

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

DANYELA CRISTINA MARQUES PIRES

**RESPOSTA DE GENÓTIPOS DE SOJA QUANTO AO USO DE ÁCIDO
HÚMICO**

Uberlândia - MG

2022

DANYELA CRISTINA MARQUES PIRES

**RESPOSTA DE GENÓTIPOS DE SOJA QUANTO AO USO DE ÁCIDO
HÚMICO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, do Instituto de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para obtenção do título de doutora em

Área de concentração: Fitotecnia

Orientadora: Profa. Dra. Ana Paula Oliveira Nogueira

Coorientadora: Profa. Dra. Regina Maria Quintão Lana

Uberlândia - MG

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

P667r
2022 Pires, Danyela Cristina Marques, 1989-
Resposta de genótipos de soja quanto ao uso de ácido húmico
[recurso eletrônico] / Danyela Cristina Marques Pires. - 2022.

Orientadora: Ana Paula Oliveira Nogueira.
Coorientadora: Regina Maria Quintão Lana.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa
de Pós-Graduação em Agronomia.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2023.8050>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.

1. Agronomia. I. Nogueira, Ana Paula Oliveira, 1981-, (Orient.). II.
Lana, Regina Maria Quintão, 1958-, (Coorient.). III. Universidade
Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV.
Título.

CDU: 631

André Carlos Francisco
Bibliotecário - CRB-6/3408



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Secretaria da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia
 Rodovia BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 206 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: (34) 2512-6715/6716 - www.ppga.iciag.ufu.br - posagro@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agronomia				
Defesa de:	Tese, 08/2022, PPGAGRO				
Data:	Cinco de dezembro de dois mil e vinte e dois	Hora de início:	09:00	Hora de encerramento:	12:03
Matrícula do Discente:	11813AGR004				
Nome do Discente:	Danyela Cristina Marques Pires				
Título do Trabalho:	Resposta de genótipos de soja quanto ao uso de ácido húmico				
Área de concentração:	Fitotecnica				
Linha de pesquisa:	Melhoramento de Plantas				

Reuniu-se por videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, assim composta: Professores Doutores: Regina Maria Quintão Lana - UFU; Reginaldo de Camargo - UFU; Roberta Camargos de Oliveira - IFG; Paulo Henrique Nardon Felici - Bayer Crop; Ana Paula Oliveira Nogueira - UFU orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dra. Ana Paula Oliveira Nogueira, apresentou a Comissão Examinadora e o(a) candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

[A]provado(a).

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Ana Paula Oliveira Nogueira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 05/12/2022, às 12:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Reginaldo de Camargo, Professor(a) do Magistério Superior**, em 05/12/2022, às 12:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Roberta Camargos de Oliveira, Usuário Externo**, em 07/12/2022, às 13:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Henrique Nardon Felici, Usuário Externo**, em 07/12/2022, às 18:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Regina Maria Quintão Lana, Professor(a) do Magistério Superior**, em 07/03/2023, às 10:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4075536** e o código CRC **24222544**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me dar saúde e determinação na busca de meus objetivos.

Ao meu marido William, por me apoiar e incentivar a continuar estudando, e ao meu filho Enzo, que hoje é o meu maior motivo para persistir e seguir em frente.

Ao meu pai Sebastião, por estar sempre disposto a me ajudar, independente do trabalho, se laboratório ou campo, sob chuva ou sol forte, lá estava ele sempre com um sorriso enorme no rosto, emanando boas energias para que tudo desse certo. Serei eternamente grata!

À professora Regina, agradeço imensamente pelos ensinamentos, companheirismo e oportunidade de trabalho que me permitiu continuar no doutorado e me fez evoluir como profissional.

À Mara, que se tornou uma grande amiga. Agradeço por sempre ter dado um jeitinho para me apoiar nos momentos difíceis e na execução dos experimentos, apesar de estar sempre muito ocupada. Jamais esquecerei.

Ao Fernando e em especial ao João Vitor, que foram essenciais para a realização do experimento de campo.

Ao Adílio, muito obrigada por ter sido tão atencioso, pelos ensinamentos e por facilitar o acesso ao laboratório e equipamentos.

À professora Ana Paula, pela orientação, por me compreender nos momentos difíceis e por me chamar a atenção às oportunidades que foram importantes para a conclusão do doutorado.

Aos professores e técnicos da Universidade Federal de Uberlândia, assim como aos meus colegas do Programa de Pós-graduação em Agronomia, pela troca de conhecimentos e momentos de descontração.

Aos membros da banca examinadora, por terem aceitado o convite e pela contribuição na etapa final deste trabalho.

À Fisio-Plant e à Universidade Federal de Uberlândia, por ceder o espaço e os equipamentos necessários para a realização deste estudo.

À CAPES, pelo suporte financeiro durante o último ano de doutorado.

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente para mais essa conquista.

Muito obrigada!

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

RESUMO

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de soja, sendo essencial para a segurança alimentar do País e do mundo. O uso de ácido húmico, que apresenta benefícios para o solo e para as plantas, e a utilização de genótipos eficientes no uso de nutrientes podem contribuir para a intensificação sustentável da agricultura. Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito de ácido húmico em cultivares de soja em condições de laboratório e campo. Em laboratório, foram avaliadas quatro doses de ácido húmico (0, 5, 10 e 15 L ha⁻¹) e seis cultivares de soja (BRS FAVORITA RR, BRS VALIOSA RR, BRSGO 7560, TMG 801, UFUS 6901 e UFUS 7101) em esquema fatorial 4 x 6 e delineamento de blocos casualizados com cinco repetições. A parcela experimental foi composta por um rolo de papel germitest com 50 sementes, que foram mantidas em germinador a 25 °C e fotoperíodo de 12 horas de luz por seis dias. Foi possível concluir que: 1) as cultivares de soja influenciam todas as características avaliadas na germinação e crescimento inicial das plântulas, exceto a porcentagem de plântulas danificadas e sementes duras; 2) a dose de 5 L ha⁻¹ de ácido húmico proporciona aumento da porcentagem de germinação e de plântulas de alto vigor e redução na porcentagem de plântulas anormais e deformadas, assim como maior comprimento e acúmulo de matéria fresca de parte aérea e total das plântulas; e 3) as cultivares apresentam comportamento distinto em função das doses de ácido húmico para porcentagem de plântulas deterioradas, comprimento e matéria fresca de raiz, acúmulo de matéria seca e relação raiz/parte aérea. Em campo, foram avaliadas duas doses de ácido húmico (0 e 15 L ha⁻¹) e seis cultivares de soja (BRS FAVORITA RR, BRS VALIOSA RR, NS 6906 IPRO, TMG 801, UFUS 6901 e UFUS 7101) em esquema fatorial 2 x 6 e delineamento de blocos casualizados com quatro repetições. O experimento foi realizado em Uberlândia-MG, durante a safra 2019-2020, em solo classificado como Latossolo Vermelho, de textura franco arenosa. Foi possível concluir que: 1) o desenvolvimento das plantas de soja e índice SPAD em estágio R5, assim como as características agronômicas e relacionadas à produção diferem entre as seis cultivares de soja, com UFUS 6901 e TMG 801 sendo as mais produtivas; e 2) a aplicação de 15 L ha⁻¹ de ácido húmico no sulco de semeadura não proporciona melhorias ao desenvolvimento e à produção das cultivares de soja, portanto, não é possível diferenciar as cultivares quanto à eficiência no uso de nutrientes.

Palavras-chave: *Glycine max*; substâncias húmicas; bioinsumo; nutrição vegetal.

ABSTRACT

Brazil is the world's largest producer and exporter of soybean, which are essential for the country's and the world's food security. The use of humic acid, which has benefits for the soil and plants, and the use of efficient genotypes in the use of nutrients can contribute to the sustainable intensification of agriculture. Thus, the objective of this research was to evaluate the effect of humic acid on soybean cultivars under laboratory and field conditions. In the laboratory, four doses of humic acid (0, 5, 10 and 15 L ha⁻¹) and six soybean cultivars (BRS FAVORITA RR, BRS VALIOSA RR, BRSGO 7560, TMG 801, UFUS 6901 and UFUS 7101) were evaluated in a 4 x 6 factorial scheme and randomized block design with five replications. The experimental plot consisted of a roll of germitest paper with 50 seeds, kept in a germinator at 25 °C and photoperiod of 12 hours of light for six days. It was possible to conclude that: 1) soybean cultivars influence all the characteristics evaluated in germination and initial growth of the seedlings, except the percentage of damaged seedlings and hard seeds; 2) the dose of 5 L ha⁻¹ of humic acid provides an increase in the percentage of germination and high vigor seedlings and a reduction in the percentage of abnormal and deformed seedlings, as well as greater length and accumulation of fresh matter of the aerial part and total of the seedlings and; 3) the cultivars show different behavior as a function of humic acid doses for the percentage of deteriorated seedlings, root length and fresh matter, dry matter accumulation and root/shoot ratio. In the field, two doses of humic acid (0 and 15 L ha⁻¹) and six soybean cultivars (BRS FAVORITA RR, BRS VALIOSA RR, NS 6906 IPRO, TMG 801, UFUS 6901 and UFUS 7101) were evaluated in a 2 x 6 factorial scheme and a randomized block design with four replications. The experiment was carried out in Uberlândia-MG, during the 2019-2020 harvest, in soil classified as Red Latosol, of sandy loam texture. It was possible to conclude that: 1) the development of soybean plants and SPAD index at R5 stage, as well as the agronomic and production-related characteristics differ among the six soybean cultivars, with UFUS 6901 and TMG 801 being the most productive and; 2) the application of 15 L ha⁻¹ of humic acid in the sowing furrow does not improve the development and production of soybean cultivars, therefore, it is not possible to differ the cultivars regarding the efficiency in the use of nutrients.

Keywords: *Glycine max*; humic substances; bio-input; plant nutrition.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO I

Imagem 1 –	Evolução da área colhida (A) e produção (B) de soja nos principais estados brasileiros, no período de 1974 a 2020.....	5
Imagem 2 –	Ácido húmico. A) Modelo de estrutura macromolecular, mostrando os diversos grupos funcionais, estruturas aromáticas e alifáticas. B) Aspecto morfológico (aumento de 35.000x).....	8

CAPÍTULO II

Imagem 1 –	Instalação do experimento em laboratório. A) Soluções de água destilada e ácido húmico utilizadas para umedecer o substrato; B) Posicionamento das sementes em papel germitest; C) Elaboração dos rolos; D) Rolos envoltos por sacos plásticos para evitar a perda de água; E) Posicionamento dos rolos no germinador.....	28
Imagem 2 –	Exemplo de uma plântula normal de alto vigor (A) e baixo vigor (B); plântula anormal danificada (C), deformada (D) e deteriorada (E); e semente não germinada classificada como dura (F), dormente (G) e morta (H).....	30
Imagem 3 –	Porcentagem de germinação (PG) e de plântulas de alto vigor (PAV), anormais (PA) e deformadas (PDef) de cultivares de soja em função das doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.....	34
Imagem 4 –	Porcentagem de plântulas anormais classificadas como deterioradas (PDet) de cultivares de soja em função das doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.....	36
Imagem 5 –	Comprimento de parte aérea (CPA) e matéria fresca de parte aérea (MFPA) e total (MFT) de plântulas de cultivares de soja em função das doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.....	40
Imagem 6 –	Comprimento de raiz (CR) de plântulas de cultivares de soja em função das doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.....	42

Imagem 7 –	Matéria fresca de raiz (MFR) de plântulas de cultivares de soja em função das doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.....	43
Imagem 8 –	Matéria seca de parte aérea (MSPA) de plântulas de cultivares de soja em função das doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.....	45
Imagem 9 –	Matéria seca de raiz (MSR) de plântulas de cultivares de soja em função das doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.....	46
Imagem 10 –	Matéria seca total (MST) de plântulas de cultivares de soja em função das doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.....	47
Imagem 11 –	Relação entre raiz e parte aérea (R/PA) de plântulas de cultivares de soja em função das doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.....	47
Imagem 12 –	Efeito do ácido húmico nas doses de 0 (A-C), 5 (D-F), 10 (G-I) e 15 L ha ⁻¹ (J-L) em sementes da cultivar BRS FAVORITA RR, BRSGO 7560 e TMG 801, seis dias após a semeadura em papel germitest.....	48
Imagem 13 –	Efeito do ácido húmico nas doses de 0 (A-C), 5 (D-F), 10 (G-I) e 15 L ha ⁻¹ (J-L) em sementes da cultivar UFUS 6901, UFUS 7101 e BRS VALIOSA RR, seis dias após a semeadura em papel germitest.....	49

CAPÍTULO III

Imagem 1 –	Precipitação total e temperatura média entre os meses de dezembro de 2019 e abril de 2020, no município de Uberlândia-MG.....	64
Imagem 2 –	Processo manual de adubação e semeadura (A), aplicação de ácido húmico sobre as sementes (B), adubação de cobertura (C) e visão geral do experimento com plantas em estágio R5-R6, no município de Uberlândia-MG, safra 2019-2020.....	66

Imagem 3 –	Cultivares de soja entre o estágio R5-R6 submetidas à ausência (esquerda) e presença (direita) de ácido húmico, no município de Uberlândia-MG, safra 2019-2020.....	71
------------	---	----

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Tabela 1 –	Fonte e composição química do ácido húmico utilizado no experimento.....	27
Tabela 2 –	Principais características das cultivares.....	27
Tabela 3 –	Pressuposições e resumo da análise de variância para porcentagem de germinação (PG) e de plântulas de alto vigor (PAV), baixo vigor (PBV), deformadas (PDef), deterioradas (PDet), danificadas (PDan) e total de plântulas anormais (PA) de cultivares de soja submetidas a doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.....	32
Tabela 4 –	Porcentagem de germinação (PG) e de plântulas de alto vigor (PAV), baixo vigor (PBV), anormais (PA) e deformadas (PDef) de cultivares de soja submetidas a doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.....	33
Tabela 5 –	Porcentagem de plântulas anormais classificadas como deterioradas (PDet) de cultivares de soja submetidas a doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.....	35
Tabela 6 –	Pressuposições e resumo da análise de variância para porcentagem de sementes não germinadas (PSNG) e classificadas como duras (PSDu), dormentes (PSDo) e mortas (PSMo) de cultivares de soja submetidas a doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.....	37
Tabela 7 –	Porcentagem de sementes não germinadas (PSNG) e classificadas como dormentes (PSDo) e mortas (PSMo) de cultivares de soja submetidas a doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.....	37
Tabela 8 –	Pressuposições e resumo da análise de variância para comprimento da parte aérea (CPA) e de raiz (CR); matéria fresca de parte aérea (MFPA), raiz (MFR) e total (MFT); matéria seca de parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e total (MST); e relação entre raiz e parte	

	aérea (R/PA) de plântulas de cultivares de soja submetidas a doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.....	38
Tabela 9 –	Comprimento de parte aérea (CPA) e matéria fresca de parte aérea (MFPA) e total (MFT) de plântulas de cultivares de soja submetidas a doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.....	39
Tabela 10 –	Comprimento de raiz (CR) de plântulas de cultivares de soja submetidas a doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.....	41
Tabela 11 –	Matéria fresca de raiz (MFR) de plântulas de cultivares de soja submetidas a doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.....	43
Tabela 12 –	Matéria seca de parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e total (MST), e relação entre raiz e parte aérea (R/PA) de plântulas de cultivares de soja submetidas a doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.....	44

CAPÍTULO III

Tabela 1 –	Características físico-químicas do solo da área do experimento, na estação experimental Fisio-Plant, em Uberlândia-MG, 2019.....	64
Tabela 2 –	Fonte e composição química do ácido húmico utilizado no experimento.....	65
Tabela 3 –	Principais características das cultivares.....	65
Tabela 4 –	Pressuposições e resumo da análise de variância para matéria fresca de parte aérea (MFPA) e raiz (MFR), matéria seca de parte aérea (MSPA) e raiz (MSR), volume de raiz (VR) e índice SPAD de cultivares de soja em estágio R5 submetidas à ausência e presença de ácido húmico, no município de Uberlândia-MG, safra 2019-2020.....	69
Tabela 5 –	Matéria fresca de parte aérea (MFPA) e raiz (MFR), matéria seca de parte aérea (MSPA) e raiz (MSR), volume de raiz (VR) e índice SPAD de cultivares de soja em estágio R5 submetidas à ausência e	70

	presença de ácido húmico, no município de Uberlândia-MG, safra 2019-2020.....	
Tabela 6 –	Pressuposições e resumo da análise de variância para altura da planta (AP), altura da primeira vagem (APV), número de nós (NN), número de ramos (NR) e número de nós produtivos (NNP) avaliados após a colheita de cultivares de soja submetidas à ausência e presença de ácido húmico, no município de Uberlândia-MG, safra 2019-2020.....	71
Tabela 7 –	Altura da planta (AP), altura da primeira vagem (APV), número de nós (NN), número de ramos (NR) e número de nós produtivos (NNP) avaliados após a colheita de cultivares de soja submetidas à ausência e presença de ácido húmico, no município de Uberlândia-MG, safra 2019-2020.....	72
Tabela 8 –	Pressuposições e resumo da análise de variância para número de vagens com um grão (NV1), dois grãos (NV2) e três grãos (NV3), número total de grãos (NTG), número de grãos por vagem (NGV), porcentagem de grãos chochos (GC), produtividade de grãos (PG) e peso de mil grãos (g) avaliados após a colheita de cultivares de soja submetidas à ausência e presença de ácido húmico, no município de Uberlândia-MG, safra 2019-2020.....	73
Tabela 9 –	Número de vagens com um grão (NV1), dois grãos (NV2) e três grãos (NV3), número total de grãos (NTG), número de grãos por vagem (NGV), porcentagem de grãos chochos (GC), peso de mil grãos (PMG) e produtividade de grãos (PG) avaliados após a colheita de cultivares de soja submetidas à ausência e presença de ácido húmico, no município de Uberlândia-MG, safra 2019-2020....	74

SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	1
1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 Importância da soja e sua expansão pelo território brasileiro	3
2.2 Tecnologias sustentáveis para o aumento da produtividade de grãos	6
2.2.1 Ácido húmico.....	7
2.2.1.1 Benefícios do ácido húmico para o solo	9
2.2.1.2 Benefícios do ácido húmico para as plantas	10
2.2.2 Cultivares eficientes no uso de nutrientes.....	13
REFERÊNCIAS.....	16
CAPÍTULO II	24
CULTIVARES DE SOJA E DOSES DE ÁCIDO HÚMICO NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES E ESTABELECIMENTO DE PLÂNTULAS.....	24
RESUMO.....	24
ABSTRACT.....	25
1 INTRODUÇÃO.....	26
2 MATERIAL E MÉTODOS	27
2.1 Instalação do experimento	27
2.2 Avaliações	29
2.2.1 Germinação de sementes	29
2.2.2 Crescimento inicial de plântulas.....	31
2.3 Análises estatísticas.....	31
3 RESULTADOS	32
3.1 Germinação de sementes	32
3.2 Crescimento inicial de plântulas.....	38
4 DISCUSSÃO.....	50

4.1 Germinação de sementes	50
4.2 Crescimento de plântulas	52
5 CONCLUSÕES	56
REFERÊNCIAS	57
 CAPÍTULO III.....	61
RESPOSTA DE CULTIVARES DE SOJA À APLICAÇÃO DE ÁCIDO HÚMICO EM CAMPO	61
RESUMO	61
ABSTRACT.....	62
1 INTRODUÇÃO.....	63
2 MATERIAL E MÉTODOS	64
2.1 Características gerais da área experimental	64
2.2 Instalação e condução do experimento	65
2.3 Avaliações	66
2.4 Análises estatísticas.....	68
3 RESULTADOS	69
3.1 Desenvolvimento das plantas e índice SPAD em estágio R5.....	69
3.2 Caracteres agronômicos avaliados após a colheita	71
3.3 Caracteres relacionados à produção	73
4 DISCUSSÃO.....	76
5 CONCLUSÕES	79
REFERÊNCIAS.....	80

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento populacional e o processo de urbanização, somados ao aumento da renda, incentivo à produção e consumo de biocombustíveis vem causando maior demanda por alimentos e produtos agrícolas. Com isso, as safras brasileiras são essenciais para a segurança alimentar do País e do mundo, visando atender às crescentes demandas dos mercados nacionais e internacionais (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, 2018).

A soja desempenha papel de destaque nesse contexto, sendo o Brasil o maior produtor (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE/ FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE – USDA/FAS, 2022) e exportador mundial do grão (USDA, 2022). Devido ao seu alto teor de proteína e óleo vegetal, a soja é uma das espécies mais cultivadas no mundo, sendo comercializada na forma de grãos, farelo e óleo, e utilizada na alimentação humana e animal, na indústria química e como biocombustível (SILVA et al., 2022).

Nas próximas décadas, as possibilidades de expansão das áreas de cultivo serão decrescentes, tornando necessária a intensificação sustentável da agricultura. Para isso, é preciso realizar a integração de práticas que, ao longo do tempo, garantem qualidade ambiental, preservam os recursos naturais, promovem uso eficiente de recursos e melhoram a qualidade de vida dos produtores e da sociedade, com viabilidade econômica dos processos agrícolas (EMBRAPA, 2018).

Nesse sentido, as empresas vêm investindo em fertilizantes que contêm substâncias húmicas em sua composição, a exemplo do ácido húmico, que apresenta benefícios como estabilidade do pH do solo; aumento da mineralização e capacidade de troca de cátions e ânions; aumento da estabilidade de agregados, melhorando a estrutura, aeração e retenção de água no solo e aumento da proliferação de microrganismos. As substâncias húmicas também atuam sobre os fitohormônios, em especial a auxina, promovendo o crescimento radicular e diversos processos metabólicos, como a atividade respiratória e fotossintética (SILVA FILHO; SILVA, 2017).

Além disso, otimizar o uso de nutrientes por meio de genótipos de soja eficientes é uma excelente alternativa para reduzir os custos de produção e danos ambientais

provocados por excesso de fertilizantes, além de contribuir para a sustentabilidade do sistema (ALVES, 2018; PEREIRA et al., 2013).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2010), no último século, o melhoramento vegetal foi responsável por cerca de 50% do aumento da produtividade das culturas, enquanto o restante foi proporcionado por melhores práticas de manejo, a exemplo de adubação, irrigação etc.

Assim, esforços têm sido realizados no sentido de entender e explorar a variabilidade para características relacionadas à eficiência no uso de nutrientes em programas de melhoramento, o que tem se mostrado uma tarefa complexa (MENDES, 2012) devido à herança destas características ser, na maioria das vezes, do tipo poligênica e de herdabilidade relativamente baixa, além da complexidade dos mecanismos que governam estas características (MACHADO et al., 2004).

Nesse contexto, pesquisas com o melhoramento genético de soja, com ênfase em nutrição de plantas, a exemplo do ácido húmico, são importantes por serem tecnologias sustentáveis que podem resultar no aumento de produtividade e qualidade dos grãos. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do ácido húmico em cultivares de soja em condições de laboratório e campo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância da soja e sua expansão pelo território brasileiro

Desde o século XI a.C, a soja é alimento básico na dieta oriental, especialmente na China, Japão e Coréia (CUIABANO, 2019). No mundo, apesar de não ser reconhecida como alimento básico, a soja apresenta grande importância devido a seus grãos com alto teor de proteína (30-45%) e óleo vegetal (13-28%). Com isso, o farelo de soja é utilizado na alimentação humana e animal e na fabricação de outros produtos. O óleo é utilizado na alimentação humana, na produção de biodiesel, como desinfetante, lubrificante, etc. Além disso, a planta pode ser utilizada como adubo verde e como forrageira na alimentação animal (SILVA et al., 2022).

Em torno do século XIX, pesquisadores americanos iniciaram seus estudos com a oleaginosa e constataram condições favoráveis para o seu cultivo nos Estados Unidos. Naquele momento, a demanda por alimentos e insumos-base para a indústria estava expandindo e, ao servir de alimento para o gado e a indústria, a soja se tornou um produto essencial no processo de industrialização ocidental, o que levou os Estados Unidos à condição de maior produtor mundial do grão (CUIABANO, 2019).

No Brasil, o interesse pelo cultivo comercial da soja surgiu após o acordo internacional de *Bretton Woods*, assinado em 1944, quando entendia-se que o Brasil precisava atrair capital externo e desenvolver-se industrialmente (CUIABANO, 2019). O primeiro registro estatístico nacional de produção de soja é do ano de 1941, com apenas 457 t. Entretanto, já em 1949, a produção registrou 25.881 t, um aumento de mais de 50 vezes, colocando o Brasil nas estatísticas internacionais, momento em que o país se descobriu como potencial produtor de soja (DALL'AGNOL, 2016).

Em 1955, após diversos prejuízos na produção de café, foi criado o Serviço de Expansão da Soja, pelo Decreto 24.803, que foi importante para a expansão da soja no Brasil, assim como a Aliança para o Progresso firmada com os Estados Unidos em 1961, que permitiu o intercâmbio técnico-científico entre os países. Inicialmente, o cultivo da soja ganhou força no Rio Grande do Sul e mais ao sul do país, devido ao clima favorável. Com o bom desempenho do produto na economia nacional e internacional, a partir de 1967-68, a soja foi levada para a região do Cerrado, principalmente pelo baixo custo e alta disponibilidade de terras (CUIABANO, 2019).

Além do clima, vários fatores contribuíram para o rápido estabelecimento da soja na região sul do Brasil, como: 1- correção e fertilização dos solos no RS (anos 60); 2- incentivo fiscais aos produtores de trigo, beneficiando o cultivo da soja, que utilizava, no verão, as mesmas áreas, mão de obra e maquinário (anos 50 a 70); 3- mercado internacional em alta (principalmente nos anos 70); 4- substituição das gorduras animais por óleos vegetais e margarinas; 5- estabelecimento de um parque industrial de processamento de soja, desenvolvimento e produção de máquinas, implementos e insumos agrícolas (anos 70 e 80); 6- facilidade de mecanização total da cultura; 7- criação de um sistema cooperativista para apoio da produção, processamento e comercialização da soja; 8- criação de uma rede de pesquisa, envolvendo os poderes públicos federal e estadual, apoiada financeiramente pela indústria privada; 9- melhorias nas estradas, portos e comunicações, facilitando e agilizando o transporte e as exportações (DALL'AGNOL et al., 2007).

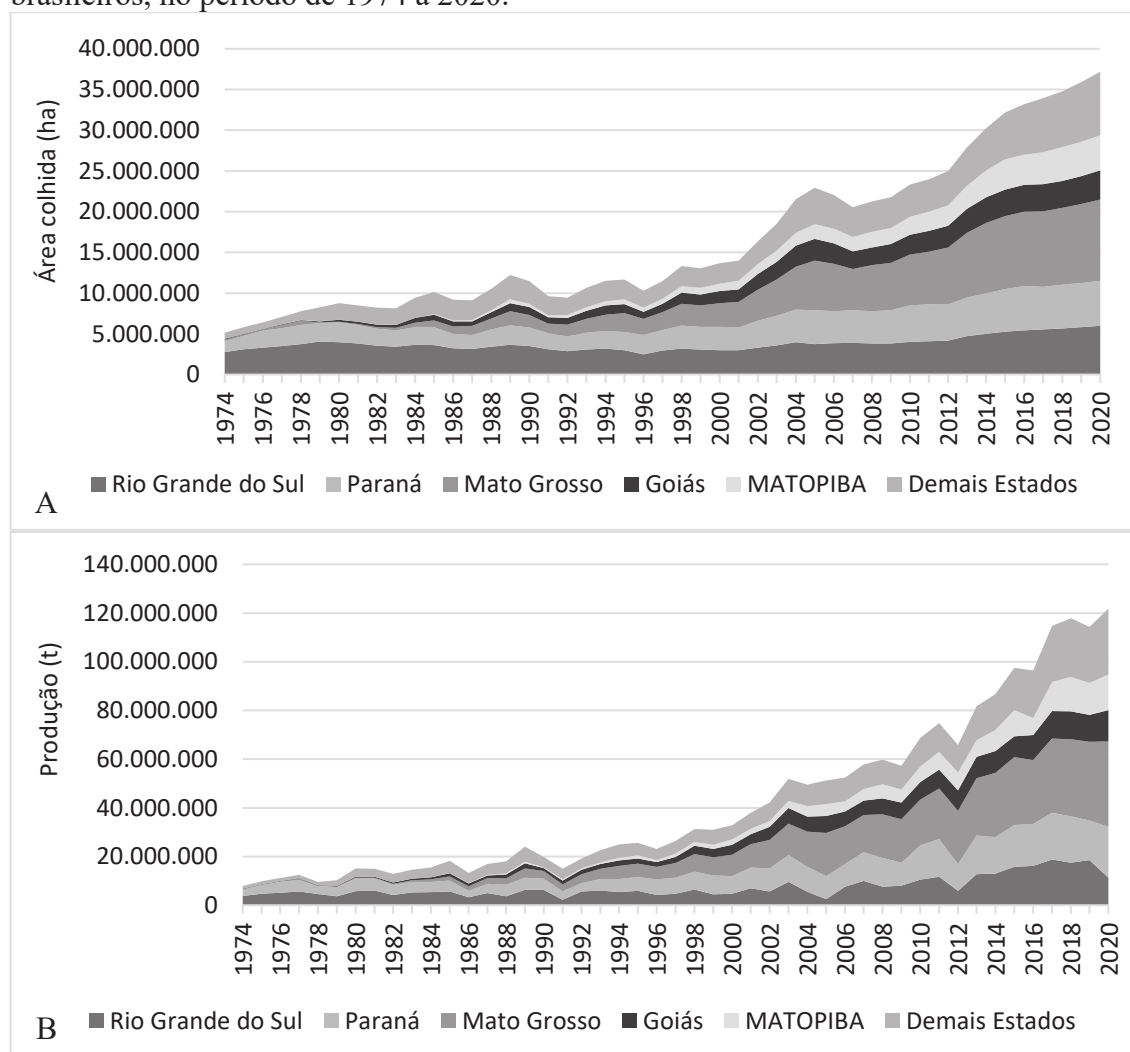
Com relação ao Cerrado, a partir dos anos 80, a soja expandiu inicialmente para a região central do Brasil, onde apresentou grande crescimento, tornando-se o principal centro produtor de soja do país (DALL'AGNOL et al., 2007). Porém, a adaptação da soja nessa região só foi possível devido ao desenvolvimento de cultivares melhoradas e adaptadas aos trópicos, que foi um dos grandes desafios enfrentados pelos programas de melhoramento de soja (ALMEIDA et al., 1999).

Outras causas também influenciaram o sucesso da soja nessa região, como: 1- construção da nova Capital Federal (Brasília) e melhorias na infraestrutura regional, como vias de acesso, comunicações e urbanização; 2- incentivos fiscais para a abertura de novas áreas de produção, aquisição de máquinas, construção de silos e armazéns, estabelecimento de agroindústrias produtoras e processadoras de grãos e de carnes; 3- topografia plana, favorável à mecanização; 4- bom nível econômico e tecnológico dos produtores, oriundos, em sua maioria, da região sul, onde cultivavam soja; 5- regime pluviométrico favorável, em contraste com os frequentes veranicos na região sul, principalmente no RS (DALL'AGNOL et al., 2007).

A pesquisa envolvendo o melhoramento genético da soja continuou lançando novas cultivares adaptadas para as regiões de baixas latitudes e o cultivo da soja continuou se expandindo da região Sul (anos 60) para o Centro-Oeste (anos 80), em seguida Centro-Norte (anos 90) e mais ao Norte do Brasil (anos 2000) (CATTELAN; DALL'AGNOL, 2018). Grande parte da produção brasileira é colhida nos estados compreendidos em latitudes menores que 20° e as regiões situadas em latitudes menores que 10° continuam

em expansão, especialmente nos estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e Pará, conhecido como MATOPIBA (ALMEIDA et al., 1999). Na Imagem 1 é possível observar a evolução da área e produção de soja nos principais estados brasileiros, no período de 1974 a 2020.

Imagem 1 – Evolução da área colhida (A) e produção (B) de soja nos principais estados brasileiros, no período de 1974 a 2020.



MATOPIBA: Formado pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Fonte: SIDRA/IBGE - Produção Agrícola Municipal, 2020.

Para a safra 2022/23, a estimativa é que o Brasil aumente a área de soja em 3,54%, atingindo 42,4 milhões de hectares, com destaque para o estado do MT (3,08%), RS (4,76%), PR (1,97%), GO (1,08%) e para a região do MATOPIBA (4,29%) (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2022b). Para isso, podem ser aproveitadas terras que ainda estão disponíveis ou recuperando áreas degradadas ou subutilizadas de pastagens perenes (CATTELAN; DALL'AGNOL, 2018).

Os esforços das instituições de pesquisa agrícolas, apoiadas pelos governos centrais, tanto estaduais como nacional (CUIABANO, 2019) levaram o Brasil ao posto de maior produtor e exportador mundial de soja, posto que se segue desde a safra 2019/20 e mantém-se até hoje (USDA/FAS, 2021, 2022; USDA, 2021, 2022). Atualmente, o complexo soja (grão, óleo e farelo) é considerado a principal atividade agrícola do país, tanto por sua incidência territorial, quanto por sua importância econômico-comercial (PIRAS et al., 2021).

Para a safra 2022/23, estima-se que a produtividade média da soja no Brasil será de 3.546 kg ha⁻¹, o que irá contribuir para uma produção nacional de cerca de 150 milhões de toneladas, a maior da série histórica. Com isso, o Brasil continuará sendo o maior produtor mundial do grão, ao contribuir com 38,07% da produção, seguido dos Estados Unidos com 31,33% e Argentina com 13,02% (CONAB, 2022b).

2.2 Tecnologias sustentáveis para o aumento da produtividade de grãos

Um dos principais objetivos da sociedade moderna é a superação do modelo de desenvolvimento dependente de recursos não-renováveis, gerador de poluição, de impactos negativos no clima, no bem-estar e na saúde das pessoas (LOPES, 2018).

Existe ainda a preocupação com o aumento da demanda por alimentos, os relatos sobre a resistência de pragas e patógenos a agroquímicos e as mudanças climáticas, que podem impactar negativamente o rendimento das culturas e diminuir ainda mais as áreas disponíveis para o cultivo (SANTOS et al., 2019).

Esse cenário resulta em um interesse global por novas tecnologias agrícolas que respondam aos anseios de uma sociedade que exige cada vez mais produtos e processos seguros, limpos e de baixo impacto ambiental (LOPES, 2018), que possibilitam a intensificação sustentável da agricultura (EMBRAPA, 2018) e o aumento da produtividade e qualidade dos produtos agrícolas.

A produção de soja em solos tropicais, sobretudo da classe dos Latossolos, na maioria das vezes enfrenta limitações como o desenvolvimento insuficiente de cargas elétricas negativas (baixa capacidade de troca de cátions – CTC), a elevada adsorção específica de fosfatos, a baixa disponibilidade de nutrientes e as altas concentrações de íons alumínio tóxicos. Essas adversidades podem ser minimizadas com a preservação e o incremento dos teores de carbono orgânico do solo (BALDOTTO; BALDOTTO, 2014).

Caso o manejo do solo seja inadequado pode ocorrer a perda de recursos e funções do solo. Segundo o relatório da FAO (2015), 33% dos solos do mundo estão de média a altamente degradados e o aumento da perda de solos produtivos poderia prejudicar gravemente a produção de alimentos e a segurança alimentar. Para evitar que isso ocorra é necessário fazer o manejo sustentável do solo.

O uso de fertilizantes contendo ácidos húmicos podem ser uma ferramenta importante nesse cenário, pois podem melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo, assim como o crescimento, produtividade e qualidade das plantas. Além disso, a identificação de genótipos de soja eficientes no uso de nutrientes, por meio das técnicas de melhoramento genético, poderia contribuir ainda mais para a sustentabilidade do sistema agrícola.

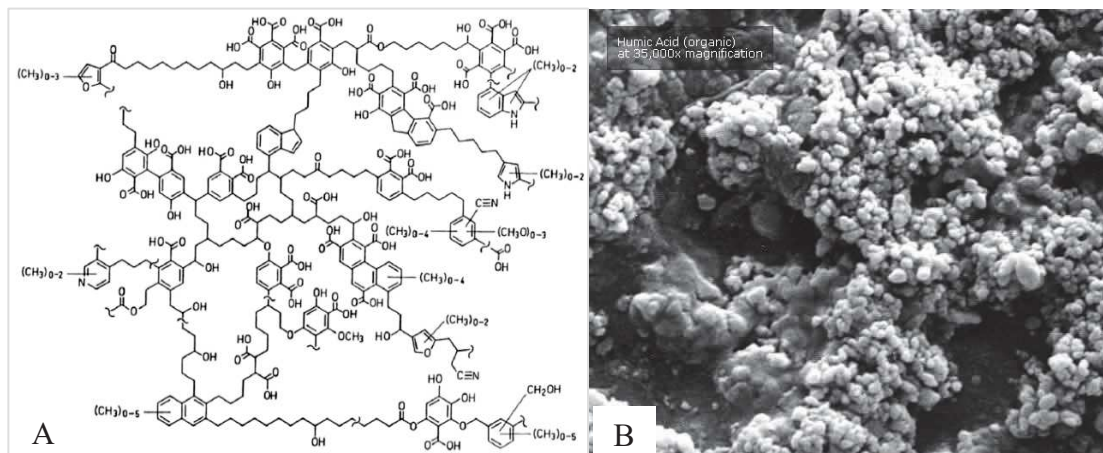
2.2.1 Ácido húmico

Os ácidos húmicos são moléculas complexas que existem naturalmente em solos, turfas, oceanos e águas doces (HUMINTECH, 2022). Constituem a maior fração das substâncias húmicas, que compreendem a parte estável da matéria orgânica, podendo ser entendidas como produtos das transformações químicas e biológicas dos resíduos vegetais e animais, assim como da atividade dos microrganismos do solo. Na sua composição são encontradas três frações com distintas características físico-químicas: os ácidos húmicos, fúlvicos e huminas (PRIMO et al., 2011).

A separação dessas frações se deve a características de solubilidade. Em meio alcalino, os ácidos húmicos e fúlvicos se mantêm solúveis, podendo-se fazer a separação das huminas, que são insolúveis em todo intervalo de pH. Com a acidificação da solução, os ácidos húmicos tornam-se insolúveis, sendo possível separá-los dos ácidos fúlvicos, que são solúveis em todo intervalo de pH (CARON et al., 2015; HUMINTECH, 2022).

Com relação às características, os ácidos húmicos (Imagem 2) são precipitados escuros que possuem elevado peso molecular e CTC, além de alto teor de ácidos carboxílicos e nitrogênio. Os ácidos fúlvicos, apesar de apresentarem estrutura semelhante aos ácidos húmicos, possuem menor peso molecular e quantidade de estruturas aromáticas, assim como maior quantidade de compostos fenólicos e grupos carboxílicos, que resultam em melhor solubilidade em água e maior CTC. As huminas são a fração menos humificada, sendo materiais complexos, quimicamente heterogêneos e inativos (CARON et al., 2015).

Imagem 2 – Ácido húmico. A) Modelo de estrutura macromolecular, mostrando os diversos grupos funcionais, estruturas aromáticas e alifáticas. B) Aspecto morfológico (aumento de 35.000x).



Fonte: A) Proposto por Schulten e Schnitzer (1993); B) Humintech (2022).

Assim, por apresentarem substâncias bioestimulantes, alto teor de nutrientes e grupos funcionais ativos, grande superfície de contato e estabilidade contra a decomposição por microrganismos, as substâncias húmicas estão entre os produtos naturais mais importantes capazes de ajudar a promover uma produção mais sustentável (MOSA et al., 2020).

Segundo os conceitos do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, é possível classificar o ácido húmico como bioestimulante, biofertilizante e mais recentemente como bioinsumo (MAPA, 2021):

Os bioestimulantes são produtos que contêm substâncias naturais com diferentes composições, concentrações e proporções, que podem ser aplicados diretamente nas plantas, nas sementes e no solo, com a finalidade de incrementar a produção, melhorar a qualidade de sementes, estimular o desenvolvimento radicular, favorecer o equilíbrio hormonal da planta e a germinação mais rápida e uniforme, interferir no desenvolvimento vegetal, estimular a divisão, a diferenciação e o alongamento celular.

Os biofertilizantes são produtos que contêm componentes ativos ou substâncias orgânicas, obtidos de microrganismos ou a partir da atividade destes, bem como seus derivados de origem vegetal e animal, capazes de atuar direta ou indiretamente sobre o todo ou parte das plantas cultivadas, no aumento de sua produtividade ou na melhoria de sua qualidade.

Os bioinsumos, por sua vez, são produtos de origem vegetal, animal ou microbiana, destinados ao uso na produção de produtos agropecuários, que interferem positivamente no crescimento, desenvolvimento e mecanismo de resposta de animais,

plantas, microrganismos e substâncias derivadas e que interagem com os produtos e os processos físico-químicos e biológicos.

2.2.1.1 Benefícios do ácido húmico para o solo

Nas propriedades físicas do solo, os ácidos húmicos melhoram a distribuição das partículas e agregados do solo, favorecendo a infiltração de água e raízes, a aeração e retenção de água no solo (CARON et al., 2015; PRIMO et al., 2011; SILVA FILHO; SILVA, 2017). Além disso, reduzem a pegajosidade e a plasticidade, tornando o manejo do solo mais fácil e contribuindo para uma maior resistência aos processos de erosão. Assim, em solos leves e arenosos os ácidos húmicos previnem grandes perdas de água e nutrientes e em solos pesados e compactados melhoram a aeração e retenção de água. A cor do solo também fica mais escura, o que contribui para a retenção de calor (HUMINTECH, 2022).

Um estudo de 7 anos realizado na China verificou que a aplicação da mistura de bentonita e ácido húmico em solo arenoso e degradado foi capaz de melhorar a estrutura do solo devido a formação de macroagregados, reduzindo a densidade do solo e contribuindo para o aumento da capacidade de retenção de água. Dessa maneira, as características físicas do solo foram aprimoradas, principalmente nos primeiros 40 cm de profundidade, mas também na camada de 40 a 60 cm após 5 anos de aplicação do composto (ZHOU et al., 2019).

Nas propriedades químicas do solo, os ácidos húmicos contribuem para o tamponamento do solo e maior estabilidade do pH, neutralizando solos ácidos e alcalinos. Ocorre também um aumento da CTC, o que resulta em maior retenção de fertilizantes inorgânicos solúveis em água, reduzindo as perdas de nutrientes, a exemplo da volatilização e lixiviação de N, e lixiviação do K, como também redução nas reações de P no solo com Ca, Fe, Mg e Al. Com isso, tem-se maior eficiência no aproveitamento dos nutrientes pelas plantas e menor disponibilidade de substâncias tóxicas nos solos (CARON et al., 2015; HUMINTECH, 2022; PRIMO et al., 2011; SILVA FILHO; SILVA, 2017).

Um estudo de 7 anos realizado no Canadá analisou o efeito de substâncias húmicas na correção e revegetação de rejeitos de minas. Como resultado, as substâncias húmicas favoreceram a formação de macroagregados e aumentaram os níveis de carbono orgânico

e macronutrientes. Porém, a curto prazo, houve aumento da condutividade elétrica do solo a níveis estressantes para as plantas (SZCZERSKI et al., 2013).

Nan et al. (2016) realizaram um experimento de campo de 3 anos em solo salino-sódico cultivado com *Brassica napus*, na China, analisando a aplicação anual de gesso FGD aplicado sozinho ou em conjunto com ácido húmico, em comparação ao controle. Os resultados mostraram que a aplicação anual de gesso FGD e ácido húmico melhorou as propriedades físicas e químicas da superfície do solo devido ao aumento da capacidade de troca de íons e menor razão de adsorção de sódio e porcentagem de sódio trocável, além do aumento na condutividade hidráulica do solo saturado. Os autores sugerem que esse efeito se deve à formação de complexos entre cálcio e matéria orgânica e à melhora na estrutura do solo, ambos proporcionados pelo ácido húmico.

Estudos realizados em casa de vegetação e a curto prazo também demonstraram efeitos benéficos da aplicação de substâncias húmicas. Como exemplo, Rosa et al. (2020) avaliaram diferentes doses de ácido húmico, dois tipos de solo e duas fontes de P e verificaram que o ácido húmico aumentou a disponibilidade de P em solos com alta capacidade de fixação deste nutriente.

Nas propriedades biológicas do solo também ocorrem melhorias após a aplicação de ácido húmico, pois contribuem para o aumento da temperatura do solo e servem como fonte de energia, estimulando o crescimento e a proliferação de microrganismos desejáveis no solo (HUMINTECH, 2022; SILVA FILHO; SILVA, 2017). Ao favorecer o desenvolvimento de microrganismos benéficos também pode ocorrer a supressão de microrganismos oportunistas causadores de doenças (CARGNELUTTI et al., 2021), assim como o biocontrole de pragas (BASU et al., 2021), a partir de diferentes mecanismos, como: antibiose, parasitismo, competição e indução de resistência das plantas aos patógenos (MATTEI et al., 2017).

2.2.1.2 Benefícios do ácido húmico para as plantas

As substâncias húmicas exercem diversos efeitos nas plantas com diferentes formas de ação. Como efeitos indiretos estão os benefícios ocasionados no solo e o fornecimento de compostos específicos para as plantas, como compostos nitrogenados, cadeias carbonadas e fitohormônios. Como efeitos diretos estão as modificações nos diferentes processos e rotas do metabolismo vegetal (GARCÍA et al., 2019).

No metabolismo das plantas, as substâncias húmicas exercem influência positiva sobre: 1) o transporte de íons, facilitando a absorção de nutrientes; 2) o aumento da respiração e da velocidade das reações enzimáticas do ciclo de Krebs, resultando em maior produção de ATP; 3) o aumento no conteúdo de clorofila; 4) o aumento na velocidade e síntese de ácidos nucleicos; 5) o efeito seletivo sobre a síntese proteica; e 6) o aumento ou inibição da atividade de diversas enzimas (FAÇANHA et al., 2002).

Santos (2020) demonstrou que o tratamento de sementes de soja com a associação de biofertilizantes a base de nutrientes, extrato de algas e ácidos húmicos garante plantas com elevada taxa de assimilação de CO₂, eficientes em carboxilação, no uso da água, em conversão de energia fotoquímica, no transporte de elétrons e na atividade de enzimas antioxidantes, durante os estádios iniciais de desenvolvimento da cultura.

O aumento da absorção de nutrientes proporcionado pelas substâncias húmicas também tem sido atribuído ao aumento da permeabilidade da membrana plasmática e à ativação da H⁺-ATPase de membrana plasmática (ROSA et al., 2009).

As H⁺-ATPases (bombas de H⁺) são enzimas transmembranares capazes de hidrolisar ATP, gerando energia e gradiente eletroquímico que está diretamente envolvido em dois mecanismos fundamentais para o desenvolvimento e crescimento vegetal: 1) a energização de sistemas secundários de translocação de íons fundamentais para a absorção de macro e micronutrientes, e 2) o aumento da plasticidade da parede celular para possibilitar o processo de crescimento e divisão da célula. Esse último mecanismo está relacionado com a "teoria do crescimento ácido", que postula que o aumento da extrusão de prótons mediado pela H⁺-ATPase promove a acidificação do apoplasto, que, por sua vez, ativa enzimas específicas que atuam sobre a parede celular, aumentando sua plasticidade e, conseqüentemente, permitindo o alongamento da célula (BALDOTTO; BALDOTTO, 2014; FAÇANHA et al., 2002; ROSA et al., 2009).

Desse modo, as substâncias húmicas favorecem o aumento da absorção e assimilação de nutrientes pelas plantas, assim como o crescimento e desenvolvimento vegetal. Além disso, as substâncias húmicas atuam no metabolismo secundário das plantas, influenciando a produção de um grande número de compostos especializados que contribuem para a mitigação de estresses abióticos e bióticos (JINDO et al., 2020).

Campos (2020) verificou que ao aplicar substâncias húmicas durante as fases de emergência, florescimento e enchimento de grãos de soja submetidas a uma disponibilidade hídrica de 70%, ocorre maior crescimento e melhora das condições bioquímicas das plantas.

Um estudo conduzido por Matuszak-Slamani et al. (2017) e realizado em condições controladas avaliou a ação do ácido húmico na mitigação de estresses provocados pela salinização na cultura da soja. Os autores verificaram que a soja apresenta uma forte reação ao estresse salino, devido à redução no desenvolvimento da parte aérea e conteúdo de clorofila nas folhas, sendo que a aplicação de ácido húmico é capaz de reduzir ou eliminar esses efeitos negativos.

Sobre os estresses bióticos, a proteção das plantas pode ser aprimorada por meio de quatro abordagens: 1) aumento das atividades microbianas do solo, que atuam como agentes de controle biológico; 2) interação direta com o patógeno; 3) proteção física para micróbios benéficos; 4) aumento do sistema de defesa antioxidante da planta contra patógenos por meio da modulação de compostos químicos e enzimas (JINDO et al., 2020).

Abdel-Monaim et al. (2011) verificaram que a aplicação de benztiazol e ácido húmico em sementes, individualmente ou em combinação, reduziram significativamente a incidência das doenças causadas por *Fusarium oxysporum* em plantas de soja cultivadas em casa de vegetação e campo em comparação às plantas não tratadas. Os autores sugerem que esses produtos não têm atividade antimicrobiana direta e que a ação deles é estimular os mecanismos de defesa que permitem as plantas responderem mais rapidamente à invasão e colonização de patógenos.

Apesar desses benefícios atribuídos às substâncias húmicas, segundo Baldotto e Baldotto (2014), os principais efeitos dos ácidos húmicos nas plantas estão relacionados com o sistema radicular e envolvem a formação de raízes laterais, raízes adventícias, o alongamento radicular e a formação de pelos radiculares. Todos esses fatores aumentam a massa radicular e a área de superfície das raízes, contribuindo para maior absorção de água e nutrientes.

Segundo Caron et al. (2015), os benefícios ao sistema radicular se devem a compostos de natureza auxínica presentes nas substâncias húmicas e auxina sintetizada pela planta, que sinalizam na raiz para que as células do periciclo entrem em divisão celular, originando raízes laterais. A atividade de H^+ -ATPases é ativada, aumentando a extrusão de prótons e a atividade de enzimas sobre a parede celular, favorecendo a divisão e a expansão da célula via rearranjos de parede celular. O óxido nítrico induz a síntese de auxina e o desenvolvimento de raízes laterais, que aumentam o volume radicular, a superfície de contato e a massa seca do órgão, melhorando a capacidade de absorção, sendo importante para a produtividade.

Além dos efeitos diretos na morfologia e fisiologia radicular, os ácidos húmicos também atuam indiretamente, alterando a química e a dinâmica microbiana da rizosfera, por estimularem a exsudação de ácidos orgânicos e de açúcares pelas raízes. Ao alterarem o ambiente rizosférico, os ácidos húmicos interferem nas interações solo-microbiota-planta, principalmente na disponibilidade e na assimilação de nutrientes (BALDOTTO; BALDOTTO, 2014).

Segundo Gao et al. (2015), a aplicação de substâncias húmicas em plantas de soja resulta em maior número de nódulos, matéria fresca de nódulo e atividade da nitrogenase em cerca de 30, 36 e 30%, respectivamente, além de aumentar a densidade celular de *Bradyrhizobium liaoningense* CCBAU05525.

O estudo de Souza (2020) demonstrou que a aplicação de ácidos húmicos e fúlvicos em conjunto com *Trichoderma harzianum*, no sulco de semeadura da soja, favorecem o número de vagens por planta, número de grãos por vagem e produtividade de grãos (aumento de 3.525 kg ha⁻¹ para 4.050 kg ha⁻¹). A pesquisa demonstrou também que é possível realizar o tratamento de sementes com esses produtos, pois não afetam negativamente a qualidade fisiológica das sementes.

2.2.2 Cultivares eficientes no uso de nutrientes

Otimizar o uso de nutrientes por meio de genótipos de soja eficientes é uma excelente alternativa para reduzir os custos de produção e danos ambientais provocados por excesso no uso de fertilizantes, além de possibilitar uma produção mais sustentável (ALVES, 2018; PEREIRA et al., 2013).

São vários os conceitos de eficiência de plantas em relação a um nutriente (FAGERIA, 1998; MENDES, 2012; PIMENTEL, 2006), pois trata-se de um fenômeno bastante complexo e afetado por um grande número de mecanismos das plantas (OZTURK et al.; 2005). Porém, no geral, estes mecanismos estão associados aos processos pelos quais as plantas absorvem, translocam, acumulam e usam o nutriente para melhor produzir matéria seca e/ou grãos em condições nutricionais normais ou adversas (CIARELLI et al., 1998).

A eficiência das plantas em realizar esses processos variam em função das condições ambientais (temperatura, radiação solar, precipitação, características do solo, etc.) e ecológicas (incidência de pragas, doenças e plantas daninhas) (FAGERIA, 1998),

mas também apresentam grande influência dos componentes genéticos, morfológicos, fisiológicos e bioquímicos das plantas (BALIGAR; FAGERIA, 1999).

Assim, quando se inicia um programa de melhoramento é importante conhecer o controle genético da característica de interesse. Informações sobre o quanto da variabilidade fenotípica é herdável e os principais tipos de ação gênica que estão envolvidos na herança da característica auxiliam o melhorista na escolha dos métodos de melhoramento mais adequados. Esforços têm sido feitos no sentido de entender e explorar a variabilidade para características relacionadas à eficiência no uso de nutrientes em programas de melhoramento, o que tem se mostrado uma tarefa complexa, devido à herança destas características (MENDES, 2012).

Muitos dos caracteres envolvidos na tolerância aos estresses são poligênicos, por isso, a expressão fenotípica dos mesmos não pode ser facilmente diferenciada nos indivíduos, já que sua modificação inclui efeitos dos genes e da interação do genótipo com o ambiente. Além disso, a herdabilidade é relativamente baixa, o que também dificulta a transferência de um alto nível de expressão do caráter desejado. Outro complicador é a complexidade dos mecanismos que governam as reações de tolerância, que não estão completamente compreendidas (MACHADO et al., 2004).

Então, conhecer a variabilidade genética, em relação ao uso eficiente de nutrientes, ajuda a entender os mecanismos envolvidos no processo de adaptação de espécies e cultivares a condições adversas (BRASIL, 2003).

São vários os processos que podem influenciar a eficiência de aquisição de nutrientes em genótipos, como: aumento do tamanho, densidade, diâmetro e formação de pelos do sistema radicular; associação com microrganismos; modificações no microambiente da rizosfera; distribuição e remobilização do nutriente de partes maduras, como folhas velhas, para meristemas de crescimento vegetativo e reprodutivo; além da capacidade do genótipo em manter o metabolismo normal com concentrações reduzidas do nutriente no tecido (PARENTONI et al., 2011).

Assim, em baixa disponibilidade de recursos minerais, as plantas podem utilizar mecanismos para evitar o estresse ou se recuperar rapidamente de seus efeitos. Nesse sentido, existem três estratégias principais que as plantas utilizam para lidar com a disponibilidade irregular de recursos: a especialização (adaptação a um ambiente específico); a generalização (adaptação moderada para a maioria dos ambientes); e a plasticidade fenotípica (quando o ambiente interage com o genótipo e estimula a produção de fenótipos alternativos) (MAIA, 2011).

Além do conceito de eficiência, existe também o conceito de responsividade, que é definida pela capacidade de um genótipo em responder em maior ou menor grau ao aumento no teor de nutriente (PIMENTEL, 2006).

Baseado nisso, os genótipos podem ser classificados em quatro tipos: 1) eficientes e não-responsivos: produzem bem sob baixa disponibilidade do nutriente, mas não respondem bem a níveis crescentes do nutriente, apresentando baixo potencial produtivo; 2) eficientes e responsivos: produzem bem sob baixa disponibilidade do nutriente e respondem bem a níveis crescentes do nutriente; 3) não-eficientes e responsivos: produzem pouco sob baixa disponibilidade do nutriente, mas respondem bem a níveis crescentes do nutriente; 4) não-eficientes e não-responsivos: produzem pouco em baixa ou alta disponibilidade do nutriente (FAGERIA; KLUTHCOUSKI, 1980).

De acordo com essas informações, os genótipos podem ser recomendados em função do nível tecnológico empregado pelo produtor, permitindo a obtenção de maiores produtividades e menores custos de produção. Os genótipos eficientes são mais indicados para propriedades que adotam baixo nível tecnológico, principalmente para agricultores familiares, que normalmente possuem recursos financeiros reduzidos. Já os genótipos responsivos são mais indicados aos produtores de alto nível tecnológico, pois a melhoria no ambiente ou o uso de maiores taxas de adubação resulta no acréscimo de produtividade (OLIVEIRA et al., 2012).

Segundo Furlani et al. (1985), os melhores critérios para avaliar cultivares mais eficientes na absorção e utilização de nutrientes são aqueles que utilizam o crescimento e desenvolvimento das plantas em condições de baixo nível do nutriente, verificando que a resposta se deve ao mecanismo de absorção e/ou de utilização do nutriente para produção de matéria seca. No entanto, Fidelis et al. (2014) defende que o método desenvolvido por Fageria e Kluthcouski (1980) é mais adequado ao melhoramento de plantas, pois permite selecionar plantas eficientes quanto ao uso dos nutrientes e responsivas à sua aplicação.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-MONAIM, M. F.; ISMAIL, M. E.; MORSY, K. M. Induction of systemic resistance of benzothiadiazole and humic acid in soybean plants against *Fusarium* wilt disease. **Mycobiology**, [s.l.], v. 39, n. 4, p. 290-298, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5941/MYCO.2011.39.4.290>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.5941/MYCO.2011.39.4.290?needAccess=true&role=button>. Acesso em: 04 jul. 2023.
- ALMEIDA, L. A. de; KIIHL, R. A. de S.; MIRANDA, M. A. C. de; CAMPELO, G. J. de A. Melhoramento da soja para regiões de baixas latitudes. In: QUEIROZ, M. A. de; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. (ed.). **Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste Brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 1999 (online). Disponível em: <http://www.cpatia.embrapa.br/catalogo/livrorg/sojamelhoramento.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2023.
- ALVES, V. S. B. **Eficiência de genótipos de soja no uso do fósforo**. 2018. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/22536/1/Efici%C3%AanciaGen%C3%B3tiposSoja>. Acesso em: 12 nov. 2022.
- BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Ácidos húmicos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, Suplemento, p. 856-881, nov/dez, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737x201461000011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/94wksVHhCDcDxkVdYqb4Pqw/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 04 jul. 2023.
- BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K. Plant nutrient efficiency: Towards the second paradigm. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. de (ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras, MG: UFLA/DCS-SBCS, 1999. p. 183-204.
- BASU, A.; PRASAD, P.; DAS, S. N.; KALAM, S.; SAYYED, R. Z.; REDDY, M. S.; ENSHASY, H. E. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: recent developments, constraints, and prospects. **Sustainability**, [s.l.], v. 13, n. 3, p. 1140, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13031140>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/3/1140>. Acesso em: 04 jul. 2023.
- BRASIL, E. C. **Mecanismos envolvidos na eficiência de aquisição de fósforo em genótipos de milho**. 2003. 161 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/172955/1/Mecanismosenvolvidosnaeficienciaadeaquisiodesforoemgentiposdemilho.PDF>. Acesso em: 19 out. 2022.
- CAMPOS, A. R. de M. **Influência das substâncias húmicas e diferentes disponibilidades de água no solo em soja**. 2020. 64 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri,

Diamantina, 2020. Disponível em:

http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/bitstream/1/2359/1/amanda_reis_melo_campos.pdf.

Acesso em: 12 nov. 2022.

CARGNELUTTI, D.; BAMPI, E.; DE MELO SANTIAGO, G.; DA LUZ, V. C.; GARBIN, E.; CASTAMANN, A.; MOSSI, A. J. Soluções tecnológicas emergentes para uma agricultura sustentável: microrganismos eficientes. In: GARCÍA, L. M. H. (ed.).

Agroecologia: princípios e fundamentos ecológicos aplicados na busca de uma produção sustentável. Canoas: Mérida Publishers, 2021. p. 31-62. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/351329969_Solucoes_tecnologicas_emergentes_para_uma_agricultura_sustentavel_microrganismos_eficientes. Acesso em: 12 nov. 2022.

CARON, V. C.; GRAÇAS, J. P.; CASTRO, P. R. de C. **Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos.** Piracicaba: ESALQ – Divisão de Biblioteca, 2015. 46 p. (Série Produtor Rural, nº 58). Disponível em:

<https://www.esalq.usp.br/biblioteca/sites/default/files/publicacoes-a-venda/pdf/SPR58.pdf>. Acesso em 12 nov. 2022.

CATTELAN, A. J.; DALL'AGNOL, A. The rapid soybean growth in Brazil. **Oilseeds & fats Crops and Lipids**, [s.l.], v. 25, n. 1, D102, p. 1-12, 2018. DOI:

<https://doi.org/10.1051/ocl/2017058>. Disponível em: <https://www.ocl-journal.org/articles/ocl/pdf/2018/01/ocl170039.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2023.

CIARELLI, D. M. et al. Genetic variation among maize genotypes for phosphorus-uptake and phosphorus-use efficiency in nutrient solution. **Journal of plant nutrition**, [s.l.], v. 21, n. 10, p. 2219-2229, 1998. DOI:

<http://dx.doi.org/10.1080/01904169809365556>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/01904169809365556?needAccess=true>.

Acesso em: 04 jul. 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 9, safra 2021/22, n. 11, décimo primeiro levantamento, agosto 2022a. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 12 nov. 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Perspectivas para a agropecuária**, Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, agosto 2022b. Disponível em:

<https://www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/perspectivas-para-a-agropecuaria/item/18847-perspectivas-para-a-agropecuaria-volume-10-safra-2022-2023>. Acesso em: 12 nov. 2022.

CUIABANO, S. M. Principais fatores responsáveis pela expansão da soja no Brasil.

Brazilian Journal of International Relations, Marília, v. 8, n. 3, p. 460-487, set/dez. 2019. DOI: <https://doi.org/10.36311/2237-7743.2019.v8n3.03.p460>. Disponível em:

<https://revistas.marilia.unesp.br/index.php/bjir/article/view/8803/6136>. Acesso em: 04 jul. 2023.

DALL'AGNOL, A.; ROESSING, A. C.; LAZZAROTTO, J. J.; HIRAKURI, M. H.;

OLIVEIRA, A. B. de. **O complexo agroindustrial da soja brasileira.** Londrina, PR:

Embrapa Soja, 2007. 12 p. (Circular Técnica, 43). Disponível em: <file:///C:/Users/danye/Downloads/43.pdf>. Acesso em: 12 set. 2022.

DALL'AGNOL, A. A **Embrapa Soja no contexto do desenvolvimento da soja no Brasil: histórico e contribuições**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. 72 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142568/1/Livro-EmbrapaSoja-desenvolvimento-BR-OL.pdf>. Acesso em: 12 set. 2022.

FAÇANHA, A. R.; FAÇANHA, A. L. O.; OLIVARES, F. L.; GURIDI, F.; SANTOS, G. A.; VELLOSO, A. C. X.; RUMJANEK, V. M.; BRASIL, F.; SCHRIPISEMA, J.; FILHO, R. B.; OLIVEIRA, M. A.; CANELLAS, L. P. Bioatividade de ácidos húmicos: efeitos sobre o desenvolvimento radicular e sobre a bomba de prótons da membrana plasmática. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1301-1310, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000900014>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/K6w98r8RqdHCb57CvS3vbQm/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 04 jul. 2023.

FAGERIA, N. K.; KLUTHCOUSKI, J. **Metodologia para avaliação das cultivares de arroz e feijão, para condições adversas de solo**. Brasília: EMBRAPA, 1980. 22 p. (EMBRAPA-CNPAF, Circular Técnica, 8). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/192294/1/circ8.pdf>. Acesso em: 17 out. 2022.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 2, p. 6-16, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v02n01p6-16>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/stFTTT63GBwMGgxMfZymF4Q/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 04 jul. 2023.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Plant Breeding Impacts and Current Challenges**. Global Partnership Initiative For Plant Breeding Capacity Building (GIPB) - harnessing plant genetic resources for development. 2010. Disponível em: <https://www.fao.org/3/at913e/at913e.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2022.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Status of the World's Soil Resources: Main Report**. 2015. Food and Agriculture Organization. Rome, Italy. Disponível: <https://www.fao.org/3/i5199e/I5199E.pdf>. Acesso em: 25 set. 2020.

FIDELIS, R. R.; SANTOS, M. M. dos; SANTOS, G. R. dos; SILVA, R. R. da; VELOSO, D. A. Classificação de populações de milho quanto a eficiência e resposta ao uso de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, Recife, v. 19, n. 2, p. 59-64, jul/dez. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.12661/pap.2014.009>. Disponível em: <https://pap.emnuvens.com.br/pap/article/view/pap.2014.009/42>. Acesso em: 04 jul. 2023.

FURLANI, Á. M. C.; BATAGLIA, O. C.; LIMA, M. Eficiência de linhagens de milho na absorção e utilização de fósforo em solução nutritiva. **Bragantia**, Campinas, v. 44, n. 1, p. 129-147, 1985. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87051985000100011>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/brag/a/ZWVKv6NMSZjmkgc7SWrpWDF/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 04 jul. 2023.

GAO, T. G.; XU, Y. Y.; JIANG, F.; LI, B. Z.; YANG, J. S.; WANG, E. T.; YUAN, H. L. (2015). Nodulation characterization and proteomic profiling of *Bradyrhizobium liaoningense* CCBAU05525 in response to water-soluble humic materials. **Scientific reports**, [s.l.], v. 5, n. 1, p. 1-13, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep10836>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/srep10836>. Acesso em: 04 jul. 2023.

GARCÍA, A. C.; CASTRO, T. A. V. T.; BERBARA, R. L. L.; TAVARES, O. C. H.; ELIAS, S. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, E. Revisão Sobre a Relação Estrutura-Função das Substâncias Húmicas e a sua Regulação do Metabolismo Oxidativo em Plantas. **Revista Virtual de Química**, [s.l.], v. 11, n. 3, p. 754-770, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20190055>. Disponível em: <https://s3.sa-east-1.amazonaws.com/static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v11n3a14.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2023.

HUMINTECH. **What are humic acids?** Definition, genesis and benefits. Disponível em: <https://www.humintech.com/agriculture/information/what-are-humic-acids>. Acesso em: 25 set. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção Agrícola Municipal 2020**. Rio de Janeiro, v. 47, p. 1-8, 2020. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam_2020_v47_br_informativo.pdf. Acesso em: 11 set. 2022.

LOPES, M. A. **Artigo** - Os insumos biológicos na agricultura do futuro. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/37761446/artigo---os-insumos-biologicos-na-agricultura-do-futuro>. Acesso em: 07 jun. 2022.

MACHADO, C. T. de T.; MACHADO, A. T.; FURLANI, Â. M. C. Variação intrapopulacional em milho para características relacionadas com a eficiência de absorção e utilização de fósforo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [s.l.], v. 3, n. 1, p. 77-91, 2004. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/104231/1/Variacao-intrapopulacional.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

MAIA, C.; DO VALE, J. C.; FRITSCHÉ-NETO, R.; CAVATTE, P. C.; MIRANDA, G. V. Diferença entre melhoramento para eficiência no uso de nutrientes e para tolerância a estresse nutricional. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, [s.l.], v. 11, n. 3, p. 270-275, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1984-70332011000300010>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cbab/a/WgJsV6wfTwnHS6xbyQMLQjC/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 05 jul. 2023.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Conceitos**: conheça a base conceitual do Programa Nacional de Bioinsumos. Atualizado em 06/04/2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/o-programa/conceitos>. Acesso em: 06 nov. 2022.

MATTEI, D.; HENKEMEIER, N. P.; HELING, A. L.; LORENZETTI, E.; KUHN, O. J.; STANGARLIN, J. R. Produtos fitossanitários biológicos disponíveis para agricultura e perspectivas de novos produtos. In: ZAMBOM, M.A.; KUHN, O.J.; SILVA, N.L.S.; STANGARLIN, J.R.; NUNES, R.V.; FULBER, V.M.; EYNG, C. (org.). **Ciências Agrárias: Ética do cuidado, legislação e tecnologia na agropecuária**. 1 ed. Marechal Cândido Rondon: Centro de Ciências Agrárias/Unioeste, v. 1, 2017. p. 124-144. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Marcos-Sarto-2/publication/324215720_Adubacao_silicatada_na_cultura_do_milho/links/5ac52ce4a6fdcc051daf1ada/Adubacao-silicatada-na-cultura-do-milho.pdf#page=132. Acesso em: 12 nov. 2022.

MATUSZAK-SLAMANI, R.; BEJGER, R.; CIEŚLA, J.; BIEGANOWSKI, A.; KOCZAŃSKA, M.; GAWLIK, A.; KULPA, D.; SIENKIEWICZ, M.; WŁODARCZYK, M.; GOŁĘBIEWSKA, D. Influence of humic acid molecular fractions on growth and development of soybean seedlings under salt stress. **Plant Growth Regulation**, v. 83, n. 3, p. 465-477, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10725-017-0312-1>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10725-017-0312-1>. Acesso em: 05 jul. 2023.

MENDES, F. F. **Controle genético da eficiência no uso de fósforo em milho tropical**. 2012. 134 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012. Disponível em: http://repositorio.ufra.br/jspui/bitstream/1/375/3/TESE_Controle%20gen%C3%A9tico%20da%20efici%C3%Aancia%20no%20uso%20de%20f%C3%B3sforo%20em%20milho%20tropical.pdf. Acesso em: 17 out. 2022.

MOSA, A. A.; TAHA, A.; ELSAEID, M. Agro-environmental applications of humic substances: A critical review. **Egyptian Journal of Soil Science**, [s.l.], v. 60, n. 3, p. 207-220, 2020. DOI: <https://doi.org/10.21608/ejss.2020.27425.1351>. Disponível em: https://ejss.journals.ekb.eg/article_100757_a9298e8b2e3a1c543fea610f75e4eaff.pdf. Acesso em: 05 jul. 2023.

NAN, J.; CHEN, X.; WANG, X.; LASHARI, M. S.; WANG, Y.; GUO, Z.; DU, Z. Effects of applying flue gas desulfurization gypsum and humic acid on soil physicochemical properties and rapeseed yield of a saline-sodic cropland in the eastern coastal area of China. **Journal of Soils and Sediments**, [s.l.], v. 16, n. 1, p. 38-50, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1186-3>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11368-015-1186-3>. Acesso em: 05 jul. 2023.

OLIVEIRA, T. C. de; SILVA, J.; SALGADO, F. H. M.; SOUSA, S. A.; FIDELIS, R. R. Eficiência e resposta à aplicação de fósforo em feijão comum em solos de cerrado. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v.7, n. 1, p.16-24, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/250613045>. Acesso em: 18 out. 2022.

OZTURK, L.; EKER, S.; TORUN, B.; CAKMAK, I. Variation in phosphorus efficiency among 73 bread and durum wheat genotypes grown in a phosphorus-deficient calcareous soil. **Plant and Soil**, [s.l.], v. 269, p. 69-80, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-004-0469-z>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-004-0469-z>. Acesso em: 05 jul. 2023.

PARENTONI, S. N.; MENDES, F. F.; GUIMARÃES, L. J. M. Melhoramento para eficiência no uso de P. *In*: FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. (ed.). **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. p. 250-255.

PAULA, G. S. **Responsividade e eficiência do uso de fósforo de cultivares de soja**. 2016. 44 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/7793/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 21 out. 2022.

PEREIRA, F. B.; DOVALE, J. C.; CARNEIRO, P. C. S.; FRITSCHÉ-NETO, R. Relação entre os caracteres determinantes das eficiências no uso de nitrogênio e fósforo em milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, p. 636-645, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000500006>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/b3pWDSrvbGt9cJ4dWX4bzMd/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 05 jul. 2023.

PIMENTEL, C. Efficiency of nutrient use by crops for low input agro-environments. *In*: SINGH, R. P.; SHANKAR, N.; JAIWAL, P. K. (ed.). **Nitrogen nutrition in plant productivity**. Studium press, LLC, Houston, Texas, USA, p. 277-328, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228798957_Efficiency_of_nutrient_use_by_crops_for_low_input_agro-environments. Acesso em: 17 out. 2022.

PIRAS, S.; WESZ JÚNIOR, V. J.; GHINOI, S. Soy expansion, environment, and human development: an analysis across Brazilian municipalities. **Sustainability**, [s.l.], v. 13, n. 13, e7246, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13137246>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/13/7246>. Acesso em: 07 jul. 2023.

PRADO, M. R.; WEBER, O. L. D. S.; MORAES, M. F.; SANTOS, C. L. dos; TUNES, M. S. Liquid organomineral fertilizer containing humic substances on soybean grown under water stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 20, p. 408-414, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n5p408-414>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/gt693MV4KGrh8Vgrsz6db7B/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 07 jul. 2023.

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, [s.l.], v. 7, n. 5, 2011. Disponível em: <https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/342>. Acesso em: 15 out. 2022.

ROSA, C. M.; CASTILHOS, R. M. V.; VAHL, L. C.; CASTILHOS, D. D.; SPINELLI PINTO, L. F.; OLIVEIRA, E. S.; LEAL, O. A. Efeito de substâncias húmicas na cinética de absorção de potássio, crescimento de plantas e concentração de nutrientes em *Phaseolus vulgaris* L. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, [s.l.], v. 33, p. 959-967, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000400020>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/5H9fX3DwPMjYRdZbwdNDY8y/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 07 jul. 2023.

ROSA, S. D.; SILVA, C. A.; MALUF, H. J. G. M. Phosphorus availability and soybean growth in contrasting Oxisols in response to humic acid concentrations combined with phosphate sources. **Archives of Agronomy and Soil Science**, [s.l.], v. 66, n. 2, p. 220-235, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1608527>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03650340.2019.1608527>. Acesso em: 07 jul. 2023.

ROSA, V. D. R. **Ação de bioestimulantes na mitigação do estresse por deficiência hídrica em soja**. 2020. 101 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2020. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/192485/rosa_vr_dr_botfca.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em: 12 nov. 2022.

SANTOS, A. L. F. dos. **Caracteres fisiológicos, bioquímicos e produtivos da soja sob aplicação de biofertilizantes em diferentes estádios de desenvolvimento**. 2020. 110 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2020. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/194274/santos_alf_dr_botfca.pdf?sequence=7&isAllowed=y. Acesso em: 12 nov. 2022.

SANTOS M. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Microbial inoculants: reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. **AMB Express**, [s.l.], v. 9, n. 1, p. 1-22, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13568-019-0932-0>. Disponível em: <https://amb-express.springeropen.com/articles/10.1186/s13568-019-0932-0>. Acesso em: 07 jul. 2023.

SCHULTEN, H. -R.; SCHNITZER, M. A state of the art structural concept for humic substances. **Naturwissenschaften**, [s.l.], v. 80, n. 1, p. 29-30, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01139754>. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF01139754.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2023.

SISTEMA IBGE DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA/ INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (SIDRA/IBGE). **Produção Agrícola Municipal - 2020**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 11 set. 2022.

SILVA, F.; BORÉM, A.; SEDIYAMA, T.; CÂMARA, G. **Soja: do plantio à colheita**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2022. 312 p.

SILVA FILHO, A. V.; SILVA, M. I. V. **Importância das Substâncias Húmicas para a Agricultura**. 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/268049508_Importancia_das_Substancias_Humicas_para_a_Agricultura. Acesso em: 24 set 2019.

SOUZA, M. S. de. **Desempenho de soja orgânica com uso de *Trichoderma harzianum* e condicionador de solo**. 2020. 58 f. Dissertação (Mestrado em Agrossistemas) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2020. Disponível em:

<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4874/1/sojaorganicatrighodermaharzianumsolo.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2022.

SZCZERSKI, C.; NAGUIT, C.; MARKHAM, J.; GOH, T. B.; RENAULT, S. Short- and long-term effects of modified humic substances on soil evolution and plant growth in gold mine tailings. **Water, Air, & Soil Pollution**, [s.l.], v. 224, n. 3, p. 1-14, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-013-1471-y>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-013-1471-y>. Acesso em: 07 jul. 2023.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **World Agricultural Supply and Demand Estimates**. WASDE-619, p. 1-38, December 9, 2021. Disponível em: <https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/3t945q76s/m039m632s/r781xh99m/wasde1221.pdf>. Acesso em: 18 set. 2022.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **World Agricultural Supply and Demand Estimates**. WASDE-628, p. 1-38, September 12, 2022. Disponível em: <https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/wasde0922.pdf>. Acesso em: 15 set. 2022.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE/ FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE (USDA/FAS). **World Agricultural Production**. Global Market Analysis. Circular Series, WAP 12-21, p. 1-39, December 2021. Disponível em: <https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/5q47rn72z/08613p05b/3n205156j/production.pdf>. Acesso em: 18 set. 2022.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE/ FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE (USDA/FAS). **World Agricultural Production**. Global Market Analysis. Circular Series, WAP 9-22, p. 1-47, September 2022. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>. Acesso em: 15 set. 2022.

ZHOU, L.; MONREAL, C. M.; XU, S.; MCLAUGHLIN, N. B.; ZHANG, H.; HAO, G.; LIU, J. Effect of bentonite-humic acid application on the improvement of soil structure and maize yield in a sandy soil of a semi-arid region. **Geoderma**, [s.l.], v. 338, p. 269-280, 2019.

CAPÍTULO II

CULTIVARES DE SOJA E DOSES DE ÁCIDO HÚMICO NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES E ESTABELECIMENTO DE PLÂNTULAS

RESUMO

A semente possui os genes que determinam o potencial produtivo das cultivares. Sementes de alta qualidade possuem maior potencial para emergência rápida e uniforme das plântulas em campo, principalmente em condições ambientais desfavoráveis. Diante da sua importância, vários produtos têm como finalidade proteger e/ou melhorar o desempenho da semente. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do ácido húmico na germinação de sementes e crescimento inicial de plântulas em seis cultivares de soja. O trabalho foi conduzido no Laboratório de Análises de Sementes da Universidade Federal de Uberlândia. Foram avaliadas quatro doses de ácido húmico (0, 5, 10 e 15 L ha⁻¹) e seis cultivares de soja (BRS FAVORITA RR, BRS VALIOSA RR, BRSGO 7560, TMG 801, UFUS 6901 e UFUS 7101) em esquema fatorial 4 x 6, constituindo 24 tratamentos. Adotou-se o delineamento de blocos casualizados com cinco repetições, sendo cada parcela composta por um rolo de papel germitest com 50 sementes. Os rolos foram mantidos em germinador, a 25 °C e fotoperíodo de 12 horas de luz por seis dias, em seguida foram realizadas as avaliações. Foi possível concluir que as cultivares de soja influenciam todas as características avaliadas na germinação e crescimento inicial das plântulas, exceto a porcentagem de plântulas danificadas e sementes duras. A dose de 5 L ha⁻¹ de ácido húmico proporciona aumento da porcentagem de germinação e de plântulas de alto vigor e redução na porcentagem de plântulas anormais e deformadas, assim como maior comprimento e acúmulo de matéria fresca de parte aérea e total das plântulas. As cultivares apresentam comportamento distinto em função das doses de ácido húmico para porcentagem de plântulas deterioradas, comprimento e matéria fresca de raiz, acúmulo de matéria seca e relação raiz/parte aérea.

Palavras-chave: *Glycine max*; substâncias húmicas; bioinsumo; bioestimulante; biofertilizante; nutrição vegetal.

SOYBEAN CULTIVARS AND HUMIC ACID DOSES ON SEED GERMINATION AND SEEDLING ESTABLISHMENT

ABSTRACT

The seed has the genes that determine the productive potential of the cultivars. High quality seeds have a greater potential for rapid and uniform emergence of seedlings in the field, especially under unfavorable environmental conditions. Given its importance, several products are intended to protect and/or improve seed performance. Thus, the objective of this study was to evaluate the effect of humic acid on seed germination and seedling initial growth in six soybean cultivars. The work was carried out at the Seed Analysis Laboratory of the Federal University of Uberlândia. Four doses of humic acid (0, 5, 10 and 15 L ha⁻¹) and six soybean cultivars (BRS FAVORITA RR, BRS VALIOSA RR, BRSGO 7560, TMG 801, UFUS 6901 and UFUS 7101) were evaluated in a 4 x 6 factorial scheme, constituting 24 treatments. A randomized block design was adopted with five replications. Each plot consisted of a roll of germitest paper with 50 seeds. The rolls were kept in a germinator, at 25 °C and photoperiod of 12 hours of light for six days, after which the evaluations were performed. It was possible to conclude that the soybean cultivars influence all the characteristics evaluated in germination and initial growth of the seedlings, except the percentage of damaged seedlings and hard seeds. The 5 L ha⁻¹ dose of humic acid provides an increase in the percentage of germination and high vigor seedlings and a reduction in the percentage of abnormal and deformed seedlings, as well as greater length and accumulation of fresh matter of the aerial part and total of the seedlings. The cultivars show different behavior as a function of humic acid doses for the percentage of deteriorated seedlings, root length and fresh matter, dry matter accumulation, and root/shoot ratio.

Keywords: *Glycine max*; humic substances; bio-input; biostimulant; biofertilizer; plant nutrition.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de soja (USDA/FAS, 2022; USDA, 2022), sendo essencial para a segurança alimentar do País e do mundo. Para atender às crescentes demandas dos mercados nacionais e internacionais, e com menores possibilidades de expansão das áreas de cultivo, é necessário a intensificação sustentável da agricultura, a fim de obter maior produção por área cultivada (EMBRAPA, 2018).

A semente é um dos principais insumos da agricultura moderna, ao apresentar as características genéticas que determinam o potencial produtivo das cultivares (FERREIRA et al., 2007). Portanto, o primeiro passo para a obtenção de altas produtividades é a utilização de sementes que apresentam bons atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários (CARMO FILHO, 2022).

Sementes de alta qualidade possuem maior potencial para emergência rápida e uniforme das plântulas em campo, principalmente em condições ambientais desfavoráveis. Com isso, há maior garantia no estabelecimento das plantas, tanto com relação à densidade populacional como para a uniformidade (CARMO FILHO, 2022).

Nesse sentido, à medida que aumenta a percepção do valor da semente e a importância de proteger e/ou melhorar o seu desempenho, aumenta a gama de produtos disponíveis com diferentes finalidades, como proteção ou nutrição, tendo como objetivo principal melhorar o desempenho da semente, tanto no aspecto fisiológico como econômico (AVELAR et al., 2011).

A utilização de ácidos húmicos e fúlvicos tem demonstrado influencia em muitos processos metabólicos vegetais, como o transporte de íons, facilitando a absorção; aumento da respiração e da velocidade das reações enzimáticas do ciclo de Krebs, o que resulta em maior produção de ATP nas células; aumento do conteúdo de clorofila e na velocidade e síntese de ácidos nucleicos; efeito seletivo na síntese proteica; e aumento ou inibição de diversas enzimas (FAÇANHA et al., 2002; OLIVEIRA, 2021).

Por serem materiais constituintes da fração estável da matéria orgânica, as substâncias húmicas afetam positivamente a absorção e retenção de água e nutrientes pelas raízes, melhorando a germinação das sementes, o desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, o crescimento e produtividade das plantas (OLIVEIRA, 2021).

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do ácido húmico na germinação de sementes e crescimento inicial de plântulas em seis cultivares de soja.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Instalação do experimento

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Análises de Sementes da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), em Uberlândia-MG. Foram avaliadas quatro doses de ácido húmico (0, 5, 10 e 15 L ha⁻¹) e seis cultivares de soja (BRS FAVORITA RR, BRS VALIOSA RR, BRSGO 7560, TMG 801, UFUS 6901 e UFUS 7101) em esquema fatorial 4 x 6, constituindo 24 tratamentos. Adotou-se o delineamento de blocos completos casualizados com cinco repetições, resultando em 120 parcelas, cada parcela composta por um rolo de papel germitest com 50 sementes.

As principais características do ácido húmico e das cultivares de soja se encontram nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 – Fonte e composição química do ácido húmico utilizado no experimento.

Fonte	Composição química (%)							
	Ácido Húmico	N	Ácido Fosfórico	K	Mg	Ca	B	Fe
Lignito	5,5	0,1	0,03	1,5	0,02	0,17	0,01	0,02

Tabela 2 – Principais características das cultivares.

Cultivar	Grupo de maturidade	Tipo de crescimento	Peso de 100 grãos (g) ⁴
BRS FAVORITA RR ¹	7.9	Determinado	18,6
BRS VALIOSA RR ¹	8.1	Determinado	19,0
BRSGO 7560 ¹	7.5	Determinado	14,8
TMG 801 ²	8.2	Determinado	14,9
UFUS 6901 ³	7.0	Indeterminado	14,6
UFUS 7101 ³	7.1	Indeterminado	16,5

Fonte: ¹Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA; ²Tropical Melhoramento & Genética – TMG; ³Programa de Melhoramento Genético de Soja – UFU; ⁴A autora.

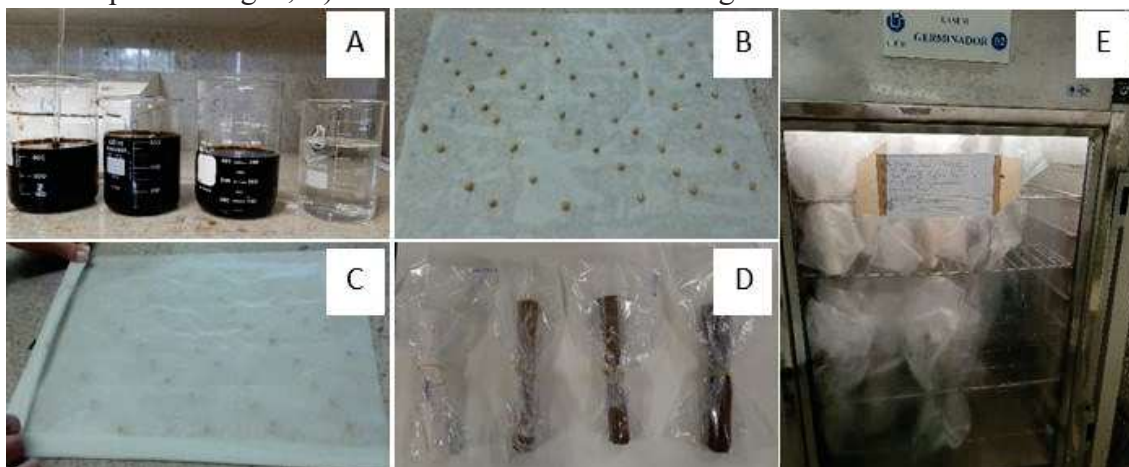
O substrato utilizado no experimento foi composto por três folhas de papel germitest, sendo duas folhas usadas como base para a distribuição das sementes e uma folha como cobertura.

Para minimizar diferenças que poderiam ocorrer devido ao tempo entre a montagem do experimento e a avaliação, optou-se por montar o experimento por bloco. Em cada bloco, 18 folhas de papel germitest foram pesadas para cada dose de ácido

húmico a ser testada. Segundo metodologia proposta pelas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), o peso das folhas foi multiplicado por 2,5 e o resultado correspondeu ao volume de água destilada em mL a ser utilizada para umedecer as folhas.

Para o cálculo do ácido húmico a ser aplicado nas folhas de papel germitest, juntamente com a água destilada, considerou-se que em 1 ha seria utilizado um volume de calda de 200 L para a aplicação das doses de ácido húmico (0, 5, 10 e 15 L ha⁻¹), assim a quantidade de ácido húmico a ser diluída em cada mL de água destilada foi, respectivamente, de 0; 0,025; 0,05 e 0,075 mL de ácido húmico para cada mL de água destilada (Imagem 1A).

Imagem 1 – Instalação do experimento em laboratório. A) Soluções de água destilada e ácido húmico utilizadas para umedecer o substrato; B) Posicionamento das sementes em papel germitest; C) Elaboração dos rolos; D) Rolos envoltos por sacos plásticos para evitar a perda de água; E) Posicionamento dos rolos no germinador.



Fonte: A autora.

A fim de realizar o teste de germinação e, de maneira concomitante, o teste de crescimento de plântulas, utilizou-se um gabarito para o posicionamento de 50 sementes nas folhas já umedecidas e as primeiras 20 sementes que estavam no terço superior do papel germitest foram posicionadas com a micrópila virada para baixo.

Posteriormente, as folhas foram enroladas e, com o auxílio de um elástico, os rolos foram envolvidos por dois sacos plásticos, de maneira que quando o rolo estivesse na posição vertical, a abertura do saco superior ficasse dentro do saco inferior para evitar a perda de água do sistema (Imagem 1B, 1C e 1D). Posteriormente, os rolos foram colocados na posição vertical dentro do germinador (BOD), com temperatura de 25 °C e fotoperíodo de 12 horas de luz (Imagem 1E).

2.2 Avaliações

2.2.1 Germinação de sementes

Seis dias após a instalação do experimento, avaliou-se cada parcela composta por 50 sementes, observando as seguintes variáveis, segundo os critérios das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009) e definição de vigor estabelecida pela Associação Oficial dos Analistas de Sementes dos Estados Unidos (BAALBAKI et al., 2009):

- a) Porcentagem de germinação: proporção do número de sementes que produziu plântulas classificadas como normais.
- b) Porcentagem de plântulas normais: plântulas que apresentam potencial para continuar seu desenvolvimento e dar origem a plantas normais, quando desenvolvidas sob condições favoráveis, podendo ser classificadas como:
 - b.1) De alto vigor: plântulas que apresentam potencial para uma emergência rápida e uniforme e o desenvolvimento de plântulas normais sob ampla diversidade de condições de ambiente.
 - b.2) De baixo vigor: plântulas que apresentam menor potencial do que aquelas de alto vigor.

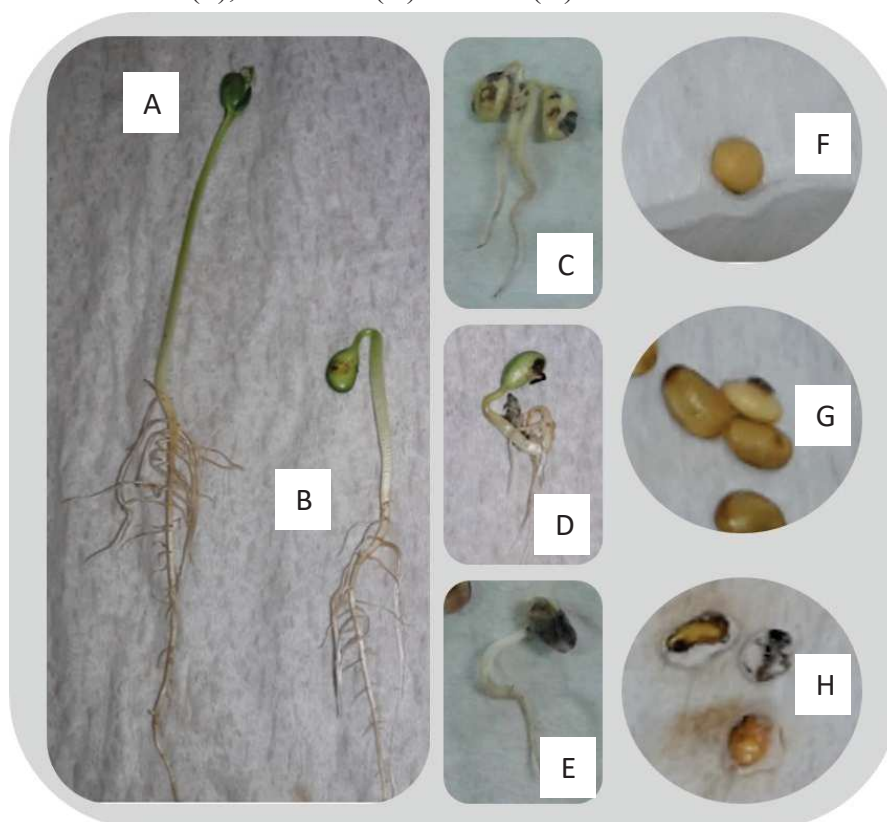
Assim, por meio da comparação das plântulas, determinou-se como plântulas de alto vigor aquelas com maior desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular, e as plântulas com menor desenvolvimento foram classificadas como de baixo vigor.

- c) Porcentagem de plântulas anormais: plântulas que não mostram potencial para continuar seu desenvolvimento e dar origem a plantas normais, mesmo crescendo em condições favoráveis, podendo ser classificadas em:
 - c.1) Danificadas: plântulas com qualquer uma das suas estruturas essenciais ausentes ou tão danificadas que não possa ocorrer desenvolvimento proporcional.
 - c.2) Deformadas: plântulas com desenvolvimento fraco, ou com distúrbios fisiológicos, ou com estruturas essenciais deformadas, ou desproporcionais.
 - c.3) Deterioradas: plântulas com qualquer uma de suas estruturas essenciais muito infectadas ou muito deterioradas, que comprometa o seu desenvolvimento normal.

- d) Porcentagem de sementes não germinadas: corresponde às sementes que não germinaram ao final do teste, podendo ser classificadas como:
- d.1) Duras: permanecem sem absorver água por um período mais longo que o normal e se apresentam no final do teste com aspecto de sementes recém colocadas no substrato.
 - d.2) Dormentes: sementes que embora viáveis não germinam. Algumas podem absorver água e intumescer, mas não germinam nem apodrecem até o final do teste.
 - d.3) Mortas: sementes que no final do teste não germinam, não estão duras, nem dormentes, e geralmente, apresentam-se amolecidas, atacadas por microorganismos e não apresentam nenhum sinal de início de germinação.

Na Imagem 2 é possível observar um exemplo de plântula classificada como normal (de alto e baixo vigor), anormal (danificada, deformada e deteriorada) e semente não germinada (dura, dormente e morta).

Imagem 2 – Exemplo de uma plântula normal de alto vigor (A) e baixo vigor (B); plântula anormal danificada (C), deformada (D) e deteriorada (E); e semente não germinada classificada como dura (F), dormente (G) e morta (H).



Fonte: A autora.

2.2.2 Crescimento inicial de plântulas

Além da avaliação de germinação, as 20 sementes que foram posicionadas no terço superior do papel germitest, de cada parcela, e que originaram plântulas normais, também foram avaliadas aos seis dias, considerando as seguintes características:

- a) Comprimento de parte aérea e raiz (cm): o comprimento de parte aérea e raiz foi determinado com o auxílio de régua milimetrada.
- b) Matéria fresca de parte aérea, raiz e total (g): após a retirada do cotilédone e separação da parte aérea e raiz realizou-se a pesagem da matéria fresca em balança de precisão de 0,0001 g.
- c) Matéria seca de parte aérea, raiz e total (g): após pesagem da matéria fresca, a parte aérea e raiz das plântulas foram acondicionadas em sacos de papel e conduzidas para a estufa com temperatura de 65 °C, por um período de 72 horas, para a pesagem da matéria seca em balança de precisão de 0,0001 g.
- d) Relação entre raiz e parte aérea: para verificar o equilíbrio entre raiz e parte aérea, dividiu-se a matéria seca de raiz pela matéria seca de parte aérea, obtendo-se um valor adimensional, em que quanto maior o valor, maior o desenvolvimento do sistema radicular em relação à parte aérea.

2.3 Análises estatísticas

Os dados foram avaliados quanto às pressuposições de normalidade dos resíduos, homogeneidade das variâncias e aditividade de blocos, pelos testes de Shapiro-Wilk, Levene e Tukey para aditividade, respectivamente, a 1% de probabilidade, utilizando o software estatístico SPSS (IBM, 2013). Quando necessário, os dados foram transformados visando atender às pressuposições.

Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância, as médias das cultivares foram comparadas pelo teste de Tukey e as doses de ácido húmico ajustadas em curvas de regressão. Os testes foram realizados no software Sisvar (FERREIRA, 2011) considerando os níveis de 1 e 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS

3.1 Germinação de sementes

Houve efeito significativo da interação entre doses de ácido húmico e cultivares de soja apenas para a variável plântulas deterioradas. Para porcentagem de germinação e de plântulas de alto e baixo vigor, deformadas e total de plântulas anormais observou-se efeito significativo dos fatores isolados. Por outro lado, não houve efeito significativo para porcentagem de plântulas danificadas (Tabela 3).

Tabela 3 – Pressuposições e resumo da análise de variância para porcentagem de germinação (PG) e de plântulas de alto vigor (PAV), baixo vigor (PBV), deformadas (PDef), deterioradas (PDet), danificadas (PDan) e total de plântulas anormais (PA) de cultivares de soja submetidas a doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.

FV	GL	PG	PAV	PBV	PDef	PDet	PDan	PA
Dose	3	11,68**	14,34**	3,44*	3,07*	10,95**	0,20 ^{ns}	13,42**
Cultivar	5	116,77**	25,31**	16,36**	3,37**	4,74**	1,42 ^{ns}	7,42**
D x C	15	10,35 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,91 ^{ns}	1,76*	0,80 ^{ns}	1,64 ^{ns}
W		0,987	0,991	0,974	0,988	0,974	0,619	0,983
F _{Lev.}		1,563	1,740	2,757	1,572	1,653	4,156	1,968
F _{Aditiv.}		2,790	0,264	6,338	0,405	0,496	58,376	0,435
Transformação		-	-	$\sqrt{x}$	-	arco seno $\sqrt{x/100}$	-	-

^{ns}, ** e *: não significativo, significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. W, F_{Lev} e F_{Aditiv.}: Estatísticas dos testes de Shapiro-Wilk, Levene e Tukey para aditividade em que valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal, variâncias homogêneas e blocos com efeitos aditivos, respectivamente, a 1% de probabilidade. FV: Fonte de variação. GL: Graus de liberdade. Fonte: A autora.

Quanto ao efeito das cultivares, verificou-se que TMG 801 apresentou desempenho superior, no qual 85% das sementes originaram plântulas classificadas como normais, sendo 57% de alto vigor e 28% de baixo vigor, além de 14% de plântulas classificadas como anormais, sendo 8% deformadas (Tabela 4).

Tabela 4 – Porcentagem de germinação (PG) e de plântulas de alto vigor (PAV), baixo vigor (PBV), anormais (PA) e deformadas (PDef) de cultivares de soja submetidas a doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.

Cultivar	PG (%)	PAV (%)	PBV (%)	PA (%)	PDef (%)
BRS GO 7560	67,8 c	44,6 b	23,2 b	22,8 bc	9,6 ab
BRS FAVORITA RR	76,0 b	44,9 b	31,1 b	22,3 bc	12,6 ab
TMG 801	85,4 a	56,9 a	28,5 b	14,0 a	8,1 a
UFUS 6901	33,0 d	22,2 c	10,8 a	27,5 c	14,3 b
UFUS 7101	76,1 b	53,1 ab	22,9 b	18,2 ab	12,1 ab
BRS VALIOSA RR	77,0 b	47,7 ab	29,3 b	19,6 ab	11,1 ab
CV (%)	11,1	24,0	19,4	36,2	47,5
Média geral	69,2	44,9	24,3	20,8	11,3

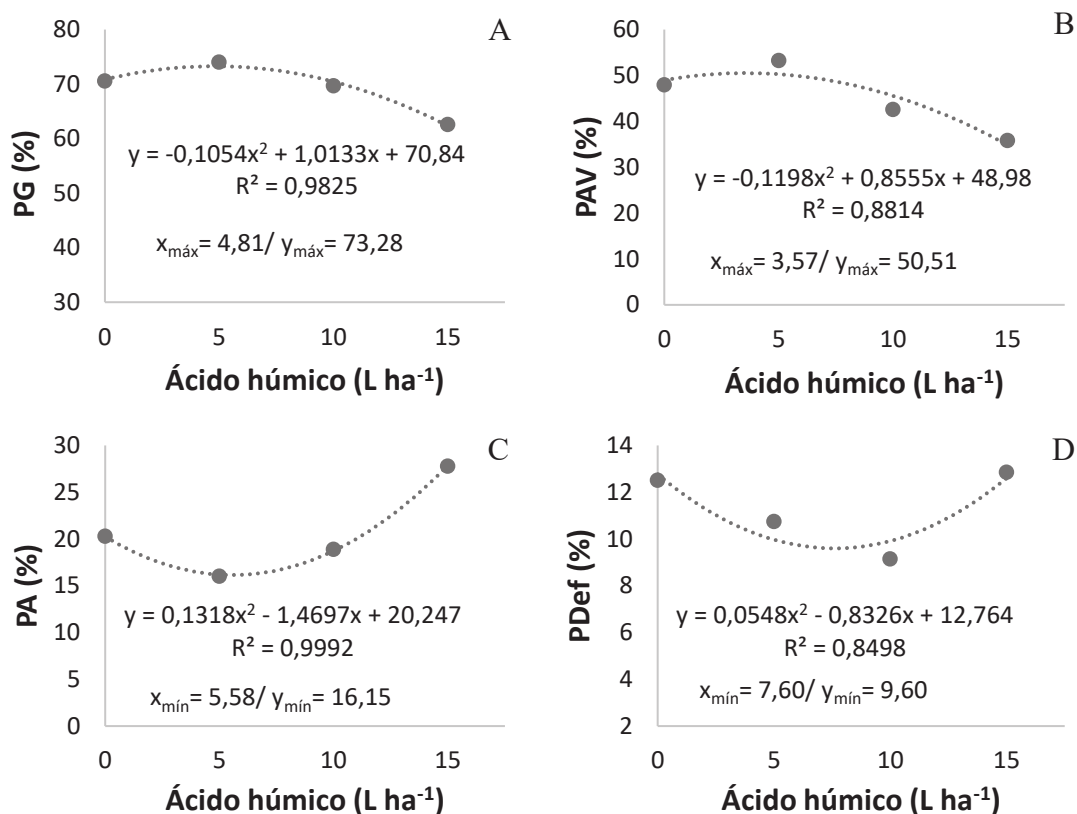
Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: A autora.

As cultivares UFUS 7101 e BRS VALIOSA RR obtiveram resultado intermediário apresentando em média 76% de plântulas normais, sendo 50% de plântulas vigorosas e 26% de plântulas fracas, e em média 19% de plântulas anormais, com 12% deformadas (Tabela 4).

A cultivar UFUS 6901 apresentou resultado inferior com apenas 33% de plântulas normais, dentre as quais 22% eram plântulas fortes e 11% fracas, além de 27% de plântulas anormais, sendo 14% deformadas (Tabela 4).

Ao avaliar o efeito das doses de ácido húmico, verificou-se que o aumento da dose causou aumento na taxa de germinação e de plântulas normais de alto vigor, com máximo de 73%, na dose de 4,8 L ha⁻¹ e 50%, na dose de 3,6 L ha⁻¹, respectivamente. Posteriormente, houve um decréscimo nessas variáveis (Imagem 3A e 3B).

Imagem 3 – Porcentagem de germinação (PG) e de plântulas de alto vigor (PAV), anormais (PA) e deformadas (PDef) de cultivares de soja em função das doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.



Fonte: A autora.

Para porcentagem de plântulas anormais e deformadas, o aumento das doses de ácido húmico causou uma redução até o mínimo de 16% de plântulas anormais, na dose de 5,6 L ha⁻¹, e 10% de plântulas deformadas, na dose de 7,6 L ha⁻¹. A partir desses pontos houve aumento nestas variáveis (Imagem 3C e 3D). Para porcentagem de plântulas de baixo vigor não foi possível ajustar curvas de regressão.

Ao avaliar o efeito das cultivares de soja em cada dose de ácido húmico para porcentagem de plântulas deterioradas, verificou-se que na ausência de ácido húmico e presença de 5 L ha⁻¹, os valores para esta variável foram semelhantes entre as cultivares, variando entre 1 e 13% de plântulas deterioradas (Tabela 5).

Tabela 5 – Porcentagem de plântulas anormais classificadas como deterioradas (PDet) de cultivares de soja submetidas a doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.

Ácido húmico (L ha ⁻¹)				Ácido húmico (L ha ⁻¹)			
Cultivar		PDet (%)		Cultivar		PDet (%)	
0	BRSGO 7560	9,22	a	5	BRSGO 7560	5,20	a
	BRS FAVORITA	8,40	a		BRS FAVORITA	3,21	a
	TMG 801	2,83	a		TMG 801	1,20	a
	UFUS 6901	13,18	a		UFUS 6901	8,80	a
	UFUS 7101	6,78	a		UFUS 7101	5,28	a
	BRS VALIOSA	5,57	a		BRS VALIOSA	6,40	a
10	BRSGO 7560	15,60	b	15	BRSGO 7560	22,23	b
	BRS FAVORITA	4,00	a		BRS FAVORITA	22,80	b
	TMG 801	8,80	ab		TMG 801	10,91	ab
	UFUS 6901	12,98	ab		UFUS 6901	16,93	b
	UFUS 7101	8,40	ab		UFUS 7101	3,60	a
	BRS VALIOSA	7,15	ab		BRS VALIOSA	12,42	ab
CV: 45,74%; Média geral: 9,24%							

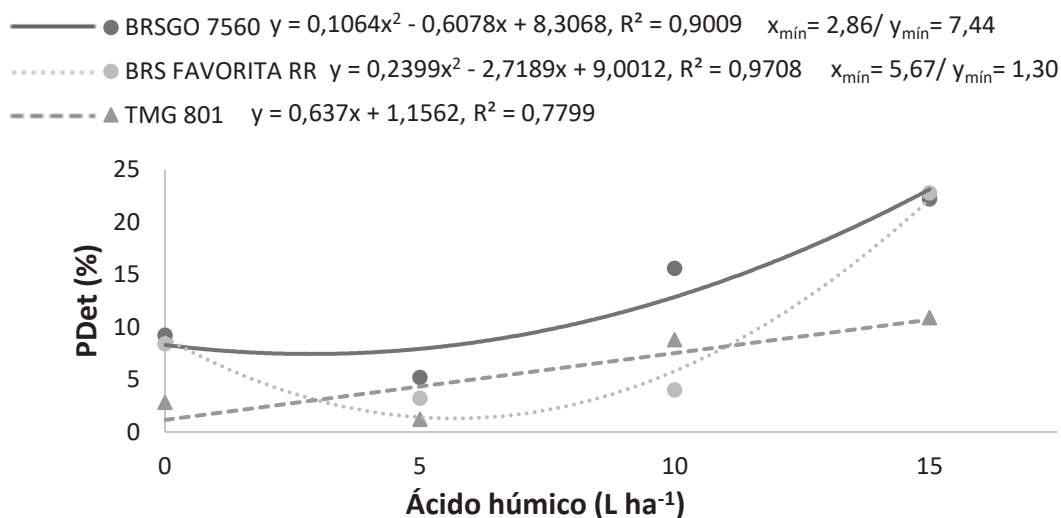
Médias seguidas por letras distintas na coluna e dentro de cada dose de ácido húmico diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: A autora.

Na dose de 10 L ha⁻¹, a cultivar BRS FAVORITA RR apresentou desempenho superior com 4% de plântulas deterioradas, porém este valor foi semelhante às demais cultivares, com exceção da BRSGO 7560 que apresentou o resultado inferior de 16% de plântulas deterioradas (Tabela 5).

Na dose de 15 L ha⁻¹, BRS FAVORITA RR apresentou 23% de plântulas deterioradas, valor semelhante às demais cultivares com exceção de UFUS 7101, que obteve desempenho superior com 4% de plântulas deterioradas (Tabela 5).

Quanto ao efeito das doses de ácido húmico em cada cultivar de soja para porcentagem de plântulas deterioradas, foi possível ajustar curvas de regressão quadrática para BRSGO 7560 e BRS FAVORITA RR, em que o aumento da dose causou menor porcentagem de plântulas deterioradas, com BRSGO 7560 apresentando o valor mínimo de 7%, na dose de 3 L ha⁻¹, e BRS FAVORITA RR, 1%, na dose de 6 L ha⁻¹ (Imagem 4).

Imagem 4 – Porcentagem de plântulas anormais classificadas como deterioradas (PDet) de cultivares de soja em função das doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.



Fonte: A autora.

A cultivar TMG 801 apresentou uma curva linear crescente, na qual a cada 1 L ha⁻¹ de ácido húmico aplicado, houve um aumento de 0,6% de plântulas deterioradas, sendo que na ausência de ácido húmico foi obtido 1% de plântulas com esta classificação (Imagem 4). Para as demais cultivares, não foi possível ajustar curvas de regressão para porcentagem de plântulas deterioradas.

Com relação às sementes que não germinaram, assim como as classificadas como dormentes e mortas, observou-se efeito significativo apenas do fator cultivar. Não houve diferenças significativas para sementes duras. Portanto, as doses de ácido húmico não influenciaram nestas características (Tabela 6).

Tabela 6 – Pressuposições e resumo da análise de variância para porcentagem de sementes não germinadas (PSNG) e classificadas como duras (PSDu), dormentes (PSDo) e mortas (PSMo) de cultivares de soja submetidas a doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.

FV	GL	PSNG	PSDu	PSDo	PSMo
Dose	3	1,29 ^{ns}	1,06 ^{ns}	0,82 ^{ns}	1,28 ^{ns}
Cultivar	5	143,84 ^{**}	1,27 ^{ns}	146,78 ^{**}	88,04 ^{**}
D x C	15	0,63 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,67 ^{ns}
W		0,986	0,650	0,941	0,978
F _{Lev.}		1,641	5,845	8,052	1,602
F _{Aditiv.}		2,634	5,040	5,303	1,420
Transformação		arco seno $\sqrt{x/100}$	-	arco seno $\sqrt{x/100}$	arco seno $\sqrt{x/100}$

^{ns} e ^{**}: não significativo e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. W, F_{Lev} e F_{Aditiv.}: Estatísticas dos testes de Shapiro-Wilk, Levene e Tukey para aditividade em que valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal, variâncias homogêneas e blocos com efeitos aditivos, respectivamente, a 1% de probabilidade. FV: Fonte de variação. GL: Graus de liberdade. Fonte: A autora.

Quanto ao efeito das cultivares de soja, TMG 801 apresentou resultado superior às demais com 0,5% das sementes não germinadas, as quais foram todas classificadas como sementes mortas, não apresentando nenhuma semente dormente. A BRS FAVORITA RR apresentou valores semelhantes com 2% de sementes não germinadas, sendo 1% das sementes mortas e 0,5% dormentes. Em contrapartida, UFUS 6901 apresentou desempenho inferior com 39% de sementes não germinadas, sendo 22% mortas e 17% dormentes (Tabela 7).

Tabela 7 – Porcentagem de sementes não germinadas (PSNG) e classificadas como dormentes (PSDo) e mortas (PSMo) de cultivares de soja submetidas a doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.

Cultivar	PSNG (%)	PSDo (%)	PSMo (%)
BRS GO 7560	9,33 d	0,00 a	9,33 c
BRS FAVORITA RR	1,70 ab	0,50 ab	1,10 a
TMG 801	0,51 a	0,00 a	0,51 a
UFUS 6901	39,50 e	16,94 c	22,35 d
UFUS 7101	5,71 cd	1,30 b	4,21 b
BRS VALIOSA RR	3,39 bc	0,50 ab	2,49 b
CV (%)	35,29	63,41	41,60
Média geral	10,02	3,21	6,66

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: A autora.

3.2 Crescimento inicial de plântulas

A interação entre doses de ácido húmico e cultivares de soja apresentou efeito significativo para todas as variáveis analisadas no crescimento inicial das plântulas, com exceção do comprimento e matéria fresca de parte aérea e total, que apresentaram efeito significativo dos fatores de maneira isolada (Tabela 8).

Tabela 8 – Pressuposições e resumo da análise de variância para comprimento da parte aérea (CPA) e de raiz (CR); matéria fresca de parte aérea (MFPA), raiz (MFR) e total (MFT); matéria seca de parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e total (MST); e relação entre raiz e parte aérea (R/PA) de plântulas de cultivares de soja submetidas a doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.

FV	GL	CPA	CR	MFPA	MFR	MFT	MSPA	MSR	MST	R/PA
Dose	3	14,0**	61,7**	10,7**	11,8**	6,3**	15,8**	7,7**	21,2**	0,5 ^{ns}
Cultivar	5	5,5**	58,7**	4,8**	26,2**	9,2**	34,8**	60,6**	79,0**	21,1**
D x C	15	1,3 ^{ns}	7,0**	1,4 ^{ns}	2,6**	1,5 ^{ns}	2,1*	2,1*	2,3**	1,8*
W		0,994	0,988	0,958	0,990	0,971	0,986	0,994	0,993	1,747
F _{Lev.}		1,201	1,354	1,807	1,213	1,813	1,087	1,550	0,523	0,978
F _{Aditiv.}		1,260	0,442	0,233	3,217	2,264	0,542	0,343	0,529	0,338
Transformação		-	-	-	-	$\sqrt{x}$	-	-	-	$\sqrt{x}$

^{ns}, ** e *: não significativo, significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. W, F_{Lev} e F_{Aditiv.}: Estatísticas dos testes de Shapiro-Wilk, Levene e Tukey para aditividade em que valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal, variâncias homogêneas e blocos com efeitos aditivos, respectivamente, a 1% de probabilidade. FV: Fonte de variação. GL: Graus de liberdade. Fonte: A autora.

Sobre o efeito das cultivares de soja, verificou-se que plântulas de UFUS 7101 apresentaram parte aérea com maior comprimento (5,1 cm) e matéria fresca (0,27 g). Valores semelhantes ao comprimento de parte aérea desta cultivar foram obtidos por TMG 801, UFUS 6901 e BRS VALIOSA RR, com valores entre 4,6 e 4,9 cm. Para matéria fresca de parte aérea, as cultivares TMG 801, BRS VALIOSA RR e BRS FAVORITA RR também foram semelhantes à UFUS 7101, com valores entre 0,25 e 0,26 g. O menor resultado para essas variáveis foi apresentado pela BRSGO 7560, com 4,2 cm de comprimento e 0,22 g de matéria fresca de parte aérea (Tabela 9).

Tabela 9 – Comprimento de parte aérea (CPA) e matéria fresca de parte aérea (MFPA) e total (MFT) de plântulas de cultivares de soja submetidas a doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.

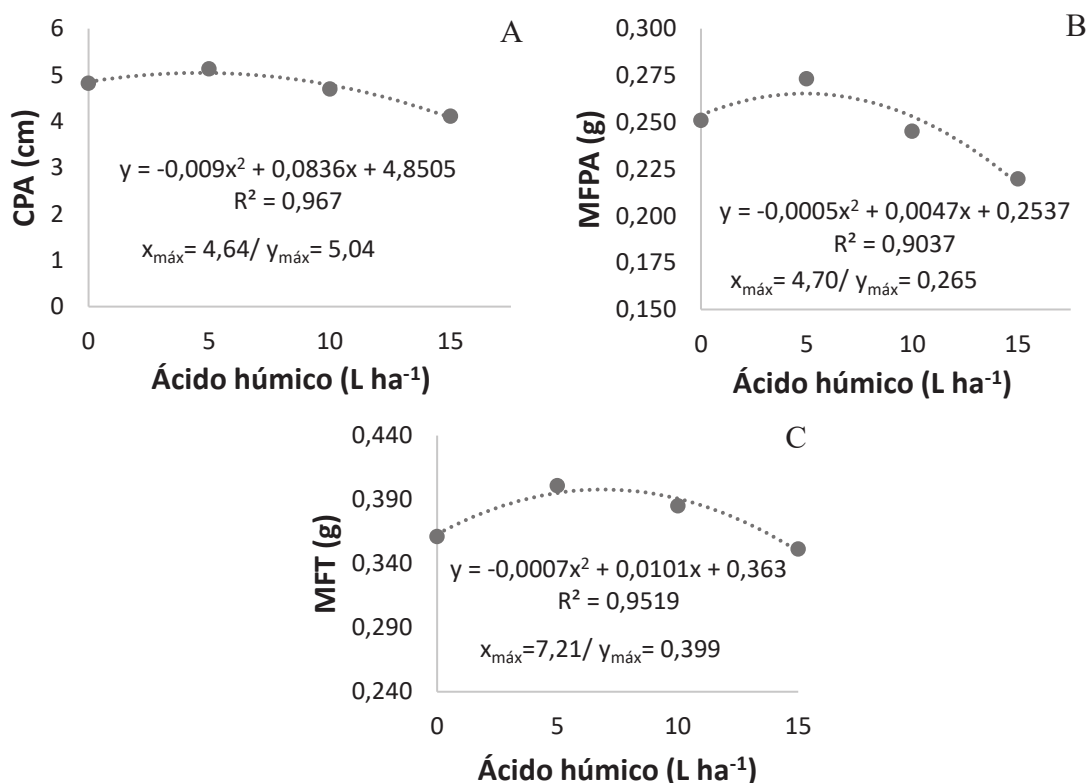
Cultivar	CPA (cm)	MFPA (g)	MFT (g)
BRS GO 7560	4,25 c	0,2221 c	0,3615 a
BRS FAVORITA RR	4,41 bc	0,2488 abc	0,3951 a
TMG 801	4,95 ab	0,2557 abc	0,3969 a
UFUS 6901	4,75 abc	0,2296 bc	0,3135 b
UFUS 7101	5,14 a	0,2695 a	0,3911 a
BRS VALIOSA RR	4,63 abc	0,2581 ab	0,3896 a
CV (%)	13,42	14,86	6,62
Média geral	4,69	0,2473	0,3746

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: A autora.

Para matéria fresca total, as cultivares apresentaram resultados semelhantes (entre 0,36 a 0,40 g), diferindo apenas da UFUS 6901, que foi inferior às demais, ao apresentar plântulas com matéria fresca total de 0,31 g (Tabela 9).

Quanto ao efeito das doses de ácido húmico, verificou-se um aumento do comprimento e matéria fresca de parte aérea das plântulas, com o aumento da dose, até um máximo de 5,1 cm e 0,26 g, ao utilizar cerca de 5 L ha⁻¹ de ácido húmico. Em seguida houve um decréscimo nessas características. Comportamento semelhante foi observado para a matéria fresca total, que foi superior (0,40 g) na dose de 7 L ha⁻¹ (Imagem 5).

Imagem 5 – Comprimento de parte aérea (CPA) e matéria fresca de parte aérea (MFPA) e total (MFT) de plântulas de cultivares de soja em função das doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.



Fonte: A autora.

Para comprimento de raiz, ao avaliar o efeito das cultivares de soja em cada dose de ácido húmico, verificou-se que na ausência do produto, as plântulas de TMG 801 foram superiores às demais, ao apresentarem raiz principal de 14 cm de comprimento. Com a aplicação de 5 L ha⁻¹, as raízes das cultivares BRS FAVORITA RR, TMG 801, UFUS 7101 e BRS VALIOSA RR apresentaram comprimento semelhante, com valores variando entre 10 e 12 cm. A 10 L ha⁻¹, no entanto, apenas BRS FAVORITA RR e BRS VALIOSA RR continuaram apresentando maior comprimento de raiz (12 cm) (Tabela 10).

Tabela 10 – Comprimento de raiz (CR) de plântulas de cultivares de soja submetidas a doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.

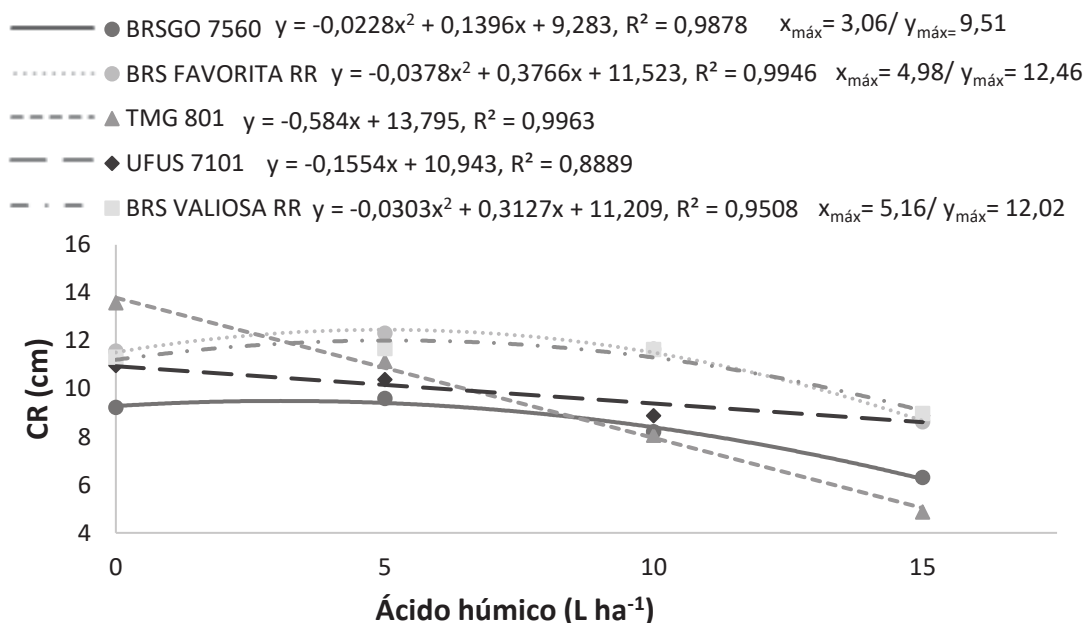
Doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germinítest.							
Ácido húmico (L ha ⁻¹)	Cultivar	CR (cm)		Ácido húmico (L ha ⁻¹)	Cultivar	CR (cm)	
0	BRS GO 7560	9,22	c	5	BRS GO 7560	9,60	b
	BRS FAVORITA	11,57	b		BRS FAVORITA	12,32	a
	TMG 801	13,58	a		TMG 801	11,14	ab
	UFUS 6901	6,24	d		UFUS 6901	7,15	c
	UFUS 7101	10,97	bc		UFUS 7101	10,38	ab
	BRS VALIOSA	11,32	b		BRS VALIOSA	11,68	a
10	BRS GO 7560	8,21	b	15	BRS GO 7560	6,31	b
	BRS FAVORITA	11,65	a		BRS FAVORITA	8,62	a
	TMG 801	8,07	b		TMG 801	4,87	b
	UFUS 6901	5,60	c		UFUS 6901	5,34	b
	UFUS 7101	8,88	b		UFUS 7101	8,88	a
	BRS VALIOSA	11,64	a		BRS VALIOSA	8,97	a
CV: 11,67%; Média geral: 9,26 cm							

Médias seguidas por letras distintas na coluna e dentro de cada dose de ácido húmico diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: A autora.

No geral, a cultivar UFUS 6901 apresentou o menor comprimento de raiz (6 cm em média), exceto na dose de 15 L ha⁻¹, em que esta cultivar foi semelhante a TMG 801 e BRS GO 7560, com valor médio de apenas 5 cm de raiz. As demais cultivares foram superiores a este grupo, com média de 9 cm de raiz (Tabela 10).

Na avaliação das doses de ácido húmico em cada cultivar para comprimento de raiz, foi possível ajustar curvas de regressão linear para TMG 801 e UFUS 7101, as quais apresentaram uma redução de 0,60 e 0,15 cm, respectivamente, a cada 1 L ha⁻¹ de ácido húmico aplicado. Na ausência deste bioinsumo, as plântulas apresentaram em média 14 e 11 cm de raiz, respectivamente (Imagem 6).

Imagem 6 – Comprimento de raiz (CR) de plântulas de cultivares de soja em função das doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.



Fonte: A autora.

Para BRS GO 7560, BRS FAVORITA RR e BRS VALIOSA RR observou-se curvas de regressão quadrática, as quais apresentaram incrementos no comprimento da raiz até um máximo de 9 cm, na dose de 3 L ha⁻¹, para BRS GO 7560, e máximos de 12 cm, na dose de 5 L ha⁻¹, para BRS FAVORITA RR e BRS VALIOSA RR (Imagem 6). Não foi possível ajustar curvas de regressão para UFUS 6901 para comprimento de raiz.

Para matéria fresca de raiz, o efeito das cultivares em cada dose de ácido húmico mostrou que, na ausência do produto, BRS GO 7560, BRS FAVORITA RR e TMG 801 foram superiores com cerca de 0,12 g. A 5 L ha⁻¹, este grupo continuou apresentando resultados semelhantes, porém apenas TMG 801 foi superior às demais cultivares com 0,16 g de matéria fresca de raiz. A 10 L ha⁻¹, apenas UFUS 6901 apresentou resultado inferior (0,08 g) que diferiu das outras cultivares (0,13 a 0,16 g). Porém, a 15 L ha⁻¹, TMG 801 foi inferior a BRS FAVORITA RR, que apresentaram 0,12 e 0,16 g de matéria fresca de raiz, respectivamente; e UFUS 6901 apresentou o menor desempenho, assim como nas demais doses de ácido húmico, com cerca de 0,08 g (Tabela 11).

Tabela 11 – Matéria fresca de raiz (MFR) de plântulas de cultivares de soja submetidas a doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.

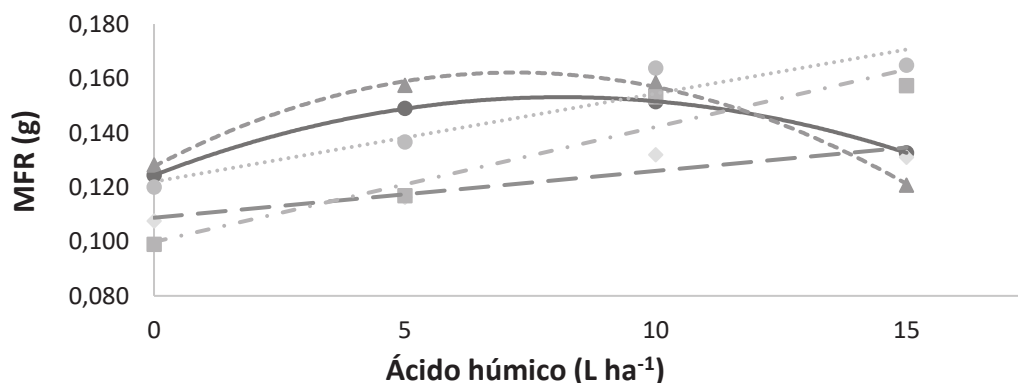
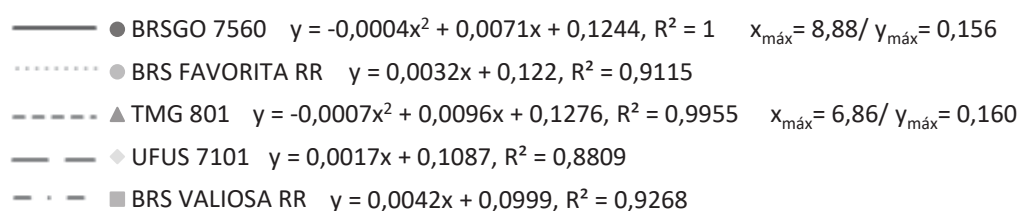
Ácido húmico (L ha ⁻¹)	Cultivar	MFR (g)	Ácido húmico (L ha ⁻¹)	Cultivar	MFR (g)
0	BRS GO 7560	0,124 a	5	BRS GO 7560	0,149 ab
	BRS FAVORITA	0,120 a		BRS FAVORITA	0,137 ab
	TMG 801	0,128 a		TMG 801	0,157 a
	UFUS 6901	0,081 b		UFUS 6901	0,090 c
	UFUS 7101	0,107 ab		UFUS 7101	0,116 bc
	BRS VALIOSA	0,099 ab		BRS VALIOSA	0,117 bc
10	BRS GO 7560	0,151 a	15	BRS GO 7560	0,133 ab
	BRS FAVORITA	0,164 a		BRS FAVORITA	0,165 a
	TMG 801	0,159 a		TMG 801	0,121 b
	UFUS 6901	0,080 b		UFUS 6901	0,084 c
	UFUS 7101	0,132 a		UFUS 7101	0,131 ab
	BRS VALIOSA	0,153 a		BRS VALIOSA	0,157 ab

CV: 15,76%; Média geral: 0,127 g

Médias seguidas por letras distintas na coluna e dentro de cada dose de ácido húmico diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: A autora.

Assim como no comprimento da raiz, para matéria fresca de raiz foi possível ajustar curvas de regressão para todas as cultivares, exceto UFUS 6901. Para BRS FAVORITA RR, UFUS 7101 e BRS VALIOSA RR, o aumento das doses de ácido húmico causou um aumento linear da matéria fresca do sistema radicular (Imagem 7).

Imagem 7 – Matéria fresca de raiz (MFR) de plântulas de cultivares de soja em função das doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.



Fonte: A autora.

As cultivares BRSGO 7560 e TMG 801 apresentaram comportamento quadrático para esta variável, com ponto máximo de 0,16 g, nas doses de 9 e 7 L ha⁻¹ de ácido húmico, respectivamente. A partir desses pontos houve uma redução da matéria fresca da raiz (Imagem 7).

Com relação às demais variáveis do crescimento inicial das plântulas, ao avaliar o efeito das cultivares em cada dose, verificou-se que nas menores doses de ácido húmico, as cultivares TMG 801 e BRS FAVORITA RR apresentaram desempenho superior, com matéria seca apresentando em média 0,021 g de parte aérea, 0,014 g de sistema radicular e 0,036 g total, além de 0,69 de relação entre raiz e parte aérea (Tabela 12)

Tabela 12 – Matéria seca de parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e total (MST), e relação entre raiz e parte aérea (R/PA) de plântulas de cultivares de soja submetidas a doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.

Ácido húmico (L ha ⁻¹)	Cultivar	MSPA (g)	MSR (g)	MST (g)	R/PA
0	BRSGO	0,0186 b	0,0138 ab	0,0324 ab	0,75 a
	FAVORITA	0,0224 a	0,0140 ab	0,0365 a	0,63 ab
	TMG 801	0,0196 ab	0,0143 a	0,0339 ab	0,76 a
	UFUS 6901	0,0146 c	0,0075 d	0,0220 c	0,51 b
	UFUS 7101	0,0187 b	0,0108 c	0,0294 b	0,58 ab
	VALIOSA	0,0213 ab	0,0113 bc	0,0326 ab	0,53 b
5	BRSGO 7560	0,0202 b	0,0145 a	0,0347 ab	0,72 a
	FAVORITA	0,0211 ab	0,0144 a	0,0355 ab	0,68 a
	TMG 801	0,0215 ab	0,0146 a	0,0361 a	0,68 ab
	UFUS 6901	0,0146 c	0,0073 c	0,0219 c	0,49 c
	UFUS 7101	0,0201 b	0,0111 b	0,0312 b	0,55 abc
	VALIOSA	0,0238 a	0,0118 ab	0,0357 ab	0,50 bc
10	BRSGO 7560	0,0175 a	0,0135 ab	0,0310 ab	0,77 a
	FAVORITA	0,0206 a	0,0142 a	0,0347 a	0,69 a
	TMG 801	0,0199 a	0,0129 ab	0,0328 ab	0,65 a
	UFUS 6901	0,0140 b	0,0057 c	0,0197 c	0,41 b
	UFUS 7101	0,0179 a	0,0109 b	0,0288 b	0,62 a
	VALIOSA	0,0201 a	0,0138 a	0,0340 a	0,69 a
15	BRSGO 7560	0,0154 cd	0,0109 ab	0,0264 bc	0,71 a
	FAVORITA	0,0198 a	0,0131 a	0,0329 a	0,66 a
	TMG 801	0,0156 bcd	0,0104 ab	0,0260 c	0,68 a
	UFUS 6901	0,0144 d	0,0057 c	0,0201 d	0,40 b
	UFUS 7101	0,0189 ab	0,0102 b	0,0291 abc	0,54 ab
	VALIOSA	0,0183 abc	0,0126 ab	0,0309 ab	0,70 a
CV (%)		9,85	13,42	8,21	8,38
Média geral		0,0187	0,0116	0,0303	0,62

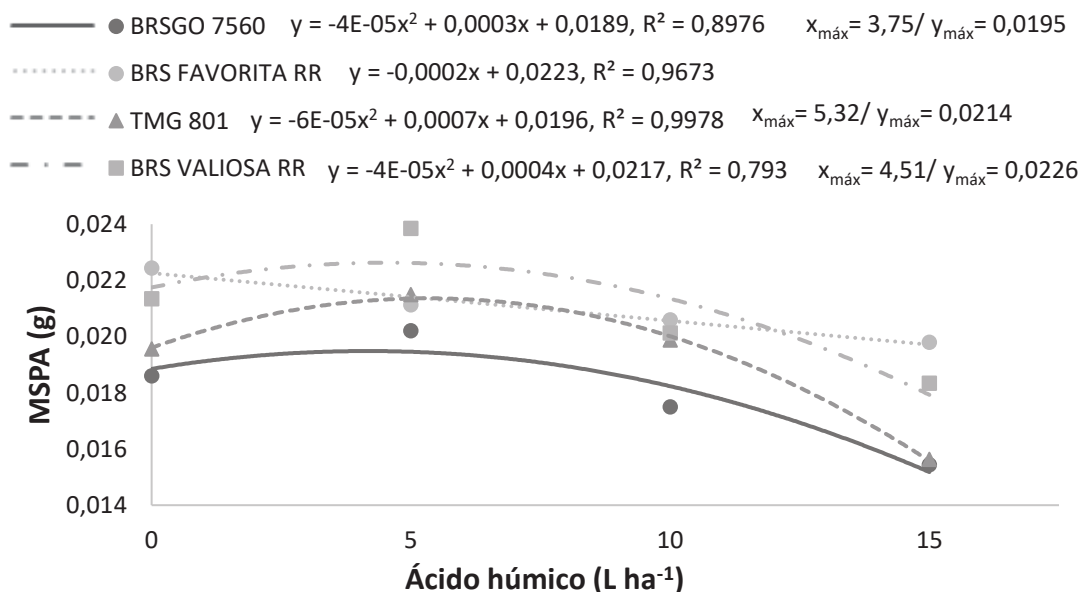
Médias seguidas por letras distintas na coluna e dentro de cada dose de ácido húmico diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: A autora.

Na dose de 10 L ha⁻¹, as cultivares BRS FAVORITA RR e BRS VALIOSA RR foram as que apresentaram maior crescimento geral, com matéria seca apresentando em média 0,020 g de parte aérea, 0,013 g de sistema radicular e 0,033 g total, além de 0,69 de relação entre raiz e parte aérea. Mesmo com a aplicação de 15 L ha⁻¹, a cultivar BRS FAVORITA RR continuou se apresentando superior às demais com valores um pouco inferiores aos que foram citados (Tabela 12).

Independente da dose de ácido húmico, a cultivar UFUS 6901 obteve os menores valores, que foram em média 0,014 g de matéria seca de parte aérea, 0,007 g de matéria seca de raiz, 0,021 g de matéria seca total e 0,45 de relação raiz/parte aérea (Tabela 12).

Na avaliação do efeito das doses de ácido húmico em cada cultivar para matéria seca de parte aérea, foi possível ajustar curvas de regressão para todas as cultivares, exceto UFUS 6901 e UFUS 7101. Para BRS FAVORITA RR, a cada 1 L ha⁻¹ de ácido húmico aplicado houve uma redução linear de 0,0002 g da matéria seca de parte aérea das plântulas, sendo que na ausência de ácido húmico as plântulas apresentaram 0,0223 g de matéria seca de parte aérea (Imagem 8).

Imagem 8 – Matéria seca de parte aérea (MSPA) de plântulas de cultivares de soja em função das doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.



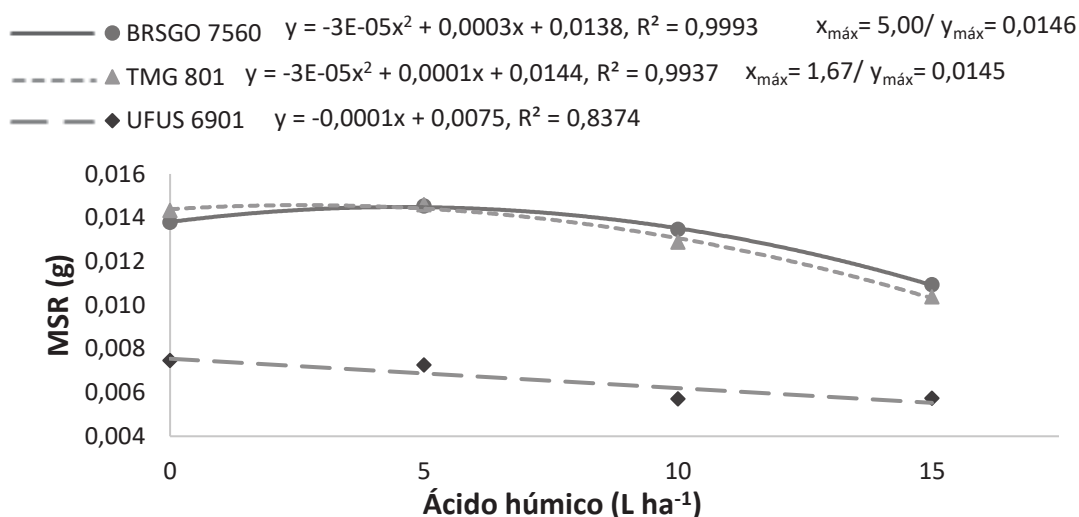
Fonte: A autora.

Para as demais cultivares, houve um aumento quadrático da matéria seca de parte aérea com o aumento das doses de ácido húmico. Assim, para BRS GO 7560, TMG 801 e BRS VALIOSA RR, as maiores doses de ácido húmico que proporcionaram maior

matéria seca de parte aérea (0,0195; 0,0214 e 0,0226 g) foram 3,7; 5,3 e 4,5 L ha⁻¹, respectivamente (Imagem 8).

Para matéria seca de raiz, foi possível ajustar curvas de regressão apenas para BRSGO 7560, TMG 801 e UFUS 6901. Para as duas primeiras, o aumento das doses de ácido húmico resultou em maior matéria seca de raiz, com máximo de 0,015 g, nas doses de 5 e 2 L ha⁻¹, respectivamente. Posteriormente, ocorreu um decréscimo nessa característica. Para UFUS 6901, a cada 1 L ha⁻¹ de ácido húmico, houve uma redução de 0,0001 g na matéria seca de raiz das plântulas, enquanto na sua ausência as plântulas apresentaram raízes com matéria seca de 0,0075 g (Imagem 9).

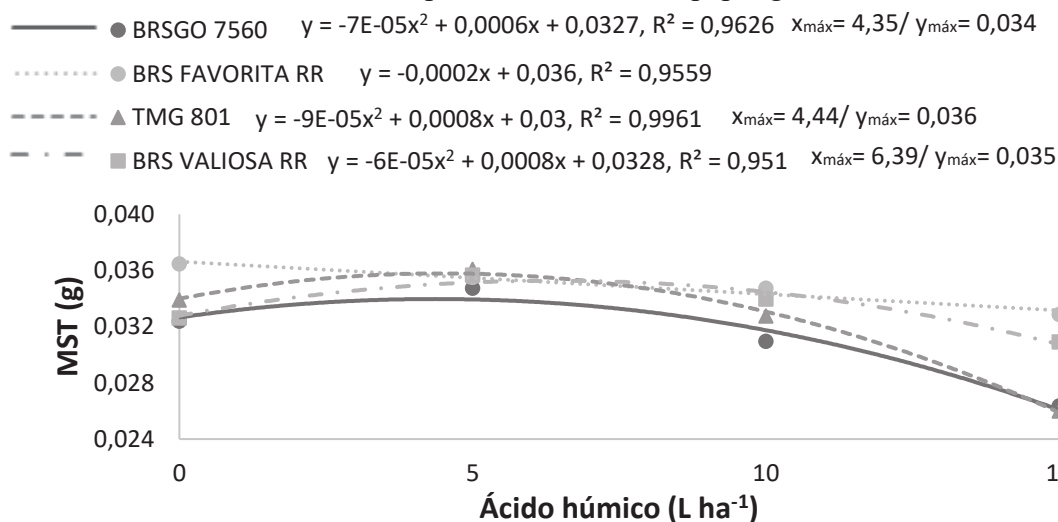
Imagem 9 – Matéria seca de raiz (MSR) de plântulas de cultivares de soja em função das doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.



Fonte: A autora.

Para matéria seca total ajustou-se curvas de regressão para todas as cultivares, exceto UFUS 7101 e UFUS 6901. Para BRSGO 7560 e TMG 801, a dose de 4 L ha⁻¹ de ácido húmico resultou em maior matéria seca total das plântulas, com valores máximos de 0,034 e 0,036 g, respectivamente. Em seguida, houve um decréscimo nessa característica. BRS VALIOSA RR apresentou comportamento semelhante, obtendo a matéria seca máxima (0,035 g) na dose de 6 L ha⁻¹ (Imagem 10).

Imagem 10 – Matéria seca total (MST) de plântulas de cultivares de soja em função das doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.

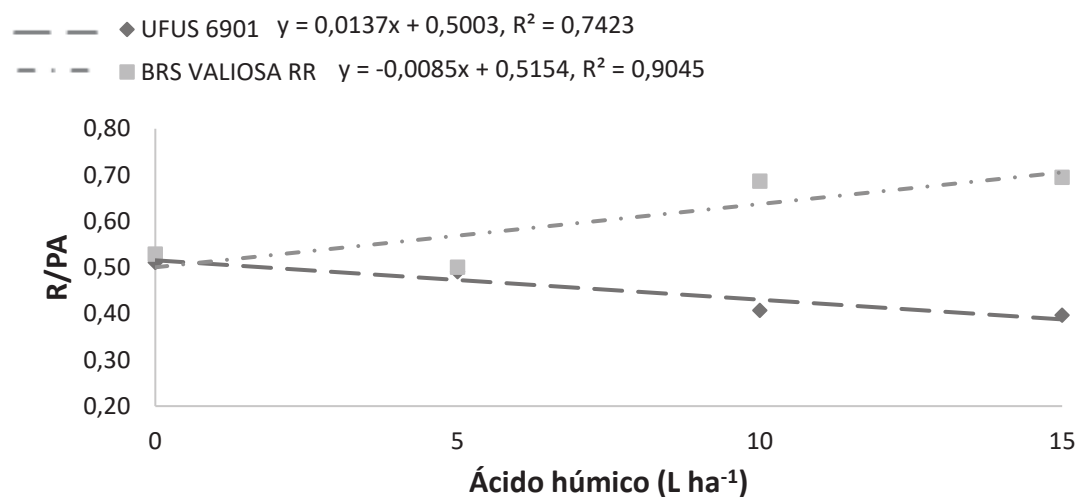


Fonte: A autora.

BRS FAVORITA RR apresentou uma curva linear decrescente, na qual a cada 1 L ha⁻¹ de ácido húmico aplicado, houve uma redução de 0,0002 g na matéria seca total das plântulas e, na ausência do produto, as plântulas apresentaram 0,036 g de matéria seca (Imagem 10).

Sobre a relação entre raiz e parte aérea foi possível ajustar curvas de regressão apenas para UFUS 6901 e BRS VALIOSA RR, as quais apresentaram comportamento oposto. O aumento das doses de ácido húmico favoreceu o aumento da relação raiz/parte aérea para BRS VALIOSA RR, no entanto, resultou em menores valores para UFUS 6901 (Imagem 11).

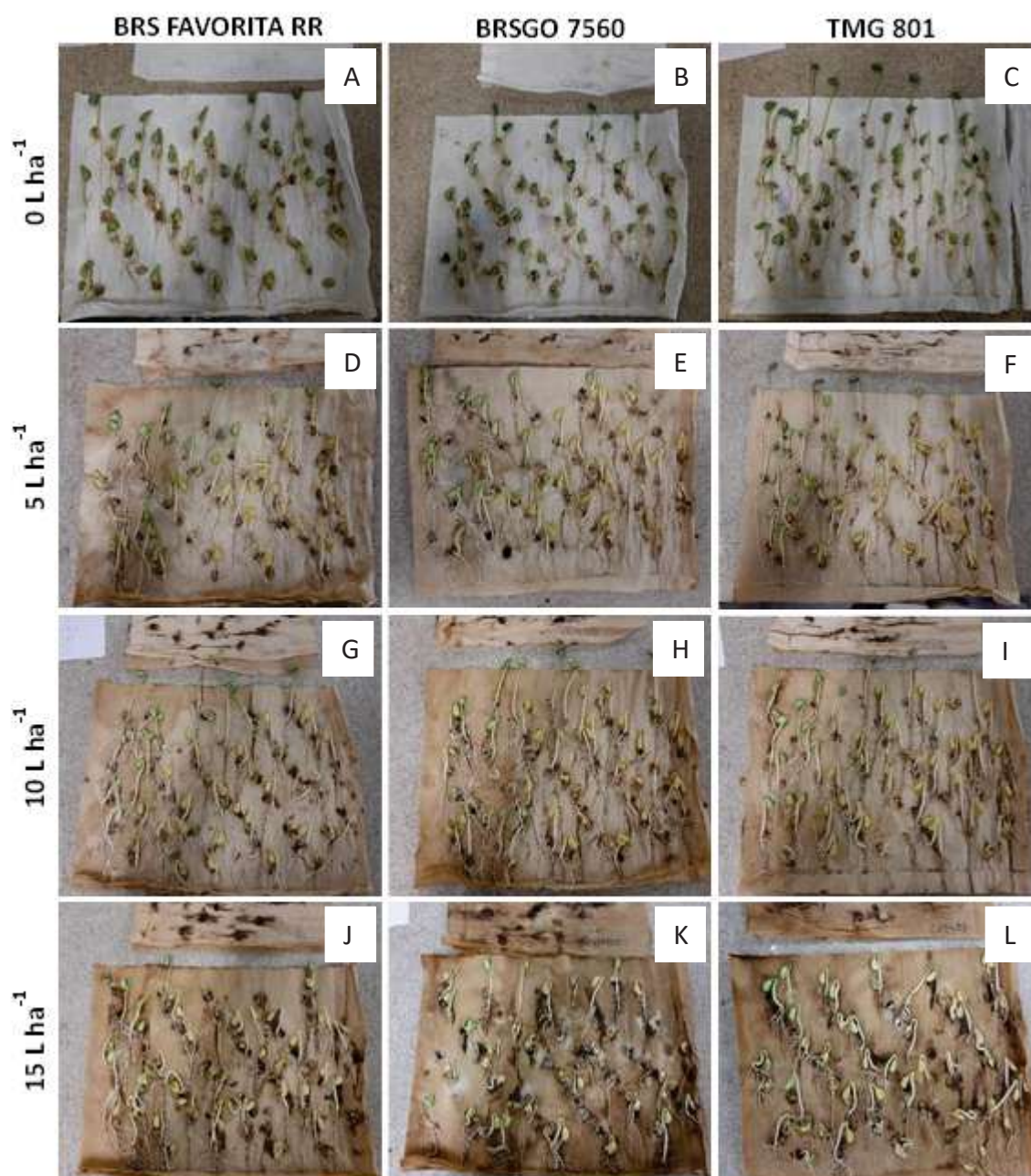
Imagem 11 – Relação entre raiz e parte aérea (R/PA) de plântulas de cultivares de soja em função das doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.



Fonte: A autora.

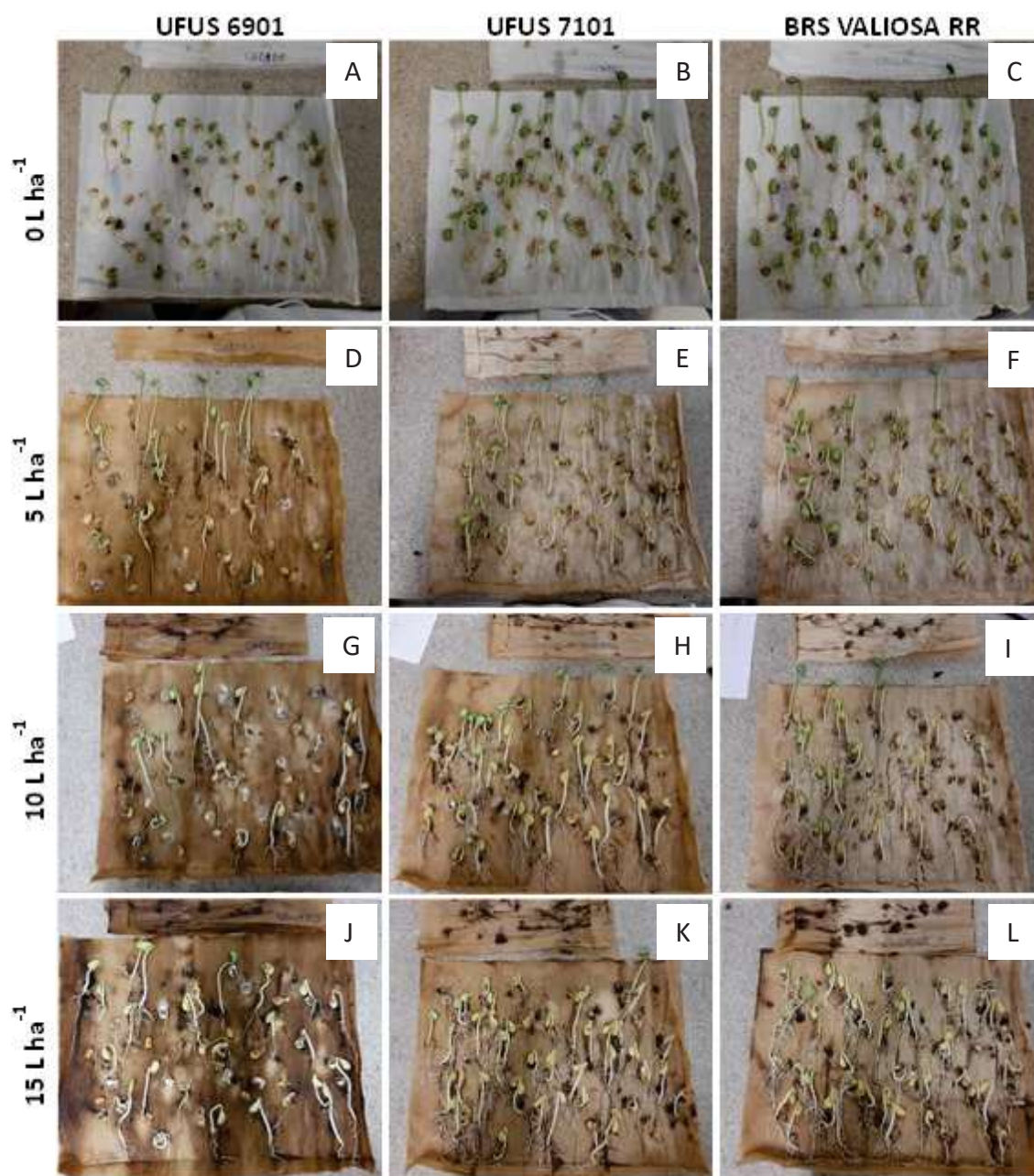
Foi possível notar também que quanto maior a dose de ácido húmico, maior foi o acúmulo de produto e umidade retida no substrato próximo às plântulas, principalmente na região das raízes (Imagens 12 e 13).

Imagem 12 – Efeito do ácido húmico nas doses de 0 (A-C), 5 (D-F), 10 (G-I) e 15 L ha⁻¹ (J-L) em sementes da cultivar BRS FAVORITA RR, BRSGO 7560 e TMG 801, seis dias após a semeadura em papel germitest.



Fonte: A autora.

Imagem 13 – Efeito do ácido húmico nas doses de 0 (A-C), 5 (D-F), 10 (G-I) e 15 L ha⁻¹ (J-L) em sementes da cultivar UFUS 6901, UFUS 7101 e BRS VALIOSA RR, seis dias após a semeadura em papel germitest.



Fonte: A autora.

4 DISCUSSÃO

4.1 Germinação de sementes

Como as cultivares apresentam diferentes conjuntos de genes, determinantes na expressão de suas características, verificou-se que todos os resultados relacionados à germinação e crescimento inicial das plântulas foram afetados pelo fator cultivar, com exceção da porcentagem de plântulas danificadas e sementes duras.

O teste de germinação indica a qualidade fisiológica das sementes, que pode ser definida como a capacidade da semente desempenhar funções vitais, caracterizada pela germinação, vigor e longevidade (TEJO et al., 2021).

Segundo Mertz et al. (2009) entre genótipos de soja existe variabilidade genética quanto à qualidade fisiológica de sementes, a qual pode ser utilizada em programas de melhoramento genético. No entanto, observando principalmente a taxa de germinação, que foi de 85% para TMG 801, cerca 76% para UFUS 7101, BRS VALIOSA RR e BRS FAVORITA RR, 68% para BRSGO 7560 e 33% para UFUS 6901, é provável que os resultados também estejam relacionados a outros fatores.

Durante o processo de produção das sementes, vários fatores podem afetar sua qualidade, como: condições climáticas extremas, incidência de pragas e patógenos, danos mecânicos e condições de armazenamento (FRANÇA-NETO; KRZYZANOWSKI, 2018). Baseado nisso, provavelmente as sementes de UFUS 6901 tiveram maior influência desses fatores, o que resultou em menor taxa de germinação.

Quanto ao ácido húmico, observou-se efeitos benéficos do seu uso, ao afetar a maioria das variáveis de germinação e crescimento inicial das plântulas, com exceção da porcentagem de plântulas danificadas, sementes não germinadas e classificadas como duras, dormentes e mortas. Além disso, a porcentagem de plântulas deterioradas foi determinada pela interação entre as doses de ácido húmico e as cultivares de soja.

De maneira geral, verificou-se que a dose de 5 L ha⁻¹ de ácido húmico proporciona aumento na taxa de germinação e de plântulas de alto vigor, assim como redução na porcentagem de plântulas anormais e deformadas.

O vigor é determinado pelo potencial das sementes para uma emergência rápida e uniforme e o desenvolvimento de plântulas normais sob ampla diversidade de condições de ambiente (BAALBAKI et al., 2009). Já as plântulas anormais são o somatório de

plântulas deformadas (desenvolvimento fraco; distúrbios fisiológicos; ou estruturas essenciais deformadas ou desproporcionais), deterioradas (estruturas essenciais muito infectadas ou deterioradas) e danificadas (estruturas essenciais ausentes ou danificadas) (BRASIL, 2009).

Pode-se inferir, então, que devido a ação do ácido húmico nos diferentes processos e rotas do metabolismo vegetal (GARCÍA et al., 2019), assim como na mitigação de estresses abióticos e bióticos (JINDO et al., 2020), ocorreram efeitos benéficos no processo de germinação e estabelecimento das plântulas.

Assim como nesse trabalho, Souza (2020) demonstrou que o tratamento de sementes com ácidos húmicos e fúlvicos na cultura da soja, cultivar BRS 284, resulta em maior porcentagem de plântulas normais e redução na porcentagem de plântulas anormais.

Oliveira (2021) também encontrou benefícios da aplicação de substâncias húmicas via tratamento de sementes, na cultivar de soja NEO 710 IPRO. O autor constatou que apesar de não afetar a taxa de germinação das plântulas, houve maior velocidade de germinação.

Apesar dos benefícios com o uso de ácido húmico, foi possível notar que quanto maior a dose, maior foi o acúmulo de produto e umidade retida no substrato próximo às plântulas, principalmente na região das raízes.

Vários autores afirmam que um dos grandes benefícios da aplicação de substâncias húmicas em condições de campo é a retenção de água no solo (CARON et al., 2015; HUMINTECH, 2022; PRIMO et al., 2011; SILVA FILHO; SILVA, 2017). Porém, em condições de laboratório e utilizando o papel germitest como substrato, verificou-se que as maiores concentrações de ácido húmico causaram um excesso de produto e umidade próximo as sementes que foi prejudicial para a maioria das cultivares.

O excesso de umidade reduz a disponibilidade de oxigênio para as sementes, o que dificulta a respiração, causa atraso ou paralisação do desenvolvimento embrionário e anormalidades nas plântulas. Além disso, pode ocorrer danos celulares devido a rápida embebição e aumento da incidência de patógenos (FERNANDES et al. 2018).

A porcentagem de plântulas deterioradas foi a única variável determinada pela interação entre as doses de ácido húmico e cultivares. Nas menores doses, não houve diferença entre as cultivares para essa variável, porém a 10 L ha⁻¹, BRS FAVORITA RR se mostrou superior, e a 15 L ha⁻¹, UFUS 7101 foi superior às demais cultivares.

Além disso, para BRS GO 7560 e BRS FAVORITA RR, as doses de 3 e 6 L ha⁻¹ de ácido húmico, respectivamente, resultaram em menor porcentagem de plântulas deterioradas. Em contrapartida, sementes de TMG 801 foram mais sensíveis ao aumento das doses de ácido húmico, que causaram aumento linear dessa variável. Portanto, pode-se inferir que as cultivares apresentaram diferentes tolerâncias ao excesso de umidade e ácido húmico no desenvolvimento das plântulas.

Nicchio et al. (2013) testaram diferentes doses de ácido húmico no tratamento de sementes de milho e verificaram efeitos negativos do produto, em que o aumento das doses causou uma redução na porcentagem de germinação. Os autores acreditam que esse resultado se deve ao uso de elevadas doses de ácido húmico, devido à alta umidade relativa no interior da BOD, assim como o substrato ser permeável onde estavam acondicionadas as sementes provocando sua deterioração.

Segundo Tunes et al. (2020), em papel germitest, sementes de soja tratadas possuem uma área de contato com o produto muito maior do que na emergência em canteiro, por isso muitas vezes ocorre efeito fitotóxico nas sementes.

4.2 Crescimento inicial de plântulas

As características avaliadas no crescimento inicial das plântulas tiveram influência da interação entre doses de ácido húmico e cultivares de soja, com exceção do comprimento e matéria fresca de parte aérea e total, que foram influenciados pelo efeito isolado desses fatores.

Como o ácido húmico é capaz de atuar nos processos metabólicos vegetais, a exemplo da respiração, fotossíntese, síntese de ácidos nucleicos e absorção de íons (FAÇANHA et al., 2002; OLIVEIRA, 2021); e as cultivares apresentam diferentes genes responsáveis pela expressão de suas características; era provável que as plântulas se desenvolvessem de diferentes formas. Assim, a dose de ácido húmico ideal variou entre as cultivares e também entre as características avaliadas.

Com relação à matéria fresca e seca das plântulas, verificou-se que as maiores doses de ácido húmico possibilitaram maior incremento na matéria fresca, enquanto que menores doses foram mais adequadas para obter maior matéria seca. Esse efeito foi mais evidente no sistema radicular, em que as cultivares apresentaram maior matéria fresca entre as doses de 7 a 15 L ha⁻¹ de ácido húmico e maior matéria seca entre doses de 0 a 5 L ha⁻¹. Porém, esse efeito também foi observado na parte aérea das plântulas (maior

matéria fresca a 5 L ha^{-1} e maior matéria seca entre 0 a $5,3 \text{ L ha}^{-1}$), refletindo na matéria fresca e seca total das plântulas, que apresentaram maiores valores a $7,2 \text{ L ha}^{-1}$ e entre 0 a $6,4 \text{ L ha}^{-1}$, respectivamente.

Isso confirma a teoria de que a composição do ácido húmico permite maior retenção de água (HUMINTECH, 2022), já que nas maiores concentrações deste bioinsumo houve maior retenção de umidade na parte aérea e, principalmente, nas raízes das plântulas, já que é o órgão responsável pela captação e absorção de água.

Como a matéria seca corresponde a tudo que se encontra na planta, com exceção de água, a exemplo de carboidratos, proteínas, lipídeos e nutrientes minerais (POTAFOS, 2022). Pode-se afirmar que as menores doses de ácido húmico foram mais adequadas para estimular o desenvolvimento das plântulas, o que pode ser observado pelo incremento na matéria seca.

Com a avaliação de cada cultivar, verificou-se que as plântulas de BRS VALIOSA RR apresentaram a resposta mais favorável à aplicação de ácido húmico. Com o aumento das doses, houve aumento linear da razão raiz/parte aérea, sendo a dose de 5 L ha^{-1} a mais adequada para se obter o maior comprimento, tanto de parte aérea, quanto da raiz principal. Apesar de não ser possível ajustar uma curva de regressão para matéria seca de raiz, notou-se um aumento dessa variável ($0,011$ para $0,012$ e $0,014 \text{ g}$, nas doses de 0, 5 e 10 L ha^{-1} , respectivamente). No entanto, o maior acúmulo de matéria seca, ou seja, o maior desenvolvimento geral das plântulas foi proporcionado pela dose de $6,4 \text{ L ha}^{-1}$.

Diante desse resultado, pode-se inferir que o ácido húmico teve um efeito mais pronunciado no sistema radicular das plântulas dessa cultivar, o que vai de encontro à teoria de Baldotto e Baldotto (2014), que descreve como principais efeitos dos ácidos húmicos nas plantas a formação de raízes laterais, raízes adventícias, o alongamento radicular e a formação de pelos radiculares, que melhoram a capacidade de absorção de água e nutrientes pelas plantas.

Segundo Caron et al. (2015), as substâncias húmicas estimulam a formação de raízes laterais devido aos seus compostos de natureza auxínica, que juntamente com a auxina sintetizada pela planta, sinalizam na raiz para que as células do periciclo entrem em divisão celular. Com isso, a atividade de H^+ -ATPases é ativada, aumentando a extrusão de prótons e a atividade de enzimas sobre a parede celular, o que favorece a divisão e a expansão da célula. Em seguida, o óxido nítrico induz a síntese de auxina e o desenvolvimento de raízes laterais, que aumentam o volume radicular, a superfície de contato com o solo e a massa seca do órgão.

Para BRS GO 7560, a aplicação de ácido húmico também proporcionou respostas positivas. Na parte aérea, houve maior comprimento na dose de 5 L ha⁻¹, porém a dose de 3 L ha⁻¹ resultou em maior comprimento da raiz principal. Ao avaliar a matéria seca total das plântulas, verificou-se que a dose mais adequada de ácido húmico foi de 4,3 L ha⁻¹.

Resultado semelhante foi obtido por Oliveira (2021), que verificou maior comprimento de parte aérea e raiz, e massa seca de parte aérea e raiz com a aplicação de substâncias húmicas em sementes de soja, da cultivar NEO 710 IPRO.

Para as demais cultivares estudadas neste trabalho, apesar do ácido húmico ter favorecido algumas das características avaliadas no crescimento das plântulas, pelo menos uma delas foi prejudicada com o uso do produto.

Para TMG 801, a dose de 4,4 L ha⁻¹ de ácido húmico proporcionou maior matéria seca total das plântulas. A parte aérea foi favorecida pela dose de 5 L ha⁻¹ para o comprimento e 5,3 L ha⁻¹ para matéria seca. Entretanto, no sistema radicular, apesar da matéria seca ser favorecida pela dose de 2 L ha⁻¹, houve impacto no comprimento da raiz principal, que apresentou uma redução linear com o aumento das doses de ácido húmico.

De forma semelhante, plântulas de UFUS 7101 obtiveram maior comprimento de parte aérea na dose de 5 L ha⁻¹. No entanto, no sistema radicular, também houve redução linear no comprimento da raiz principal com o aumento das doses de ácido húmico.

Plântulas de UFUS 6901, também apresentaram maior comprimento de parte aérea na dose de 5 L ha⁻¹. Em contrapartida, a matéria seca de raiz e razão raiz/parte aérea apresentaram uma redução com o aumento das doses de ácido húmico.

Como as substâncias húmicas apresentam compostos de natureza auxínica (CARON et al., 2015), pode-se afirmar que o aumento das doses de ácido húmico causa um aumento na concentração de auxina causando impacto negativo no sistema radicular. Segundo Taiz e Zeiger (2004), as raízes necessitam de uma concentração mínima de auxina para crescer, sendo que concentrações de auxina que promovam o alongamento da parte aérea podem resultar na inibição do crescimento radicular.

A raiz principal é importante para a fixação da planta e absorção de água armazenada nas camadas mais profundas do solo. Nesse caso, é importante avaliar o efeito do ácido húmico nessas cultivares por um período maior de tempo, a fim de verificar se essa redução no comprimento da raiz poderia impactar negativamente a sobrevivência das plântulas no campo ou se o estímulo ao desenvolvimento da parte aérea, ou seja, nos órgãos responsáveis pela produção de fotoassimilados, poderia resultar em plantas mais produtivas.

Para BRS FAVORITA RR, houve uma redução linear na matéria seca de parte aérea e total das plântulas, com o aumento das doses de ácido húmico. Para o comprimento de parte aérea, apesar da análise de variância não apresentar significância da interação dose e cultivar, verificou-se que plântulas de BRS FAVORITA RR não foram beneficiadas pela dose de 5 L ha⁻¹ como as demais cultivares, já que nesta dose as plântulas apresentaram em média 4,5 cm de comprimento e, na ausência de ácido húmico, 4,6 cm. Em contrapartida, o sistema radicular foi favorecido pela aplicação de ácido húmico ao apresentar maior comprimento na dose de 5 L ha⁻¹.

Assim, ao contrário de TMG 801, UFUS 7101 e UFUS 6901, a aplicação de ácido húmico em sementes da cultivar BRS FAVORITA RR favoreceu o sistema radicular em detrimento da parte aérea.

Acredita-se, então, que no desenvolvimento inicial das plântulas, as diferentes respostas obtidas pelas cultivares de soja, quanto ao uso de ácido húmico, se deve principalmente à capacidade deste bioinsumo em fornecer auxina ao meio, já que segundo Jiang et al. (2020), fatores genéticos influenciam a dinâmica da auxina nas plantas.

A auxina é um regulador chave de quase todos os aspectos do desenvolvimento da planta, incluindo morfogênese e respostas adaptativas. As concentrações celulares de auxina influenciam se uma célula irá se dividir, crescer ou se diferenciar, contribuindo para a formação de órgãos e crescimento da planta. Os gradientes de auxina são estabelecidos e mantidos por uma interação fortemente regulada entre metabolismo, sinalização e transporte, em que a auxina é sintetizada, armazenada e inativada por uma infinidade de vias paralelas (CASANOVA-SÁEZ; VOß, 2019).

Diante das diferenças constatadas quanto ao efeito do ácido húmico nas cultivares de soja, a matéria seca total das plântulas poderia ter sido utilizada como característica para avaliar a eficiência das cultivares quanto ao uso de nutrientes. Porém, como doses próximas a 5 L ha⁻¹ de ácido húmico foram mais adequadas para as cultivares apresentarem maior matéria seca total, seria necessário realizar um novo experimento testando doses entre 0 e 5 L ha⁻¹ para verificar qual seria a menor dose deste bioestimulante que traria benefícios à matéria seca total das plantas e permitisse diferenciar as cultivares.

5 CONCLUSÕES

As cultivares de soja influenciam todas as características avaliadas na germinação e crescimento inicial das plântulas, exceto a porcentagem de plântulas danificadas e sementes duras.

A dose de 5 L ha⁻¹ de ácido húmico proporciona aumento da porcentagem de germinação e de plântulas de alto vigor e redução na porcentagem de plântulas anormais e deformadas, assim como maior comprimento e acúmulo de matéria fresca de parte aérea e total das plântulas.

As cultivares apresentam comportamento distinto em função das doses de ácido húmico para porcentagem de plântulas deterioradas, comprimento e matéria fresca de raiz, acúmulo de matéria seca e relação raiz/parte aérea.

REFERÊNCIAS

- AVELAR, S. A. G.; BAUDET, L.; PESKE, S. T.; LUDWIG, M. P.; RIGO, G. A.; CRIZEL, R. L.; OLIVEIRA, S. de. Armazenamento de sementes de soja tratadas com fungicida, inseticida e micronutriente e recobertas com polímeros líquido e em pó. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 10, p. 1719-1725, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011005000130>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/x4HTgFPFW9rc76YhBkvpzwm/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 07 jul. 2023.
- BAALBAKI, R. Z.; ELIAS, S. G.; MARCOS-FILHO, J.; MCDONALD, M. B. (ed.). **Seed vigor testing handbook**. Ithaca: Association of Official Seed Analysts, 2009. 341 p.
- BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Ácidos húmicos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, Suplemento, p. 856-881, nov/dez, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737x201461000011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcceres/a/94wksVHhCDcDxkVdYqb4Pqw/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 04 jul. 2023.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise_sementes.pdf. Acesso em: 12 ago. 2022.
- CARMO FILHO, A. dos S. **Tratamento de sementes de soja com cobalto, molibdênio e níquel**: efeitos no potencial fisiológico das sementes, nodulação e desempenho das plantas. 2022. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2022. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-15092022-094047/publico/Abimael_dos_Santos_Carmo_Filho_versao_revisada.pdf. Acesso em: 13 out. 2022.
- CARON, V. C.; GRAÇAS, J. P.; CASTRO, P. R. de C. **Condicionadores do solo**: ácidos húmicos e fúlvicos. Piracicaba: ESALQ – Divisão de Biblioteca, 2015. 46 p. (Série Produtor Rural, n° 58). Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/biblioteca/sites/default/files/publicacoes-a-venda/pdf/SPR58.pdf>. Acesso em 12 nov. 2022.
- CASANOVA-SÁEZ, R.; VOß, U. Auxin metabolism controls developmental decisions in land plants. **Trends in Plant Science**, [s.l.], v. 24, n. 8, p. 741-754, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.05.006>. Disponível em: [https://www.cell.com/trends/plant-science/fulltext/S1360-1385\(19\)30124-4?returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS1360138519301244%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/trends/plant-science/fulltext/S1360-1385(19)30124-4?returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS1360138519301244%3Fshowall%3Dtrue). Acesso em: 07 jul. 2023.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Visão 2030**: o futuro da agricultura brasileira. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 212 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/9543845/Vis%C3%A3o+2030+->

[+o+futuro+da+agricultura+brasileira/2a9a0f27-0ead-991a-8cbf-af8e89d62829](#). Acesso em: 12 nov. 2022.

FAÇANHA, A. R.; FAÇANHA, A. L. O.; OLIVARES, F. L.; GURIDI, F.; SANTOS, G. A.; VELLOSO, A. C. X.; RUMJANEK, V. M.; BRASIL, F.; SCHRIPISEMA, J.; FILHO, R. B.; OLIVEIRA, M. A.; CANELLAS, L. P. Bioatividade de ácidos húmicos: efeitos sobre o desenvolvimento radicular e sobre a bomba de prótons da membrana plasmática. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1301-1310, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000900014>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/K6w98r8RqdHCb57CvS3vbQm/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 07 jul. 2023.

FERNANDES, T. S.; NUNES, U. R.; CARGNELUTTI FILHO, A.; FAGUNDES, L. K.; DALCIN, J. S.; LUDWIG, E. J. Contribuição para a uniformização de metodologias de análise de germinação e vigor de sementes de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 1, p. 122-128, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.19084/RCA17257> Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/16631/13547>. Acesso em: 07 jul. 2023.

FERREIRA, D.F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p.1039-1042, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/yjKLJXN9KysfmX6rvL93TSh/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 07 jul. 2023.

FERREIRA, L. A.; OLIVEIRA, J. A.; PINHO, É. V. de R. V.; QUEIROZ, D. L. de. Bioestimulante e fertilizante associados ao tratamento de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, [s.l.], v. 29, n. 2, p. 80-89, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222007000200011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbs/a/VRSZ5ZJJH4YpDKjHvPLKJdt/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 07 jul. 2023.

FRANÇA-NETO, J. de B.; KRZYZANOWSKI, F. C. **Metodologia do teste de tretrazólio em sementes de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2018. 108 p. (Documentos 406). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/193315/1/Doc-406-OL.pdf>. Acesso em: 12 out. 2022.

GARCÍA, A. C.; CASTRO, T. A. V. T.; BERBARA, R. L. L.; TAVARES, O. C. H.; ELIAS, S. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, E. Revisão Sobre a Relação Estrutura-Função das Substâncias Húmicas e a sua Regulação do Metabolismo Oxidativo em Plantas. **Revista Virtual de Química**, [s.l.], v. 11, n. 3, p. 754-770, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20190055>. Disponível em: <https://s3.sa-east-1.amazonaws.com/static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v11n3a14.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2023.

HUMINTECH. **What are humic acids?** Definition, genesis and benefits. Disponível em: <https://www.humintech.com/agriculture/information/what-are-humic-acids>. Acesso em: 25 set. 2022.

IBM Corp. **IBM SPSS Statistics for Windows**, Version 22.0. Armonk, KY: IBM Corp, 2013.

JIANG, Z. F.; LIU, D. D.; WANG, T. Q.; LIANG, X. L.; CUI, Y. H.; LIU, Z. H.; LI, W. B. Concentration difference of auxin involved in stem development in soybean. **Journal of Integrative Agriculture**, [s.l.], v. 19, n. 4, p. 953–964, 2020. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62676-6](http://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62676-6). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095311919626766?via%3Dihub>. Acesso em: 04 jul. 2023.

JINDO, K.; OLIVARES, F. L.; MALCHER, D. J. D. P.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; KEMPENAR, C.; CANELLAS, L. P. From lab to field: role of humic substances under open-field and greenhouse conditions as biostimulant and biocontrol agent. **Frontiers in plant science**, [s.l.], v. 11, p. 426, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00426>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.00426/full>. Acesso em: 07 jul. 2023.

MERTZ, L. M.; HENNING, F. A.; CRUZ, H. L. D.; MENEGHELLO, G. E.; FERRARI, C. D. S.; ZIMMER, P. D. Diferenças estruturais entre tegumentos de sementes de soja com permeabilidade contrastante. **Revista Brasileira de Sementes**, [s.l.], v. 31, n. 1, p. 23-29, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222009000100003>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbs/a/cs6fztHXXxjkSB63ZmSSL3n/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 07 jul. 2023.

NICCHIO, B.; BOER, C. A.; SIQUEIRA, T. P.; VASCONCELOS, A. C.; RESENDE, W. S.; LANA, R. M. Q. Ácido húmico e bioativador no tratamento de sementes de milho. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 2, n. 2, p. 61-73, 2013.

OLIVEIRA, N. B. A. **Efeito de bioestimulantes e nutrientes em características fisiológicas de sementes de soja**. 2021. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Agronomia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/bitstream/123456789/4422/1/TCC%20-%20Naddiny%20Final.pdf>. Acesso em: 27 set. 2022.

POTAFOS. **Como a Planta de Soja se Desenvolve**. Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo. 23 p. Disponível em: [https://www.npct.com.br/npctweb/npct.nsf/article/BRS-3140/\\$File/Como%20a%20Planta%20da%20Soja%20Desenvolve.pdf](https://www.npct.com.br/npctweb/npct.nsf/article/BRS-3140/$File/Como%20a%20Planta%20da%20Soja%20Desenvolve.pdf). Acesso em: 29 set. 2022.

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, [s.l.], v. 7, n. 5, 2011. Disponível em: <https://www.scienciaplenu.org.br/sp/article/view/342>. Acesso em: 15 out. 2022.

SILVA FILHO, A. V.; SILVA, M. I. V. **Importância das Substâncias Húmicas para a Agricultura**. 2017. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/268049508_Importancia_das_Substancias_Hu_micas_para_a_Agricultura. Acesso em: 24 set 2019.

SOUZA, M. S. de. **Desempenho de soja orgânica com uso de *Trichoderma harzianum* e condicionador de solo**. 2020. 58 f. Dissertação (Mestrado em Agrossistemas) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2020. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4874/1/sojaorganicatrichodermaharzianumsolo.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2022.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TEJO, D. P.; FERNANDES, C. H. dos S.; ÁVILA, M. R. Metodologias para determinar qualidade fisiológica em sementes de feijão enfatizando o teste de tetrazólio. **Revista Científica Rural**, Bagé, v. 23, n. 1, p. 124-141, 2021. DOI: <https://doi.org/10.30945/rcr-v23i1.3042>. Disponível em: <http://revista.urcamp.tche.br/index.php/RCR/article/view/3042>. Acesso em: 07 jul. 2023.

TUNES, L. V. M. de; ALMEIDA, A. da S.; CAMARGO, T. O. de; SUÑE, A. dos S.; RODRIGUES, D. B.; MARTINS, A. B. N.; CALAZANS, A. F. S.; SILVA, A. F. da. Metodologia alternativa para o teste de germinação em sementes de soja tratada. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 6, p. 41223-41240, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n6-602>. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/12314/10418>. Acesso em: 07 jul. 2023.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **World Agricultural Supply and Demand Estimates**. WASDE-628, p. 1-38, September 12, 2022. Disponível em: <https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/wasde0922.pdf>. Acesso em: 15 set. 2022.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE/ FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE (USDA/FAS). **World Agricultural Production**. Global Market Analysis. Circular Series, WAP 9-22, p. 1-47, September 2022. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>. Acesso em: 15 set. 2022.

CAPÍTULO III

RESPOSTA DE CULTIVARES DE SOJA À APLICAÇÃO DE ÁCIDO HÚMICO EM CAMPO

RESUMO

Grande parte da produção brasileira de soja ocorre em solos tropicais de baixa fertilidade natural. A aplicação de ácido húmico e a utilização de genótipos eficientes no uso de nutrientes podem contribuir para a intensificação sustentável da produção, ao evitar a degradação dos solos e resultar em maior produtividade de grãos. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do ácido húmico em seis cultivares de soja em condições de campo. O experimento foi realizado no município de Uberlândia-MG, em solo classificado como Latossolo Vermelho, de textura franco arenosa. O clima da região é do tipo Aw, com inverno seco e verão chuvoso. O experimento foi conduzido em esquema fatorial 2 x 6, sendo duas doses de ácido húmico (0 e 15 L ha⁻¹) e seis cultivares de soja (BRS FAVORITA RR, BRS VALIOSA RR, NS 6906 IPRO, TMG 801, UFUS 6901 e UFUS 7101) totalizando 12 tratamentos. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados com quatro repetições. A semeadura ocorreu em 17 de dezembro de 2019 e a colheita foi de acordo com o ciclo de cada cultivar, se estendendo até 30 de abril de 2020. As plantas em estágio R5 foram avaliadas quanto à matéria seca de parte aérea e de raiz, volume de raiz e índice SPAD. Após a colheita, as plantas foram avaliadas quanto à altura da planta, altura da primeira vagem, número de nós, número de ramos, número de nós produtivos, número de vagens com um, dois e três grãos, número total de grãos, número de sementes por vagem, produtividade de grãos, peso de mil grãos e porcentagem de grãos chochos. Verificou-se que o desenvolvimento das plantas de soja e índice SPAD em estágio R5, assim como as características agronômicas e relacionadas à produção diferem entre as seis cultivares de soja, com UFUS 6901 e TMG 801 sendo as mais produtivas. A aplicação de 15 L ha⁻¹ de ácido húmico no sulco de semeadura não proporciona melhorias ao desenvolvimento e à produção das cultivares de soja, portanto, não é possível diferenciar as cultivares quanto à eficiência no uso de nutrientes.

Palavras-chave: *Glycine max*; substâncias húmicas; bioinsumo; bioestimulante; biofertilizante; nutrição vegetal.

RESPONSE OF SOYBEAN CULTIVARS TO HUMIC ACID APPLICATION IN THE FIELD

ABSTRACT

An extensive part of the Brazilian soybean production occurs on tropical soils of low natural fertility. The application of humic acid and the use of efficient genotypes in the use of nutrients can contribute to the sustainable intensification of production, by avoiding soil degradation and resulting in higher grain yield. Thus, the objective of this study was to evaluate the effect of humic acid on six soybean cultivars under field conditions. The experiment was carried out in the city of Uberlândia-MG, in soil classified as Red Latosol, with a sandy loam texture. The climate in the region is Aw, with dry winters and rainy summers. The experiment was carried out in a 2 x 6 factorial scheme, with two doses of humic acid (0 and 15 L ha⁻¹) and six soybean cultivars (BRS FAVORITA RR, BRS VALIOSA RR, NS 6906 IPRO, TMG 801, UFUS 6901 and UFUS 7101), totaling 12 treatments. The design used was randomized blocks with four replications. Sowing took place on December 17, 2019 and harvesting was according to the cycle of each cultivar, extending to April 30, 2020. Plants in stage R5 were evaluated for shoot and root dry matter, volume root and SPAD index. After harvesting, the plants were evaluated for plant height; height of the first pod; number of nodes; number of branches; number of productive nodes; number of pods with one, two and three grains; total number of grains; number of seeds per pod; grain yield; thousand grain weight and; percentage of empty grains. It was found that the development of soybean plants and SPAD index at R5 stage, as well as agronomic and production-related characteristics differ among the six soybean cultivars, with UFUS 6901 and TMG 801 being the most productive. The application of 15 L ha⁻¹ of humic acid in the sowing furrow does not improve the development and production of soybean cultivars, therefore, it is not possible to differ the cultivars regarding the efficiency in the use of nutrients.

Keywords: *Glycine max*; humic substances; bio-input; biostimulant; biofertilizer; plant nutrition.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o cultivo da soja é a principal atividade agrícola, tanto por sua incidência territorial, quanto por sua importância econômico-comercial (PIRAS et al., 2021). Na safra 2021/22, a área de cultivo chegou a 40,95 milhões de hectares, atingindo uma produção de 124,05 milhões de toneladas e produtividade média de 3.029 kg ha⁻¹. Ao ser uma cultura de boa rentabilidade e alta liquidez, os preços de soja em grãos devem continuar atrativos para a safra 2022/23, com perspectiva de aumento da produção nacional para 150 milhões de toneladas, a maior da série histórica (CONAB, 2022b).

Devido ao seu alto teor de proteína e óleo vegetal, a soja é utilizada na alimentação humana e animal, na indústria química e como biocombustível (SILVA et al., 2022). Com as crescentes demandas dos mercados, as safras brasileiras são essenciais para a segurança alimentar do País e do mundo, sendo necessária a intensificação sustentável da produção, diante de menores possibilidades de expansão das áreas de cultivo (EMBRAPA, 2018).

Ainda que a soja disponha de elevado potencial produtivo, boa parte dele é perdido em virtude das interações com o ambiente (NAVARRO JÚNIOR; COSTA, 2002). Além disso, grande parte da produção brasileira de soja ocorre em solos tropicais, sobretudo em Latossolos, que muitas vezes enfrenta limitações como baixa CTC, alta fixação de fósforo, baixa disponibilidade de nutrientes e alto teor de íons alumínio tóxicos (BALDOTTO; BALDOTTO, 2014).

O uso de fertilizantes a base de ácidos húmicos apresenta papel importante nesse cenário, a fim de evitar a degradação dos solos e obter maior produtividade e sustentabilidade do sistema, já que são uma excelente forma natural de fornecer às plantas e ao solo nutrientes essenciais, vitaminas e oligoelementos; apresentando alta CTC e retenção de água, assim como alto teor de oxigênio; melhorando as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos; além de interferir positivamente no metabolismo das plantas, resultando em maior proteção contra estresses (HUMINTECH, 2022).

Somada a esta tecnologia, otimizar o uso de nutrientes por meio de genótipos de soja eficientes é uma excelente alternativa para reduzir os custos de produção e danos ambientais provocados por excesso de fertilizantes, além de contribuir também para uma agricultura mais sustentável (ALVES, 2018; PEREIRA et al., 2013).

Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do ácido húmico em seis cultivares de soja em condições de campo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Características gerais da área experimental

O experimento foi realizado em condições de campo, na estação experimental Físio-Plant, localizada no município de Uberlândia-MG (latitude de 18°59'46,7"S e longitude de 48°11'20,6"O).

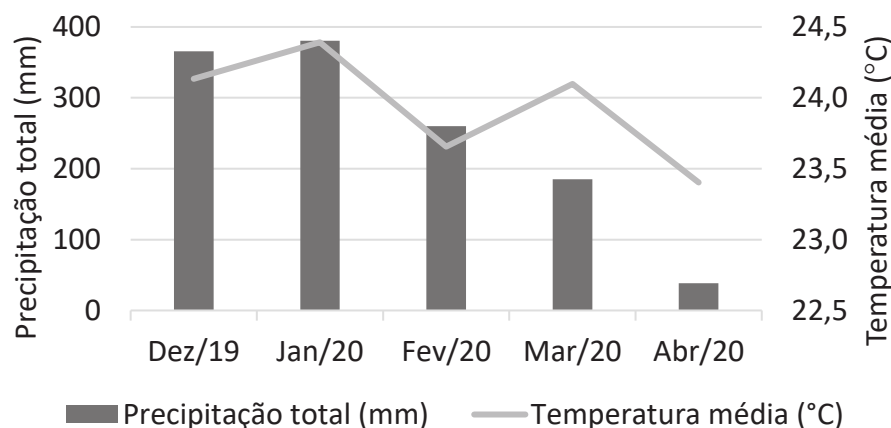
O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho, de textura franco arenosa, com características físico-químicas descritas na Tabela 1. O clima da região, segundo a classificação de Koppen, é do tipo Aw, com inverno seco e verão chuvoso. As condições de temperatura e precipitação que ocorreram durante a realização do experimento estão apresentadas na Imagem 1.

Tabela 1 – Características físico-químicas do solo da área do experimento, na estação experimental Físio-Plant, em Uberlândia-MG, 2019.

pH _{água}	P _{meh.}	K ⁺	S- SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺ Al	SB	t	T
1:2,5	-----	mg dm ⁻³	-----	-----	-----	-----	-----	cmol _c dm ⁻³	-----	-----	-----
6,7	17,7	44	2	0,11	2,9	0,6	0,00	1,30	3,61	3,61	4,91
V	m	M.O.	C.O.	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Areia	Silte	Argila
-----	%	-----	-- dag kg ⁻¹ --	-----	mg dm ⁻³	-----	-----	-----	-----	g kg ⁻¹	-----
74	0	1,5	0,86	0,2	0,9	19	4,2	2,5	748	82	170

P, K: [HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹] | S-SO₄²⁻: [Fosfato Monobásico Cálcio 0,01 mol L⁻¹] | Ca, Mg, Al: [KCL 1 mol L⁻¹] | H+Al: [Solução Tampão SMP a pH 7,5] | SB: Soma de Bases | t: CTC efetiva | T: CTC pH 7,0 | V: Sat. Base | m: Sat. Alumínio | M.O - Matéria Orgânica, C.O - Carbono Orgânico: [Método colorimétrico] | B: [BaCl₂. 2H₂O 0,125% à quente] | Cu, Fe, Mn, Zn: [DTPA em pH 7,3]. Fonte: Safrar Análises Agrícolas, 2019.

Imagem 1 – Precipitação total e temperatura média entre os meses de dezembro de 2019 e abril de 2020, no município de Uberlândia-MG.



Fonte: INMET.

2.2 Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido em esquema fatorial 2 x 6, sendo duas doses de ácido húmico (0 e 15 L ha⁻¹) e seis cultivares de soja (BRS FAVORITA RR, BRS VALIOSA RR, NS 6906 IPRO, TMG 801, UFUS 6901 e UFUS 7101), totalizando 12 tratamentos. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, resultando em 48 parcelas. Cada parcela foi composta por quatro linhas de 6 m, espaçadas 0,5 m, obtendo uma área de 12 m². Os 4 m² do centro da parcela foi utilizado como área útil, 0,5 m acima e abaixo dessa área foi utilizada para análises destrutivas e o restante da parcela como bordadura.

As principais características do ácido húmico e das cultivares de soja se encontram nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2 – Fonte e composição química do ácido húmico utilizado no experimento.

Fonte	Composição química (%)							
	Ácido Húmico	N	Ácido Fosfórico	K	Mg	Ca	B	Fe
Lignito	5,5	0,1	0,03	1,5	0,02	0,17	0,01	0,02

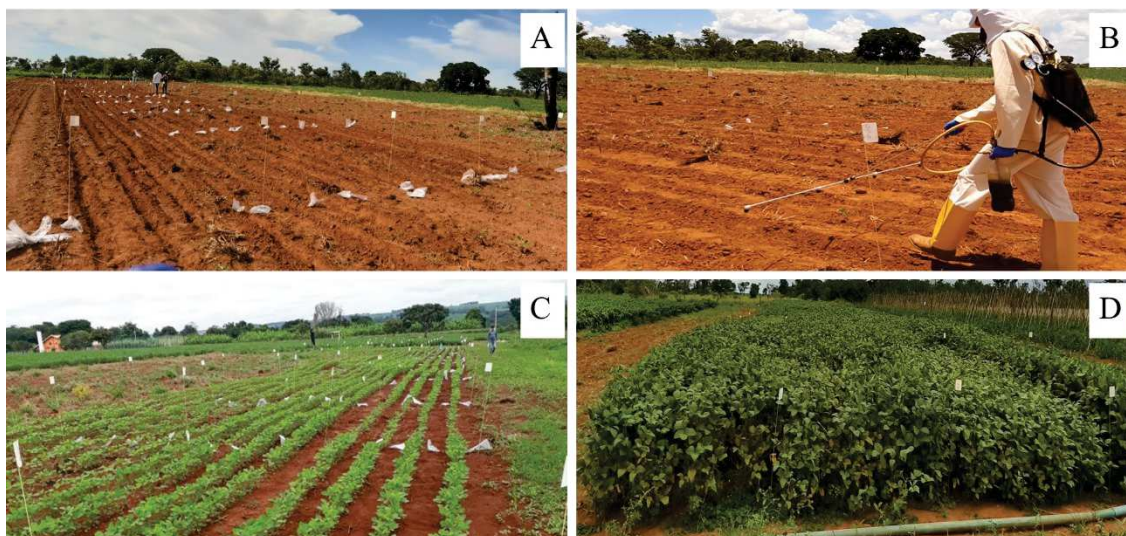
Tabela 3 – Principais características das cultivares.

Cultivar	Grupo de maturidade	Tipo de crescimento	Peso de 100 grãos (g) ⁵
BRS FAVORITA RR ¹	7.9	Determinado	18,6
BRS VALIOSA RR ¹	8.1	Determinado	19,0
NS 6906 IPRO ²	7.0	Indeterminado	19,9
TMG 801 ³	8.2	Determinado	14,9
UFUS 6901 ⁴	7.0	Indeterminado	14,6
UFUS 7101 ⁴	7.1	Indeterminado	16,5

Fonte: ¹Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA; ²Nidera Sementes; ³Tropical Melhoramento & Genética – TMG; ⁴ Programa de Melhoramento Genético de Soja – UFU; ⁵A autora.

A área experimental foi preparada de forma convencional, com uma aração, duas gradagens e abertura de sulcos (Imagem 2A). Para adubação, utilizou-se o fertilizante organomineral 04-20-05, em quantidade estabelecida a partir da análise de solo. Antes da semeadura, as sementes foram tratadas com fungicida (Rancona® T) e inseticida (Fipronil Alta 250 FS) para posteriormente serem inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* (Bioma Brady® Soja – Líquido), conforme a recomendação dos fabricantes.

Imagem 2 – Processo manual de adubação e semeadura (A), aplicação de ácido húmico sobre as sementes (B), adubação de cobertura (C) e visão geral do experimento com plantas em estágio R5-R6, no município de Uberlândia-MG, safra 2019-2020.



Fonte: A autora.

A semeadura foi realizada de forma manual em 17 de dezembro de 2019, visando obter uma densidade populacional de 15 plantas por metro. Antes de fechar o sulco de semeadura, foi realizada a aplicação do ácido húmico sobre as sementes, de acordo com a disposição dos tratamentos (Imagem 2B).

Quando as plantas se encontravam em estágio V2, foi realizada a adubação de cobertura com o fertilizante organomineral K35 (Imagem 2C), e aplicação foliar de cobalto e molibdênio. Durante a condução do experimento foram realizadas três aplicações de fungicidas (Orkestra® SC + Status®) para o controle de doenças e duas aplicações de inseticidas (Imunit® + Acefato Nortox) para o controle de pragas.

Além da semeadura, o controle de plantas infestantes e a colheita também foram realizados manualmente. De acordo com o ciclo de cada cultivar, a colheita se estendeu até 30 de abril de 2020.

2.3 Avaliações

As plantas em estágio R5 foram avaliadas quanto à matéria seca de parte aérea e de raiz, volume de raiz e índice SPAD. Para isso, foram amostradas cinco plantas de cada parcela na área reservada para as avaliações destrutivas, e dez plantas da parcela útil, para avaliação do índice SPAD.

Para a coleta das plantas no campo, utilizou-se uma pá de corte reto para soltar o solo próximo à região das raízes. Como o solo apresentava textura franco arenosa, foi possível coletar as plantas com facilidade.

Para determinação da matéria fresca de parte aérea e raiz, as plantas foram seccionadas na região do colo e cada parte pesada imediatamente após a coleta no campo. Posteriormente, cada parte foi acondicionada em sacos de papel e submetidas à estufa de circulação forçada de ar, à 65 °C, por aproximadamente 72 h, até atingir peso constante, momento em que foi determinada a matéria seca de parte aérea e raiz.

O volume de raiz foi determinado utilizando uma proveta graduada contendo água. As raízes foram inseridas na proveta e mediu-se o deslocamento da coluna de água, o qual foi relacionado diretamente ao volume radicular, sendo 1 mL correspondente a 1 cm³.

O índice SPAD foi determinado por meio do aparelho SPAD-502 Plus, para verificar a concentração relativa de clorofila nas folhas, a qual foi relacionada ao estado nutricional das plantas, principalmente em relação ao nitrogênio. Para isso, foi medido o folíolo central do terceiro trifólio completamente desenvolvido a partir do ápice da haste principal.

Antes da colheita foram amostradas cinco plantas da parcela útil para avaliação quanto à altura da planta; altura da primeira vagem; número de nós; número de ramos; número de nós produtivos; número de vagens com um, dois e três grãos; número total de grãos; número de grãos por vagem; produtividade de grãos; peso de mil grãos; e porcentagem de grãos chochos.

Para o cálculo do número total de grãos, número de grãos por vagem e porcentagem de grãos chochos foram utilizadas, respectivamente, as seguintes equações:

$$NTG = [NV1 + (NV2 \times 2) + (NV3 \times 3)]$$

$$NGV = NTG / NTV$$

$$GC = [(NGC \times 100) / NTG]$$

Em que, NTG: número total de grãos; NV1: número de vagens com um grão; NV2: número de vagens com dois grãos; NV3: número de vagens com três grãos; NGV: número de grãos por vagem; NTV: número total de vagens; GC: porcentagem de grãos chochos; e NGC: número de grãos chochos.

Após a colheita da parcela útil, trilha dos feixes de plantas e limpeza dos grãos, realizou-se a pesagem dos grãos e correção do valor obtido, considerando a umidade de 13%, conforme a equação:

$$PF = PI \times [(100 - UI) / (100 - UF)]$$

Em que, PF: peso final corrigido da amostra; PI: peso inicial da amostra; UI: umidade inicial da amostra; e UF: umidade final da amostra (13%).

A partir do peso dos grãos da parcela útil e correção do valor para umidade de 13%, determinou-se a produtividade de grãos (g parcela^{-1}).

O peso de mil grãos foi determinado de acordo com a metodologia indicada nas regras para análise de sementes (BRASIL, 2009) e o peso de cada amostra também foi corrigido considerando a umidade de 13%.

2.4 Análises estatísticas

Os dados foram avaliados quanto às pressuposições de normalidade dos resíduos, homogeneidade das variâncias e aditividade de blocos, pelos testes de Shapiro-Wilk, Levene e Tukey para aditividade, respectivamente, a 1% de probabilidade, utilizando o software estatístico SPSS (IBM, 2013). Quando necessário, os dados foram transformados visando atender às pressuposições.

Posteriormente, com o auxílio do programa SISVAR (FERREIRA, 2011), os dados foram submetidos à análise de variância e as médias das cultivares comparadas pelo teste de Tukey, considerando os níveis de 1 e 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS

3.1 Desenvolvimento das plantas e índice SPAD em estágio R5

As cultivares de soja apresentaram efeito significativo para o acúmulo de matéria fresca e seca, volume de raiz e índice SPAD em plantas no estágio R5. A dose de ácido húmico e a interação entre os fatores não foram significativos (Tabela 4).

Tabela 4 – Pressuposições e resumo da análise de variância para matéria fresca de parte aérea (MFPA) e raiz (MFR), matéria seca de parte aérea (MSPA) e raiz (MSR), volume de raiz (VR) e índice SPAD de cultivares de soja em estágio R5 submetidas à ausência e presença de ácido húmico, no município de Uberlândia-MG, safra 2019-2020.

FV	GL	MFPA	MFR	MSPA	MSR	VR	SPAD
Ác. húmico	1	2,29 ^{ns}	1,08 ^{ns}	2,78 ^{ns}	2,23 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,71 ^{ns}
Cultivar	5	16,49 ^{**}	4,88 ^{**}	13,99 ^{**}	7,11 ^{**}	2,45 [*]	5,48 ^{**}
AH x Cultivar	5	0,95 ^{ns}	0,92 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,95 ^{ns}	1,44 ^{ns}	1,36 ^{ns}
W		0,950	0,966	0,942	0,980	0,975	0,966
F _{Lev.}		0,904	0,707	1,170	0,996	0,937	0,854
F _{Aditiv.}		1,340	1,339	0,661	0,257	0,990	1,101
Transformação		$\sqrt{x}$	-	-	-	-	-

^{ns}, ^{**} e ^{*}: não significativo, significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. W, F_{Lev} e F_{Aditiv.}: Estatísticas dos testes de Shapiro-Wilk, Levene e Tukey para aditividade em que valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal, variâncias homogêneas e blocos com efeitos aditivos, respectivamente, a 1% de probabilidade. FV: Fonte de variação. GL: Graus de liberdade. Fonte: A autora.

No geral, as cultivares UFUS 6901 e UFUS 7101 apresentaram desempenho superior. Para matéria fresca, os valores foram em média 95 g de parte aérea e 6 g de raiz, para matéria seca foram 21 g de parte aérea e 2 g de raiz, para volume de raiz foi em média 5 cm³ e índice SPAD com cerca de 49 unidades (Tabela 5).

Tabela 5 – Matéria fresca de parte aérea (MFPA) e raiz (MFR), matéria seca de parte aérea (MSPA) e raiz (MSR), volume de raiz (VR) e índice SPAD de cultivares de soja em estágio R5 submetidas à ausência e presença de ácido húmico, no município de Uberlândia-MG, safra 2019-2020.

Cultivar	Ácido húmico (L ha ⁻¹)			Ácido húmico (L ha ⁻¹)		
	0	15	Média	0	15	Média
	----- MFPA (g) -----			----- MFR (g) -----		
BRS FAVORITA RR	73,7	63,8	68,7 b	5,4	5,1	5,2 ab
NS 6906 IPRO	61,5	60,7	61,1 b	6,0	5,7	5,8 ab
TMG 801	70,6	63,1	66,9 b	5,0	4,2	4,6 b
UFUS 6901	98,1	94,7	96,4 a	6,4	6,3	6,4 a
UFUS 7101	89,7	97,3	93,5 a	5,8	6,7	6,3 a
BRS VALIOSA RR	75,1	63,9	69,5 b	5,6	4,8	5,2 ab
CV (%)	6,7			16,1		
Média geral	76,0			5,6		
	----- MSPA (g) -----			----- MSR (g) -----		
BRS FAVORITA RR	19,2	16,8	18,0 bc	1,9	1,8	1,9 abc
NS 6906 IPRO	13,2	13,2	13,2 d	1,7	1,7	1,7 bc
TMG 801	16,5	15,6	16,1 cd	1,6	1,4	1,5 c
UFUS 6901	22,7	21,8	22,3 a	2,2	2,1	2,1 a
UFUS 7101	20,1	20,4	20,2 ab	1,9	2,1	2,0 ab
BRS VALIOSA RR	19,3	16,3	17,8 bc	2,3	1,9	2,1 ab
CV (%)	13,3			14,1		
Média geral	17,9			1,9		
	----- VR (cm ³) -----			----- SPAD -----		
BRS FAVORITA RR	4,9	4,6	4,7 ab	49,4	47,7	48,5 a
NS 6906 IPRO	5,2	5,5	5,3 ab	45,0	46,7	45,8 b
TMG 801	4,5	4,0	4,2 b	49,1	48,2	48,7 a
UFUS 6901	6,0	5,7	5,8 a	49,3	49,1	49,2 a
UFUS 7101	4,7	5,6	5,2 ab	48,8	49,0	48,9 a
BRS VALIOSA RR	5,6	3,9	4,7 ab	48,6	47,4	48,0 ab
CV (%)	20,5			3,0		
Média geral	5,0			48,2		

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: A autora.

A cultivar TMG 801 apresentou o menor desempenho, com 67 e 4,6 g de matéria fresca de parte aérea e raiz, respectivamente; 16 e 1,5 g de matéria seca de parte aérea e raiz, respectivamente; e 4,2 cm³ de volume radicular (Tabela 5).

Para índice SPAD, o menor valor foi obtido pela cultivar NS 6906 IPRO com 45,8 unidades SPAD. As demais cultivares apresentaram valores semelhantes variando entre 48,0 e 49,2 unidades SPAD (Tabela 5).

Na Imagem 3 é possível observar exemplares de cada cultivar de soja entre o estágio R5-R6, que foram submetidos à presença e ausência de ácido húmico.

Imagem 3 – Cultivares de soja entre o estágio R5-R6 submetidas à ausência (esquerda) e presença (direita) de ácido húmico, no município de Uberlândia-MG, safra 2019-2020.



Fonte: A autora.

3.2 Caracteres agronômicos avaliados após a colheita

As cultivares de soja apresentaram efeito significativo para altura de planta, altura da primeira vagem, número de nós, número de ramos e número de nós produtivos avaliados após a colheita das plantas. A dose de ácido húmico e a interação entre os fatores não foram significativos (Tabela 6).

Tabela 6 – Pressuposições e resumo da análise de variância para altura da planta (AP), altura da primeira vagem (APV), número de nós (NN), número de ramos (NR) e número de nós produtivos (NNP) avaliados após a colheita de cultivares de soja submetidas à ausência e presença de ácido húmico, no município de Uberlândia-MG, safra 2019-2020.

FV	GL	AP	APV	NN	NR	NNP
Ác. húmico	1	0,03 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,67 ^{ns}
Cultivar	5	25,25 ^{**}	4,64 ^{**}	28,32 ^{**}	11,35 ^{**}	23,12 ^{**}
AH x Cultivar	5	0,31 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,66 ^{ns}
W		0,971	0,988	0,988	0,980	0,983
F _{Lev.}		1,072	1,316	0,773	2,054	2,262
F _{Aditiv.}		0,385	1,788	1,547	0,007	1,080

^{ns} e ^{**}: não significativo e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. W, F_{Lev} e F_{Aditiv.}: Estatísticas dos testes de Shapiro-Wilk, Levene e Tukey para aditividade em que valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal, variâncias homogêneas e blocos com efeitos aditivos, respectivamente, a 1% de probabilidade. FV: Fonte de variação. GL: Graus de liberdade. Fonte: A autora.

A cultivar UFUS 6901 apresentou a maior altura de plantas (98 cm) e NS 6906 IPRO a menor altura (69 cm). As demais cultivares apresentaram resultados intermediários e semelhantes entre si, com valores entre 80 e 87 cm (Tabela 7).

Tabela 7 – Altura da planta (AP), altura da primeira vagem (APV), número de nós (NN), número de ramos (NR) e número de nós produtivos (NNP) avaliados após a colheita de cultivares de soja submetidas à ausência e presença de ácido húmico, no município de Uberlândia-MG, safra 2019-2020.

Cultivar	Ácido húmico (L ha ⁻¹)			Ácido húmico (L ha ⁻¹)		
	0	15	Média	0	15	Média
	----- AP (cm) -----			----- APV (cm) -----		
BRS FAVORITA RR	80,4	80,7	80,5 b	25,8	26,9	26,3 a
NS 6906 IPRO	71,1	67,4	69,2 c	22,8	21,7	22,2 ab
TMG 801	87,0	88,0	87,5 b	18,4	16,3	17,4 b
UFUS 6901	98,0	98,1	98,0 a	23,7	20,0	21,9 ab
UFUS 7101	78,3	80,9	79,6 b	19,3	20,8	20,0 ab
BRS VALIOSA RR	85,4	86,7	86,0 b	23,3	26,2	24,7 a
CV (%)	6,5			19,1		
Média geral	83,5			22,1		
	----- NN -----			----- NR -----		
BRS FAVORITA RR	13,3	13,2	13,2 bc	7,0	6,8	6,9 a
NS 6906 IPRO	11,0	11,1	11,0 d	5,2	5,6	5,4 b
TMG 801	14,0	13,9	13,9 bc	7,1	7,2	7,1 a
UFUS 6901	14,2	14,9	14,5 b	5,5	5,3	5,4 b
UFUS 7101	16,0	15,9	15,9 a	6,6	6,3	6,4 a
BRS VALIOSA RR	13,1	12,6	12,9 c	7,2	6,6	6,9 a
CV (%)	6,5			10,3		
Média geral	13,6			6,3		
	----- NNP -----					
BRS FAVORITA RR	8,0	8,0	8,0 b			
NS 6906 IPRO	6,6	6,5	6,5 c			
TMG 801	9,2	9,8	9,5 a			
UFUS 6901	9,5	10,5	10,0 a			
UFUS 7101	10,3	10,1	10,2 a			
BRS VALIOSA RR	7,9	7,8	7,9 b			
CV (%)	9,8					
Média geral	8,7					

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: A autora.

Para altura de primeira vagem, BRS FAVORITA RR e BRS VALIOSA RR apresentaram os maiores valores, com 26 e 25 cm, respectivamente. Já plantas de TMG 801 tiveram o menor valor (17 cm). As demais cultivares obtiveram resultados intermediários e semelhantes entre si (entre 20 e 22 cm) (Tabela 7).

O número de nós da haste principal foi a característica que mais apresentou diferenças entre as cultivares. UFUS 7101 obteve plantas com maior valor (16 nós),

seguida de UFUS 6901 (14 nós), TMG 801 e BRS FAVORITA RR (14 e 13 nós, respectivamente), BRS VALIOSA RR (13 nós) e por último NS 6906 IPRO (11 nós) (Tabela 7).

Para número de ramos, as cultivares apresentaram valores semelhantes (entre 6 e 7 ramos), com exceção de NS 6906 IPRO e UFUS 6901, que obtiveram resultado inferior com cerca de 5 ramos cada (Tabela 7).

Ao apresentar menor altura de plantas e número de nós, NS 6906 IPRO também obteve menor número de nós produtivos, com apenas 6 nós na haste principal que produziram vagens. Os maiores valores foram obtidos por TMG 801, UFUS 7101 e UFUS 6901 com valor médio de 9,9 nós produtivos. BRS FAVORITA RR e BRS VALIOSA RR tiveram resultado intermediário com 8 nós produtivos cada (Tabela 7).

3.3 Caracteres relacionados à produção

As cultivares de soja apresentaram efeito significativo sobre a produtividade de grãos, componentes de produção e porcentagem de grãos chochos. A dose de ácido húmico e a interação entre os fatores não foram significativos (Tabela 8).

Tabela 8 – Pressuposições e resumo da análise de variância para número de vagens com um grão (NV1), dois grãos (NV2) e três grãos (NV3), número total de grãos (NTG), número de grãos por vagem (NGV), porcentagem de grãos chochos (GC), produtividade de grãos (PG) e peso de mil grãos (g) avaliados após a colheita de cultivares de soja submetidas à ausência e presença de ácido húmico, no município de Uberlândia-MG, safra 2019-2020.

FV	GL	NV1	NV2	NV3	NTG	NGV	GC	PMG	PG
Ác. húmico	1	0,6 ^{ns}	0,4 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,1 ^{ns}	1,1 ^{ns}	1,2 ^{ns}
Cultivar	5	5,7 ^{**}	10,1 ^{**}	6,0 ^{**}	6,4 ^{**}	6,1 ^{**}	5,9 ^{**}	44,1 ^{**}	5,7 ^{**}
AH x Cultivar	5	0,6 ^{ns}	1,2 ^{ns}	0,7 ^{ns}	0,7 ^{ns}	0,6 ^{ns}	0,2 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,5 ^{ns}
W		0,981	0,987	0,985	0,987	0,978	0,976	0,973	0,982
F _{Lev.}		0,779	2,378	2,742	2,673	1,680	1,822	1,560	1,567
F _{Aditiv.}		1,102	1,623	2,911	0,218	0,801	1,043	1,998	5,006
Transformação		-	-	-	$\sqrt{x}$	-	-	-	-

^{ns} e ^{**}: não significativo e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. W, F_{Lev} e F_{Aditiv.}: Estatísticas dos testes de Shapiro-Wilk, Levene e Tukey para aditividade em que valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal, variâncias homogêneas e blocos com efeitos aditivos, respectivamente, a 1% de probabilidade. FV: Fonte de variação. GL: Graus de liberdade. Fonte: A autora.

Com relação ao número de grãos, no geral, as cultivares UFUS 6901 e UFUS 7101 apresentaram maior desempenho com média de 3 vagens com um grão, 13 vagens com dois grãos, 26 vagens com três grãos e total de 108 grãos por planta (Tabela 9).

Tabela 9 – Número de vagens com um grão (NV1), dois grãos (NV2) e três grãos (NV3), número total de grãos (NTG), número de grãos por vagem (NGV), porcentagem de grãos chochos (GC), peso de mil grãos (PMG) e produtividade de grãos (PG) avaliados após a colheita de cultivares de soja submetidas à ausência e presença de ácido húmico, no município de Uberlândia-MG, safra 2019-2020.

Cultivar	Ácido húmico (L ha ⁻¹)			Ácido húmico (L ha ⁻¹)		
	0	15	Média	0	15	Média
	----- NV1 -----			----- NV2 -----		
BRS FAVORITA RR	2,0	1,1	1,5 ab	8,8	6,8	7,8 cd
NS 6906 IPRO	2,4	1,6	2,0 ab	15,3	16,9	16,1 a
TMG 801	0,6	0,5	0,6 b	9,5	11,7	10,6 bcd
UFUS 6901	3,1	2,7	2,9 a	12,4	15,9	14,1 ab
UFUS 7101	2,3	3,0	2,6 a	13,1	11,5	12,3 abc
BRS VALIOSA RR	1,0	1,0	1,0 b	8,3	7,0	7,8 d
CV (%)	61,2			26,5		
Média geral	1,8			11,4		
	----- NV3 -----			----- NTG -----		
BRS FAVORITA RR	17,2	16,7	16,9 bc	71,0	64,7	67,8 c
NS 6906 IPRO	12,6	14,4	13,4 c	70,6	78,3	74,4 bc
TMG 801	19,6	21,4	20,4 abc	78,2	87,9	83,0 abc
UFUS 6901	24,9	25,0	24,9 ab	102,5	109,5	106,0 ab
UFUS 7101	31,6	23,7	27,6 a	123,1	97,0	110,1 a
BRS VALIOSA RR	17,1	15,3	16,2 bc	68,8	61,0	64,9 c
CV (%)	31,7			26,5		
Média geral	19,9			84,4		
	----- NGV -----			----- GC (%) -----		
BRS FAVORITA RR	2,5	2,6	2,6 a	38,7	37,3	38,0 ab
NS 6906 IPRO	2,3	2,4	2,4 b	35,3	36,5	35,9 ab
TMG 801	2,6	2,6	2,6 a	28,2	29,3	28,8 a
UFUS 6901	2,5	2,5	2,5 ab	37,6	41,4	39,5 b
UFUS 7101	2,6	2,5	2,6 a	45,3	44,1	44,7 b
BRS VALIOSA RR	2,6	2,6	2,6 a	40,6	40,3	40,4 b
CV (%)	4,3			16,5		
Média geral	2,5			37,9		
	----- PMG (g) -----			----- PG (g parcela ⁻¹) -----		
BRS FAVORITA RR	148,4	149,7	149,0 bc	577,4	476,8	527,1 ab
NS 6906 IPRO	156,6	154,5	155,6 b	571,3	547,8	559,6 ab
TMG 801	179,7	182,2	181,0 a	632,1	624,3	628,2 a
UFUS 6901	145,6	140,9	143,3 cd	651,0	595,5	623,2 a
UFUS 7101	138,3	136,0	137,2 d	423,4	461,7	442,5 b
BRS VALIOSA RR	148,9	142,4	145,6 bcd	464,8	434,7	449,7 b
CV (%)	4,3			17,9		
Média geral	151,9			538,4		

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: A autora.

Para vagens com um grão, TMG 801 e BRS VALIOSA RR apresentaram resultado inferior e semelhantes entre si, com 1 vagem com um grão (Tabela 9).

Para vagens com dois grãos, o maior valor foi apresentado pela cultivar NS 6906 IPRO com 16 vagens, seguida de UFUS 6901 e UFUS 7101, com valores semelhantes (14 e 12 vagens com dois grãos, respectivamente). BRS VALIOSA RR e BRS FAVORITA RR obtiveram os menores valores com média de 8 vagens com dois grãos (Tabela 9).

Para vagens com três grãos e número total de grãos, UFUS 7101 apresentou os maiores resultados com 28 vagens com três grãos e 110 grãos no total. Resultado semelhante foi obtido por UFUS 6901, com 25 vagens com três e 106 grãos no total, além de TMG 801, com 20 vagens com três grãos e 83 grãos no total (Tabela 9).

O menor valor para vagens com três grãos foi obtido pela NS 6906 IPRO com apenas 13 vagens. Para número total de grãos, os menores resultados foram obtidos por BRS FAVORITA RR e BRS VALIOSA RR com apenas 68 e 65 grãos no total, respectivamente (Tabela 9).

Com esses resultados, verificou-se que as cultivares apresentaram desempenho semelhante para número de grãos por vagem, que variou entre 2,5 a 2,6, com exceção de NS 6906 IPRO, que apresentou o resultado inferior de 2,4 grãos por vagem (Tabela 9).

Apesar de apresentar maior número total de grãos, a cultivar UFUS 7101 obteve maior porcentagem de grãos chochos (45%) e menor peso de mil grãos (137 g), o que resultou em menor produtividade de grãos (442 g parcela⁻¹) (Tabela 9).

A cultivar UFUS 6901 apresentou valores semelhantes à UFUS 7101 para porcentagem de grãos chochos (39%) e peso de mil grãos (143 g), entretanto, continuou com desempenho superior ao apresentar maior produtividade com 623 g parcela⁻¹. Valor semelhante foi obtido pela TMG 801 (628 g parcela⁻¹), que, apesar de ter apresentado cerca de 30 grãos a menos que a UFUS 7101, foi a cultivar que obteve menor porcentagem de grãos chochos (29%) e maior peso de mil grãos (181 g) (Tabela 9).

As cultivares BRS FAVORITA RR, NS 6906 IPRO e BRS VALIOSA RR apresentaram valores semelhantes para porcentagem de grãos chochos, peso de mil grãos e produtividade de grãos variando entre 36-40%, 146-156 g e 450-460 g parcela⁻¹, respectivamente (Tabela 9).

4 DISCUSSÃO

As cultivares de soja influenciaram todas as características avaliadas nas plantas em estágio R5, assim como as características agronômicas e relacionadas à produção, o que confirma a variabilidade genética entre as cultivares. Este trabalho visava explorar esta variabilidade a fim de verificar se também existiam diferenças entre as cultivares quanto a eficiência no uso de nutrientes. No entanto, nas condições em que o experimento foi realizado, não foi possível obter benefícios da aplicação de ácido húmico, o que impediu esta avaliação.

Provavelmente, os fatores que mais influenciaram para que o ácido húmico não trouxesse benefícios ao desenvolvimento das plantas foram a dose e o modo de aplicação deste bioinsumo, já que em laboratório (Capítulo II) verificou-se que a dose de 5 L ha⁻¹ seria mais adequada para avaliar o efeito do ácido húmico em cada cultivar. No entanto, o laboratório é um sistema fechado, não ocorrendo perdas com a aplicação de ácido húmico. O campo, em contrapartida, apresenta um sistema aberto, no qual o ácido húmico está sob a ação de diversos fatores que podem torná-lo ineficaz.

Diante disso, de resultados obtidos com a aplicação de ácido húmico em outras culturas e a recomendação por empresas de doses entre 15 e 20 L ha⁻¹ para a aplicação de produtos contendo substâncias húmicas na cultura da soja, optou-se, então, por utilizar a dose de 15 L ha⁻¹ no experimento em campo. No entanto, acredita-se que a aplicação dessa dose realizada apenas uma vez no sulco de semeadura não foi suficiente para que o ácido húmico superasse as interferências do meio e trouxesse benefícios às plantas.

Segundo Jindo et al. (2020), os efeitos positivos das substâncias húmicas nem sempre é garantido, pois vários fatores podem interferir nesse resultado como o tipo de substância húmica; sua estrutura química; origem; dose utilizada; modo e tempo de aplicação; tipo de planta e solo; condições climáticas; e uso combinado com microrganismos, fertilizantes, etc.

Assim como nesse trabalho, Souza (2018) não verificou aumento expressivo na produção da soja que justificasse o uso de substâncias húmicas. Para isso, o autor avaliou diferentes doses e épocas de aplicação: 1 L ha⁻¹ em V4; 2 L ha⁻¹ em V4; 0,5 L ha⁻¹ em V4 + 0,5 L ha⁻¹ em R1; 1 L ha⁻¹ em V4 + 0,5 L ha⁻¹ em R1; e o controle.

Bilhan et al. (2020) acreditam que devido à alta fertilidade do solo na área experimental, o uso de ácido húmico contribuiu pouco para o aumento no número de grãos por planta. A aplicação de 50% de ácido húmico no sulco de semeadura mais 50%

via foliar em V4 resultou em plantas com 227 grãos, enquanto que o uso de 100% de ácido húmico no sulco de semeadura proporcionou plantas com 229 grãos, resultados que foram comparados ao controle que apresentou plantas com 156 grãos.

Em um estudo realizado em quatro cidades de Iowa nos EUA, Lenssen et al. (2019) pesquisaram a aplicação foliar de um fertilizante organomineral contendo substâncias húmicas em diferentes etapas de desenvolvimento da soja (V2, V4, V6 e R2). Em dois ambientes não houve aumento de produtividade com a aplicação do produto. Nos outros dois ambientes, a aplicação nos estádios V2 ou R2 aumentou a produtividade da soja. Entretanto, como ocorreu estresse hídrico e elevadas temperaturas durante o ciclo apenas nestes ambientes, os autores relacionam este aumento de produtividade à capacidade das substâncias húmicas de proteger as plantas contra estresses abióticos.

Outras pesquisas obtiveram maiores sucessos com a aplicação de substâncias húmicas na cultura da soja em campo. Rocha et al. (2013), por exemplo, avaliaram doses entre 0 e 6 L ha⁻¹ de um produto contendo 16% de ácido húmico, 2,5% de ácido fúlvico, 4% de K₂O e 6% de carbono orgânico total, que foi aplicado no sulco de semeadura da soja. Como resultado, verificou-se aumentos de 25% no número de vagens e 21% na produtividade.

Benites et al. (2006) avaliaram diferentes doses de um produto a base de ácido húmico (0,75; 1,5; 3 e 6 L ha⁻¹) aplicado via foliar em diferentes estádios de desenvolvimento da soja (V4, V7 e pré-floração). Além do controle, testou-se também o ácido húmico extraído do produto comercial e ácido húmico sintetizado de carvão vegetal. Nesses dois últimos casos a aplicação foi realizada apenas em V4. Os autores obtiveram até 30% a mais de produtividade em relação à testemunha, quando se utilizou a menor dose do produto aplicado em V4, mas não houve diferenças significativas entre este e os demais tratamentos.

Segundo Catuchi et al. (2016), a aplicação de 380 g ha⁻¹ de K-Humate (19% de ácido húmico, 3% de ácido fúlvico e 5% de K₂O) ou 200 g ha⁻¹ de K-Fulvate (10% de ácido fúlvico e 2% de K₂O) no sulco de semeadura ou via foliar no estádio V4, resulta em maior número de vagens por planta, e assim maior produtividade de grãos.

Ruwer (2019) testou a aplicação de substâncias húmicas na superfície do solo e em pré-semeadura da soja, durante 3 anos. Como resultado, nas safras 16/17, 17/18 e 18/19 houve aumento crescente da produtividade de grãos (2,1; 4 e 4,5% em relação à testemunha). O autor sugere que as ações de descompactação, fornecimento de nutrientes e melhor desenvolvimento radicular contribuíram para o aumento de produtividade. Além

disso, a produtividade da testemunha também aumentou ao longo dos anos, o que indica que as substâncias húmicas tem estabilidade de agregar produtividade.

No estudo atual, visava-se avaliar também o efeito do ácido húmico na fertilidade do solo e nutrição das plantas, assim como a eficiência das cultivares quanto ao uso de nutrientes. No entanto, como não foram constatados benefícios da aplicação de ácido húmico no desenvolvimento e produção das plantas, não havia motivo para realizar essas análises. Dessa maneira, são necessários novos estudos na cultura da soja em campo a fim de entender em que condições os ácidos húmicos poderiam trazer benefícios às plantas e ajustar a melhor dose e modo de aplicação deste bioinsumo.

5 CONCLUSÕES

O desenvolvimento das plantas de soja e índice SPAD em estágio R5, assim como as características agronômicas e relacionadas à produção diferem entre as seis cultivares de soja, com UFUS 6901 e TMG 801 sendo as mais produtivas.

A aplicação de 15 L ha⁻¹ de ácido húmico no sulco de semeadura não proporciona melhorias ao desenvolvimento e à produção das cultivares de soja, portanto, não é possível diferenciar as cultivares quanto à eficiência no uso de nutrientes.

REFERÊNCIAS

- BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Ácidos húmicos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, Suplemento, p. 856-881, nov/dez, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737x201461000011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/94wksVHhCDcDxkVdYqb4Pqw/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 04 jul. 2023.
- BENITES, V. M.; POLIDORO, J. C.; MENEZES, C. C.; BETA, M. **Aplicação foliar de fertilizante organo-mineral e soluções de ácido húmico em soja sob plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 6 p. (Circular Técnica, 35). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPS-2010/14934/1/circtec35-2006-fertilizante.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2022.
- BILHAN, G.; JUNIOR, J. N. F.; MIDDING, R. C.; GRUTKA, D. R.; EGER, S. L.; GESSI, F. C.; FERREIRA, C. A.; RODRIGUES, M. J. B.; MENEZES, R. V.; FRANZ, D. D.; ECCO, M. Manejos de aplicação para a adubação mineral e orgânica a base de ácido húmico sobre o desempenho da cultura da soja. In: RIBEIRO, J. C. (org.). **Desenvolvimento social e sustentável das ciências agrárias 2**. Ponta Grossa, PR: Atena, 2020. p. 23-36. DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.7192009103>. Disponível em: <https://www.atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/desenvolvimento-social-e-sustentavel-das-ciencias-agrarias-2>. Acesso em: 07 jul. 2023.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise_sementes.pdf. Acesso em: 12 ago. 2022.
- CATUCHI, T. A.; PERES, V. J. S.; BRESSAN, F. V.; ARANDA, E. A.; SILVA, A. P. L. Desempenho produtivo da cultura da soja em razão da aplicação ácido húmico e fúlvico na semeadura e via foliar. **Colloquium Agrariae**, [s.l.], v. 12, n. Especial, p. 36-42, 2016.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Perspectivas para a agropecuária**, Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, agosto 2022b. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/perspectivas-para-a-agropecuaria/item/18847-perspectivas-para-a-agropecuaria-volume-10-safra-2022-2023>. Acesso em: 12 nov. 2022.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 212 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/9543845/Vis%C3%A3o+2030+-+o+futuro+da+agricultura+brasileira/2a9a0f27-0ead-991a-8cbf-af8e89d62829>. Acesso em: 12 nov. 2022.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p.1039-1042, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cagro/a/yjKLJXN9KysfmX6rvL93TSh/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 07 jul. 2023.

HUMINTECH. **What are humic acids?** Definition, genesis and benefits. Disponível em: <https://www.humintech.com/agriculture/information/what-are-humic-acids>. Acesso em: 25 set. 2022.

IBM Corp. **IBM SPSS Statistics for Windows**, Version 22.0. Armonk, KY: IBM Corp, 2013.

JINDO, K.; OLIVARES, F. L.; MALCHER, D. J. D. P.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; KEMPENAR, C.; CANELLAS, L. P. From lab to field: role of humic substances under open-field and greenhouse conditions as biostimulant and biocontrol agent. **Frontiers in plant science**, [s.l.], v. 11, p. 426, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00426>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.00426/full>. Acesso em: 04 jul. 2023.

LENSSSEN, A. W.; OLK, D. C.; DINNES, D. L. Application of a formulated humic product can increase soybean yield. **Crop, Forage & Turfgrass Management**, [s.l.], v. 5, n. 1, p. 1-6, 2019. DOI: <https://doi.org/10.2134/cftm2018.07.0053>. Disponível em: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/cftm2018.07.0053>. Acesso em: 07 jul. 2023.

NAVARRO JÚNIOR, H. M.; COSTA, J. A. Expressão do potencial de rendimento de cultivares de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 3, p. 275-279, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000300007>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/p9FpWrVtxBmFLXJHXbCtGMz/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 07 jul. 2023.

PIRAS, S.; WESZ JÚNIOR, V. J.; GHINOI, S. Soy expansion, environment, and human development: an analysis across Brazilian municipalities. **Sustainability**, [s.l.], v. 13, n. 13, e7246, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13137246>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/13/7246>. Acesso em: 07 jul. 2023.

ROCHA, B. M. M.; LIMA, C. P.; CHRIST, E. A.; SANTOS, I. B.; OLIVEIRA, R.; SILVEIRA, L. M.; ALMEIDA, R. Substâncias húmicas aplicadas no sulco de plantio da cultura da soja. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 12., 2013, Ourinhos, SP. **Anais...** Ourinhos: Faculdades Integradas de Ourinhos, 2013. Disponível em: <http://www.cic.fio.edu.br/anaisCIC/anais2013/PDF/AGRONOMIA/agro010.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2022.

RUWER, P. H. **Efeito de substâncias húmicas na produtividade da soja**. 2019. 41 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) - Universidade de Cruz Alta, Cruz Alta, 2019. Disponível em: <https://home.unicruz.edu.br/wp-content/uploads/2020/06/Pedro-Ruwer-EFEITO-DE-SUBST%C3%82NCIAS-H%C3%9AMICAS-NA-PRODUTIVIDADE-DA-SOJA.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2022.

SILVA, F.; BORÉM, A.; SEDIYAMA, T.; CÂMARA, G. **Soja: do plantio à colheita**. 2 ed., São Paulo: Oficina de Textos, 2022. 312 p.

SOUZA, R. P. **Efeito da aplicação de substâncias húmicas via foliar em parâmetros biométricos da soja (*Glycine max*)**. 2018. 20 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Agronomia) – Universidade Federal de Mato Grosso, Barra do Garças, 2018. Disponível em: https://bdm.ufmt.br/bitstream/1/665/1/TCC_2018_Rodrigo%20Porto%20Souza.pdf. Acesso em: 12 nov. 2022.