade de aumento de produtividade das lavouras de grãos já existentes no Brasil, é primordial a busca de novas soluções que visem melhorar os níveis de produtividade e reduzir os custos de produção (CAVALCANTE *et al.*, 2020), e pode ser corroborada pelo cumprimento do segundo Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Organizações das Nações Unidas (ONU), que trata da fome zero e agricultura sustentável. Esse objetivo visa buscar alternativas para erradicar a fome, garantir a segurança alimentar, melhorar a nutrição da humanidade e estabelecer a agricultura sustentável (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2022).

Diversos estudos têm mostrado a importância do uso de aminoácidos via foliar como fonte externa de nutrição mineral, porém, na maioria os aminoácidos são aplicados como mistura de um complexo de aminoácidos, e não de forma isolada, além de não apresentar quantidades definidas, como acontece com os fertilizantes minerais em que pode ser ajustado de acordo com a necessidade da cultura (REZAEIPOUR *et al.*, 2016; JANG & KUK, 2021). Aminoácidos são compostos orgânicos de baixo peso molecular, com o grupo funcional constituído de um carbono central assimétrico, e os ligantes: grupo amino (NH₂), grupo carboxílico (COOH), hidrogênio (H) e um radical (R) que diferencia a fórmula molecular entre os aminoácidos. Os aminoácidos constituem as proteínas além de serem precursores de inúmeras substâncias que regulam o metabolismo vegetal (WINTER *et al.*, 2015; CASTRO *et al.*, 2017; AMIR *et al.*, 2018; YANG *et al.*, 2018; GLUHIĆ *et al.*, 2020; URBANO-GÁMEZ *et al.*, 2020; CHEN *et al.*, 2022).

A síntese de aminoácidos envolve muitos metabólitos essenciais de certas vias metabólicas, processos e funções importantes nas plantas, como vias fisiológicas e bioquímicas, que afetam muitos processos fisiológicos (WINTER *et al.*, 2015; AMIR *et al.*, 2018; YANG *et*

al., 2018; URBANO-GÁMEZ *et al.*, 2020; CHEN *et al.*, 2022). A absorção dos aminoácidos em uma planta pode ocorrer através das folhas, caules e ramos. A aplicação de aminoácidos não tem o objetivo de suprir a necessidade de aminoácidos para a realização de síntese proteica, mas sim, como ativador do metabolismo fisiológico das plantas, tendo importante ação como agente remediador de estresses (HAMMAD; ALI, 2014; MONDAL *et al.*, 2015; DÖRR *et al.*, 2019).

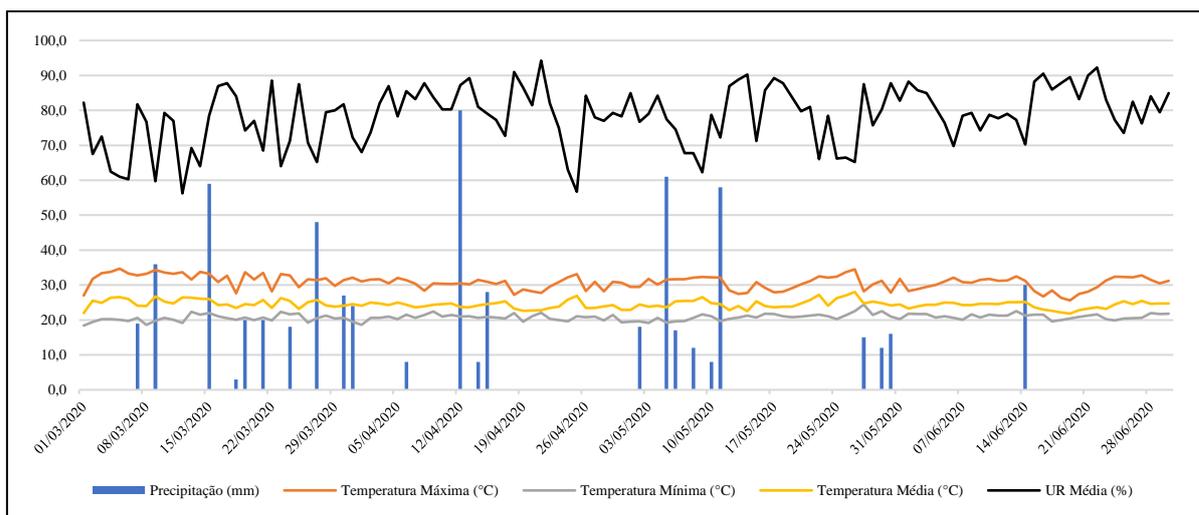
A aplicação foliar de aminoácidos podem potencializar os mecanismos que a planta possui para mitigar situações adversas (TAIZ *et al.*, 2017; TEIXEIRA *et al.*, 2017; GLUHIĆ, 2020), bem como promover o incremento na velocidade de resposta frente a essas condições. A aplicação exógena de aminoácidos é justificada porque planta não precisar investir energia para síntese de aminoácidos imprescindíveis em algumas circunstâncias, além de elevar os níveis de produtividade das mais diversas culturas.

Alguns aminoácidos são moléculas sinalizadoras para a ativação de diferentes mecanismos de defesas das plantas, influenciando na modificação do sistema antioxidante por estimular a ação e produção das enzimas superóxido dismutase, catalase e peroxidase (SHARMA; BHARDWAJ, 2014). Embora as evidências dos efeitos da aplicação de aminoácidos tenham sido documentadas, poucos trabalhos estão relacionados à cultura do milho (YAKHIN *et al.*, 2017; FLEMING *et al.*, 2019; ALFOSEA-SIMÓN *et al.*, 2020).

Partindo da hipótese de que a aplicação de aminoácidos melhora o desempenho produtivo, as variáveis biométricas e o teor de nutrientes em plantas. Objetivou-se com o presente estudo avaliar os parâmetros biométricos e nutricionais, índice de clorofila e a produtividade de grãos de plantas de milho submetida a aplicação isolada de aminoácidos.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em condições de campo, em uma área destinada a experimentação agrícola, com semeadura realizada em 20 de março de 2020 em Rio Verde, Estado de Goiás, Brasil (17°44'20.88''S e 50°57'55.79''O, altitude de 860 m). Segundo a classificação de Köppen & Geiger (1928) e Alvares *et al.* (2013), clima da região é classificado como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro a maio, e com seca nos meses de junho a setembro. A temperatura média anual varia de 20 a 35°C e as precipitações variam de 1.500 a 1.800 mm anuais e o relevo é suave ondulado (6% de declividade) (SILVA *et al.*, 2017) (Figura 6).



Fonte: Estação Normal INMET – Rio Verde – GO, corrigidos pelos dados coletados *in loco*.

Figura 6. Dados diários de precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa no período decorrente do experimento de milho, segunda safra 2020-20, Rio Verde – GO.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (LVd) (SANTOS *et al.*, 2018). A adubação de semeadura foi realizada com base na análise química do solo (Tabela 11) e de acordo com a recomendação de Sousa & Lobato (2004).

Tabela 11. Análise química e granulométrica do solo, em amostras coletadas antes da implantação do experimento.

Prof. cm	pH	Macronutrientes							M.O. g dm ⁻³	SB cmol _c dm ⁻³	CTC	V %	m
		P	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al					
0-20	4,8	5,6	12,6	12,8	2,1	1,2	0,9	5,3	30,5	3,8	9,1	40,5	9,9
20-40	4,6	0,9	16,0	3,2	0,7	0,5	0,1	5,1	22,2	1,3	6,4	20,5	1,6
Micronutrientes							Granulometria						
	B	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	Areia	Silte	Argila	Classe textural			
	mg dm ⁻³						g kg ⁻¹						
0-20	0,2	3,2	2,7	29,0	35,9	2,3	330	80	590	Argiloso			
20-40	0,1	3,2	3,0	32,0	9,7	0,2	330	40	630	M. Argiloso			

pH da solução do solo, determinado em solução de cloreto de cálcio; MO: matéria orgânica, determinação por método colorimétrico; P: fósforo, melhich; K⁺: potássio, melhich; Ca²⁺ e Mg²⁺: teores trocáveis de cálcio e magnésio, respectivamente, em KCl; S-SO₄²⁻: Enxofre na forma de sulfatos, extraído por fosfato de cálcio e determinado por colorimetria. Al³⁺: Alumínio trocável, extraído por solução de cloreto de potássio a 1 mol L⁻¹. H+Al: acidez total do solo, determinada em solução tampão SMP a pH 7,5. SB: soma de bases (K⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺). CTC: capacidade de troca de cátions (K⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺ + H+Al). V: saturação por bases do solo (relação SB/CTC). m: saturação por alumínio [relação Al³⁺/(SB+Al³⁺)]. Cu, Fe, Mn e Zn: respectivamente, cobre, ferro, manganês e zinco, extraídos por solução melhich.

O cultivo foi realizado no sistema plantio direto, utilizando para a semeadura do milho uma semeadora Jumil de 12 linhas, mecânica, equipada com mecanismo de abertura de sulco do tipo disco duplo, com população de plantas de 60 mil plantas ha⁻¹ (*Zea mays* (L.) – híbrido 2A401 PW).

As quantidades e adubos utilizados tanto na semeadura do milho como em cobertura estão descritos na Tabela 12.

Tabela 12. Quantidades e adubos utilizados.

Adubação	Fonte	Quantidade
Semeadura	Formulado 05-25-18 ¹	350 kg ha ⁻¹
Cobertura	Ureia 45% de N ²	200 kg ha ⁻¹

¹Aplicado no sulco de semeadura. ²Aplicado a lanço em área total 20 dias após a emergência da cultura.

O manejo fitossanitário foi realizado por meio de aplicação via foliar de produtos químicos para o controle de doenças, pragas e plantas daninhas (Tabela 13).

Tabela 13. Número de aplicações, época, dose, produto comercial e princípios ativos utilizados durante o cultivo do milho.

Aplicação	Época	Dose e produto comercial e princípios ativos
1 ^a	Pré-plantio	3,0 L ha ⁻¹ de Crucial (Glifosato) + 1,0 L ha ⁻¹ de Viance (Cletodim)
TS	Semeadura	0,5 L 100 kg de semente de Cropstar (Tiodicarbe + Imidacloprido) + Protreat (Tiram + Carbendazin) + 0,1 L/100 kg de semente de Nodumax Gramínea (<i>Azospirillum brasilense</i>)
2 ^a	Pós-emergente 20 DAE	1,5 L PROOF (Atrazina) + 2,0 L ha ⁻¹ de Crucial (Glifosato)
3 ^a	1 ^a Fungicida 40 DAE	0,4 L ha ⁻¹ de Helmstar plus (Azoxistrobina + Tebuconazol) + 0,2 L ha ⁻¹ de Valio (Óleo de laranja)
4 ^a	2 ^a Fungicida 60 DAE	0,75 L ha ⁻¹ de Nativo (Trifloxistrobina + Tebuconazol) + 0,6 L ha ⁻¹ de Lannate (Metomil) + 0,2 L ha ⁻¹ de Valio (Óleo de laranja)

TS – Tratamento de sementes; DAE – dias após a emergência.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 20 tratamentos e quatro repetições. As parcelas experimentais foram compostas por oito linhas espaçadas em 0,45 m e 10 m de comprimento com bordaduras de 2 m entre parcelas e 0,90 m entre blocos, foram testados diferentes aminoácidos (Tabela 14).

Tabela 14. Descrição dos tratamentos, número de aplicações, época e doses utilizadas.

Tratamentos	Formulação	Dose (g ha ⁻¹)	Estádios
1	Ácido aspártico	20	V4 + V9
2	Arginina	20	V4 + V9
3	Cisteína	20	V4 + V9
4	Cistina	20	V4 + V9
5	Citrulina	20	V4 + V9
6	Fenilalanina	20	V4 + V9
7	Glicina	20	V4 + V9
8	Glutamina	20	V4 + V9
9	Isoleucina	20	V4 + V9
10	Leucina	20	V4 + V9
11	Lisina	20	V4 + V9
12	Metionina	20	V4 + V9
13	Ornitina	20	V4 + V9
14	Prolina	20	V4 + V9
15	Taurina	20	V4 + V9
16	Tirosina	20	V4 + V9
17	Treonina	20	V4 + V9
18	Triptofano	20	V4 + V9
19	Valina	20	V4 + V9
20	-	-	-

A dose de 40 g ha⁻¹ foi definida em estudo prévio, cuja dose dividida em dois estádios fenológicos do milho (V4 + V9), principal momento em que os produtores realizam também o manejo fitossanitário. As aplicações foram realizadas por meio de um pulverizador costal com pressurização por CO₂ munido de barra de 2 m, contendo quatro pontas de pulverização do tipo TT 110.02 (0,45 m entre pontas), aplicando-se volume de calda equivalente a 100 L ha⁻¹. As condições ambientais foram sempre monitoradas para obter condição favorável de temperatura média 25°C, UR média de 60% e velocidade do vento média de 2,5 km h⁻¹.

Na época de pleno pendoamento ou fase VT do desenvolvimento fisiológico do milho, foi realizada a avaliação dos teores de clorofila, por meio do Índice Falker[®] de Clorofila, mensurados por meio do medidor de clorofila do tipo ClorofiLOG1030[®], modelo CFL1030 (Falker[®], Porto Alegre, Brasil). As medições de clorofila foram feitas em quatro plantas por parcela, e foram determinados os teores de clorofila *a*, *b*, e total.

Antes da colheita, avaliaram-se, em cinco plantas por parcela, as seguintes variáveis: altura de planta – distância do nível do solo até a inserção da última folha, com auxílio de uma fita métrica; altura de inserção de primeira espiga – distância do nível do solo até a inserção da espiga, com auxílio de uma fita métrica; número de folhas – determinado através da contagem de folhas por planta; largura das folhas – determinada no ponto de maior dimensão, com auxílio de uma fita métrica; comprimento das folhas –

determinado através do comprimento total das folhas, com auxílio de uma fita métrica; diâmetro de colmo – determinado no primeiro entrenó acima do nível do solo, com o auxílio de um paquímetro; diâmetro do colmo na inserção de primeira espiga - determinado no primeiro entrenó abaixo da espiga, com o auxílio de um paquímetro digital.

Para a determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn foliar, foram coletados o terço médio da folha da base da espiga principal de 10 plantas de milho, no florescimento da cultura, de cada parcela, conforme metodologia descrita em Malavolta *et al.* (1997). Para tanto, as folhas foram submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada à temperatura média de 65°C até atingir massa constante, e posteriormente moídas em moinho tipo Willey para a determinação dos teores de nutrientes.

No final do ciclo, a colheita foi realizada manualmente, na área útil de cada parcela e posteriormente foram quantificadas a massa de 100 grãos e a produtividade de grãos. A produtividade de grãos foi determinada, colhendo e trilhando as espigas, a seguir, foi determinado o teor de água da massa total de grãos e corrigido para 13% de umidade, e os valores extrapolados para kg ha⁻¹.

Os dados foram submetidos à análise de variância ($p < 0,05$) e os casos de significância foram submetidos ao teste de média (Scott-Knott $p < 0,05$), utilizando o software estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2014).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis massa de 100 grãos e a produtividade de grãos de milho apresentaram efeitos significativos em função da aplicação foliar de aminoácidos. As variáveis biométricas, os teores foliares de macro e micronutrientes e o índice Falker[®] de Clorofila *a*, *b* e total, não foram influenciados pela aplicação foliar de aminoácidos (Tabela 15).

Tabela 15. Resumo da análise de variância dos efeitos da aplicação foliar de aminoácidos nas variáveis biométricas, nutricionais, índice de clorofila e de produtividade de grãos de milho de segunda safra 2020, Rio Verde - GO.

FV	GL	Quadrados médios			
		Altura de planta	Altura de inserção da espiga	Número de folhas	Comprimento médio das folhas
Tratamentos	19	161,182 ^{ns}	46,095 ^{ns}	0,506 ^{ns}	28,174 ^{ns}
Blocos	3	435,741	157,620	2,456	20,449
Resíduo	57	180,249	56,154	0,529	23,949
CV (%)		6,12	7,56	6,37	4,69

FV	GL	Quadrados médios		
		Largura média das folhas	Diâmetro de colmo	Diâmetro do colmo na inserção da espiga
Tratamentos	19	0,420 ^{ns}	3,433 ^{ns}	3,884 ^{ns}
Blocos	3	0,521	9,639	10,709
Resíduo	57	0,360	2,922	2,836
CV (%)		5,68	7,59	6,68

FV	GL	Quadrados médios					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Tratamentos	19	5,930 ^{ns}	0,490 ^{ns}	18,108 ^{ns}	30,382 ^{ns}	2,373 ^{ns}	3,278 ^{ns}
Blocos	3	27,217	3,575	103,578	503,766	72,167	5,685
Resíduo	57	10,018	0,513	18,871	20,799	2,157	3,341
CV (%)		7,80	20,23	27,06	21,09	15,49	54,19

FV	GL	Quadrados médios				
		Fe	Mn	Cu	Zn	B
Tratamentos	19	20486,226 ^{ns}	2443,881 ^{ns}	6,690 ^{ns}	42,879 ^{ns}	71,946 ^{ns}
Blocos	3	568947,509	4079,361	30,227	367,686	114,233
Resíduo	57	16404,618	2689,721	5,868	46,187	79,405
CV (%)		29,51	82,07	19,19	16,64	20,70

FV	GL	Quadrados médios		
		Índice Falker® de Clorofila		
		Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total
Tratamentos	19	8,254 ^{ns}	1,877 ^{ns}	12,845 ^{ns}
Blocos	3	23,825	23,491	83,919
Resíduo	57	5,120	4,079	15,167
CV (%)		5,41	14,35	6,97

FV	GL	Quadrados médios	
		Massa de 100 grãos	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)
Tratamentos	19	14,766 ^{**}	580386,579 ^{**}
Blocos	3	0,924	36275,017
Resíduo	56	0,925	36372,183
CV (%)		4,50	4,51

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

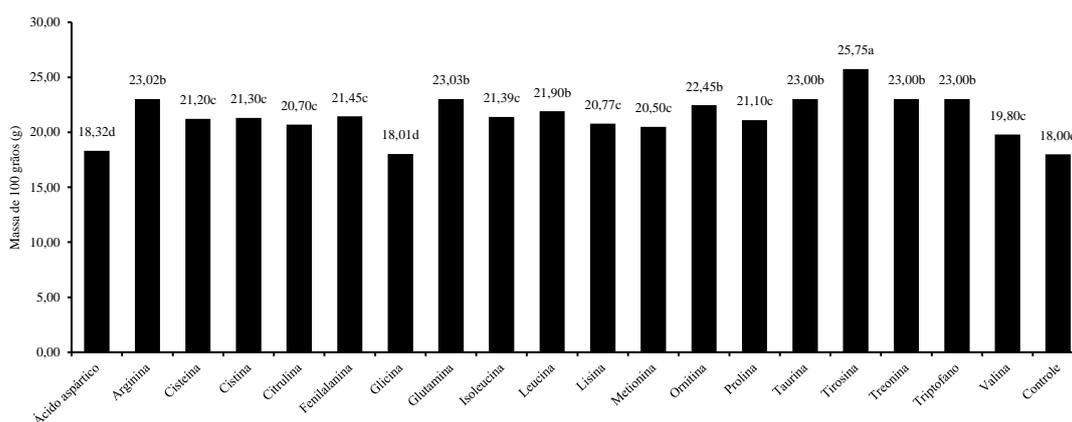
Bassi *et al.* (2018) em seu estudo não observaram variações significativas nas variáveis biométricas como altura de planta, diâmetro de colmo e número de folhas de cana-de-açúcar. Os aminoácidos não se caracterizam como fontes de nutrientes e o objetivo da sua aplicação não é suprir a necessidade de substâncias essenciais para o crescimento das plantas, mas ser um ativador do metabolismo fisiológico das plantas (HAMMAD; ALI, 2014; MONDAL *et al.*, 2015; DÖRR *et al.*, 2019).

Resultados encontrados por Gazola *et al.* (2014) corroboram com o presente estudo, uma vez que não foram constatados efeitos significativos para as doses de aminoácidos aplicadas via foliar. Não obstante, os resultados obtidos por Picolli *et al.* (2009) divergem dos resultados obtidos neste estudo, pois os autores concluíram que ao realizar a aplicação de produtos à base de aminoácidos em tratamento de sementes e via foliar na fase de perfilhamento na cultura do trigo, que os produtos proporcionaram não somente ganhos significativos em produtividade de grãos, mas, também benefícios à cultura em situações adversas, como o déficit hídrico por exemplo.

O uso de Tirosina promoveu os maiores incrementos na massa de 100 grãos, com um incremento médio de 43,05% (7,75 g) quando comparado ao Controle (Figura 7).

Todavia, o uso de outros aminoácidos como Arginina, Glutamina, Leucina, Ornitina, Taurina, Treonina e Triptofano, proporcionaram incrementos inferiores aos observados no uso da Tirosina, porém superiores aos observados no Controle. A aplicação de Arginina, Glutamina, Leucina, Ornitina, Taurina, Treonina e Triptofano, promoveram incremento médio de 26,5% (4,77 g) quando comparados ao Controle (Figura 7).

Não obstante, apesar de apresentarem massa de 100 grãos inferiores aos demais aminoácidos, a aplicação foliar de Cisteína, Cistina, Fenilalanina, Isoleucina, Lisina, Metionina, Prolina e Valina proporcionaram incremento médio de 16,16% (2,91 g) quando comparados com o Controle. Já os aminoácidos Ácido Aspártico e Glicina não diferiram do tratamento Controle (Figura 7).

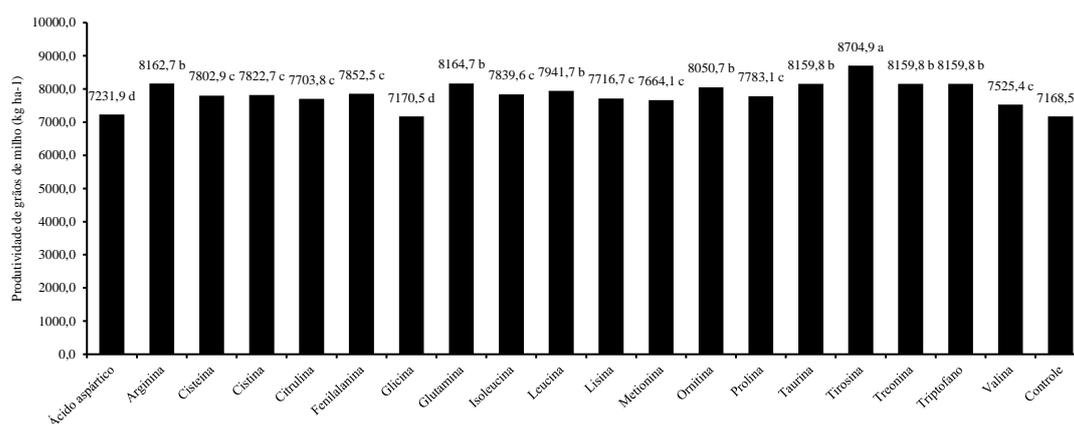


Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Figura 7. Massa de 100 grãos de milho submetidas à aplicação foliar de aminoácidos, segunda safra 2020-20, Rio Verde – GO.

Dentre os aminoácidos testados, a Tirosina promoveu o maior incremento na produtividade de grãos de milho, sendo observado incremento médio de 43,0% (1.536,4 kg ha⁻¹) quando comparado ao Controle (Figura 6). Outros aminoácidos como Arginina, Glutamina, Leucina, Ornitina, Taurina, Treonina e Triptofano, proporcionaram incrementos inferiores aos observados com o uso da Tirosina, porém superiores aos observados no Controle. Arginina, Glutamina, Leucina, Ornitina, Taurina, Treonina e Triptofano, promoveram incremento médio de 26,0% (945,7 kg ha⁻¹) quando comparados ao Controle (Figura 8).

Não obstante, apesar de apresentarem produtividade de grãos inferiores aos demais aminoácidos, Cisteína, Cistina, Fenilalanina, Isoleucina, Lisina, Metionina, Prolina e Valina promoveram incremento de 16,1% (577,1 kg ha⁻¹) quando comparados com o Controle (Figura 8).



Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Figura 8. Produtividade de grãos, em plantas de milho submetidas a aplicação foliar de aminoácidos, segunda safra 2020-20, Rio Verde – GO.

Tais respostas justificam-se, uma vez que os aminoácidos estão relacionados ao aumento da estabilização das membranas celulares e de ácidos nucleicos e à manutenção do potencial redox celular ideal, além da remoção/ regulação de espécies reativas de oxigênio (EROs), os aminoácidos estão, ainda, envolvidos na rota de produção de glioxilato, um composto que pode reduzir H₂O₂ contido nas plantas, a produção de NADPH e ATP, moléculas de energia usadas em diversos processos metabólicos (ALHASAWI *et al.*, 2015).

Santos *et al.* (2014) observaram que uso de aminoácidos aplicados via sementes e via foliar, promoveram incrementos na produtividade de laranja. Os resultados

encontrados por Teixeira *et al.* (2022) corroboram com os obtidos no presente estudo, em que ao analisarem o efeito de aminoácidos aplicados via foliar observaram incrementos na produtividade de cafeeiros. Além de promover diminuição da acidose citoplasmática e propiciar a manutenção da relação de $\text{NADP}^+/\text{NADPH}$ compatíveis com o metabolismo celular (ALHASAWI *et al.*, 2015; NAZAR *et al.*, 2015).

A Tirosina atua como precursor de diversos compostos orgânicos importantes para o metabolismo das plantas, constituindo um poderoso aleloquímico, além de aumentar a atividade de peroxidases, lignina e fenóis (TEIXEIRA *et al.*, 2017). A glutamina está envolvida na absorção e na assimilação do nitrogênio pelas plantas (TAIZ *et al.*, 2017), além de ser investida no aparato fotossintético, como em enzimas do ciclo de Calvin-Benson, RuBPCase, transportadores de elétrons, ATP sintase, PEP carboxilase e clorofilas (KAUR *et al.*, 2016; BASSI *et al.*, 2018).

A taurina é um aminoácido que protege a peroxidação lipídica das membranas celulares, conhecido como bom antioxidante (ASHRAF *et al.*, 2022). A ornitina atua na regulação do crescimento e no desenvolvimento das plantas (HUSSEIN *et al.*, 2019).

A prolina promove aumento da estabilização das membranas celulares e ácidos nucleicos, além de atuar na manutenção do potencial redox e na remoção de espécies reativas de oxigênio (EROs) (SZABADOS; SAVOURÉ, 2010; ALHASAWI *et al.*, 2015).

Os aminoácidos são ácidos orgânicos associados a um ou mais grupamentos amina, que desempenham a função principal de constituir as proteínas além de serem precursores inúmeras substâncias que regulam o metabolismo vegetal (CASTRO *et al.*, 2017; GLUHIC *et al.*, 2020), além de influenciarem a modificação do sistema antioxidante e a produção de diversas enzimas como a superóxido dismutase, catalase e peroxidase (SHARMA; BHARDWAJ, 2014).

Pelo exposto observa-se que o uso de aminoácidos configura uma tecnologia que merece atenção da pesquisa, podendo contribuir na mitigação de estresses bióticos e abióticos, uma vez que é de fácil aplicação, não poluente e de baixo custo, que configura anseio do setor agrícola na atualidade.

5.4 CONCLUSÃO

A aplicação foliar de aminoácidos isolados em plantas de milho, sobretudo tirosina, promoveu incrementos na massa de 100 grãos.

O uso de aminoácidos isolados via foliar em plantas de milho proporcionou incrementos na produtividade de grãos, principalmente a tirosina, com incremento médio de 43%.

Nas condições do presente estudo, a aplicação de aminoácidos via foliar não promoveu alterações nas variáveis biométricas de crescimento, índice de Clorofila e teor de macro e micronutrientes em plantas de milho.

Com base nos resultados a conclusão para melhor desempenho em plantas de milho uma formulação de biofertilizante deverá conter Tirosina, este aminoácido apresentou melhor efeito positivo na produtividade e na massa de 100 grãos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abo Sedera, F. A., Abd El-Latif, A. A., Bader, L. A. A., & Rezk, S. M. (2010). Effect of NPK mineral fertilizer levels and foliar application with humic and amino acids on yield and quality of strawberry. *Egypt J Appl Sci*, 25, 154-169.

- Alhasawi, A., Castonguay, Z., Appanna, N. D., Auger, C., & Appanna, V. D. (2015). Glycine metabolism and anti-oxidative defence mechanisms in *Pseudomonas fluorescens*. *Microbiological research*, *171*, 26-31.
- 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.
- Amir, R., Galili, G., & Cohen, H. (2018). The metabolic roles of free amino acids during seed development. *Plant Science*, *275*, 11-18.
- Chen, Q., Wang, Y., Zhang, Z., Liu, X., Li, C., & Ma, F. (2022). Arginine increases tolerance to nitrogen deficiency in *Malus hupehensis* via alterations in photosynthetic capacity and amino acids metabolism. *Frontiers in plant science*, *12*, 772086.
- Dörr, C. S., de Almeida, T. L., Camara, A. M., Prates, J. F., & Panozzo, L. E. (2019). Crescimento de plantas de trigo oriundas de sementes, de alto e baixo vigor, tratadas com aminoácidos. *Revista Engenharia na Agricultura*, *27*(5), 381-389.
- Ferreira, D. F. (2014). Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e agrotecnologia*, *38*, 109-112.
- Gins, M. S., Gins, V. K., Baikov, A. A., Kononkov, P. F., Pivovarov, V. F., Sidelnikov, N. I., ... & Goncharova, O. I. (2017). Antioxidant content and growth at the initial ontogenesis stages of *Passiflora incarnata* plants under the influence of biostimulant Albit. *Russian agricultural sciences*, *43*(5), 384-389.
- Gluhic, D. (2020). Primjena biostimulatora na bazi aminokiselina u poljoprivrednoj proizvodnji. *Glasnik Zaštite Bilja*, *43*(3.), 38-46.
- Hammad, S. A., & Ali, O. A. (2014). Physiological and biochemical studies on drought tolerance of wheat plants by application of amino acids and yeast extract. *Annals of Agricultural Sciences*, *59*(1), 133-145.
- Köppen, W., & Geiger, R. (1928). *Klimate der Erde*. Gotha: Verlagcondicionadas. *Justus Perthes*.
- Liu, X. Q., Chen, H. Y., Ni, Q. X., & Kyu, S. L. (2008). Evaluation of the role of mixed amino acids in nitrate uptake and assimilation in leafy radish by using ¹⁵N-labeled nitrate. *Agricultural Sciences in China*, *7*(10), 1196-1202.
- Malavolta, E., Vitti, G. C., & Oliveira, S. A. D. (1997). Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 319 p.
- Mondal, M. F., Asaduzzaman, M., Tanaka, H., & Asao, T. (2015). Effects of amino acids on the growth and flowering of *Eustoma grandiflorum* under autotoxicity in closed hydroponic culture. *Scientia Horticulturae*, *192*, 453-459.
- Nazar, R., Umar, S., & Khan, N. A. (2015). Exogenous salicylic acid improves photosynthesis and growth through increase in ascorbate-glutathione metabolism and S assimilation in mustard under salt stress. *Plant signaling & behavior*, *10*(3), e1003751.
- Santos Costa, L. F. Dos., Melo Ferreira, E. De., Junqueira, P. H., Lobo, L. M., Muniz, C. O., & dos Santos Isepon, J. Características físicas, químicas e produtividade de laranja 'Pera' em função da aplicação de aminoácidos em cobertura. *Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas*, *10*(1).
- Santos, H. G. Dos., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C. Dos., Oliveira, V. A. De., Lumberras, J. F., Coelho, M. R., Cunha, T. J. F. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5.ed. Brasília: Embrapa, 2018. 355p.
- Sh Sadak, M., Abdelhamid, M. T., & Schmidhalter, U. (2015). Effect of foliar application of aminoacids on plant yield and some physiological parameters in bean plants irrigated with seawater. *Acta biológica colombiana*, *20*(1), 141-152.

Sharma, A., & Bhardwaj, R. D. (2014). Effect of seed pre-treatment with varying concentrations of salicylic acid on antioxidant response of wheat seedlings. *Indian journal of plant physiology*, 19(3), 205-209.

Silva, N. F. Da., Cunha, F. N., Teixeira, M. B., Soares, F. A. L., Vidal, V. M., & Morais, W. A. (2017). Reposição hídrica e adubação nitrogenada na cana-de-açúcar via gotejamento subsuperficial: cana-planta e cana-soca 107127/rbaiv11n600642. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 11(6), 1862.

Sousa, D. M. G., Lobato, E. (Eds). Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica/Embrapa-CPA, 2004. 416 p.

Teixeira, N. T., dos Santos, N. M. C., Jesus, A. S., & de Oliveira, F. C. (2022). Formulado comercial contendo nitrogênio, fósforo e aditivado com aminoácidos via foliar em cafeeiro. *Revista Foco*, 15(5), e525-e525.

Teixeira, W. F., Fagan, E. B., Soares, L. H., Umburanas, R. C., Reichardt, K., & Neto, D. D. (2017). Foliar and seed application of amino acids affects the antioxidant metabolism of the soybean crop. *Frontiers in plant science*, 8, 327.

Urbano-Gómez, J. A., El-Azaz, J., Ávila, C., de la Torre, F. N., & Cánovas, F. M. (2020). Enzymes Involved in the biosynthesis of arginine from ornithine in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). *Plants*, 9(10), 1271.

Wang, J., Liu, Z., Wang, Y., Cheng, W., & Mou, H. (2014). Production of a water-soluble fertilizer containing amino acids by solid-state fermentation of soybean meal and evaluation of its efficacy on the rapeseed growth. *Journal of Biotechnology*, 187, 34-42.

Winter, G., Todd, C. D., Trovato, M., Forlani, G., & Funck, D. (2015). Physiological implications of arginine metabolism in plants. *Frontiers in plant science*, 6, 534.

Yang, Q., Zhao, D., & Liu, Q. (2020). Connections between amino acid metabolisms in plants: lysine as an example. *Frontiers in Plant Science*, 11, 928.