



Doses de ácido húmico interferem na germinação de sementes e estabelecimento de plântulas de soja?

Do rates of humic acid influence on soybean seed germination and seedlings establishment?

D. C. M. Pires^{1*}; M. L. M. Magela¹; A. de Sá Júnior²; R. M. Q. Lana¹; A. P. O. Nogueira¹; R. C de Oliveira¹

¹Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Campus Glória, 38410-337, Uberlândia-MG, Brasil

²Laboratório de Análises de Sementes, Universidade Federal de Uberlândia, Campus Umuarama, 38405-317, Uberlândia-MG, Brasil

* danyelapires@yahoo.com.br

(Recebido em 08 de outubro de 2023; aceito em 22 de abril de 2024)

Objetivou-se avaliar a influência de doses de ácido húmico na germinação de sementes e crescimento inicial de plântulas de soja. 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 × 6. 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 12 horas de luz por seis dias. Após a avaliação, verificou-se que as cultivares de soja afetam de maneira significativa todas as características avaliadas na germinação e crescimento inicial das plântulas, exceto a porcentagem de plântulas danificadas e sementes duras. Independente da cultivar, 5 L ha⁻¹ de ácido húmico, proporciona maior porcentagem de germinação e de plântulas de alto vigor; menor porcentagem total de plântulas anormais e classificadas como deformadas; assim como maior comprimento e acúmulo de matéria fresca de parte aérea e total das plântulas. No entanto, para porcentagem de plântulas deterioradas, comprimento e matéria fresca de raiz, acúmulo de matéria seca e relação raiz/parte aérea, as cultivares de soja apresentam comportamento distinto em função das doses de ácido húmico. Portanto, considerar a ação do ácido húmico no desempenho do material genético permite maximizar a eficiência dos recursos e assegurar resultados superiores no cultivo da soja.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merr., bioinsumo, nutrição vegetal.

The objective was to evaluate the effect of humic acid doses on seed germination and seedling initial growth in soybean. 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 × 6 factorial scheme. 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 12 hours of light for six days. After the evaluation, it was verified that the soybean cultivars significantly affect all the characteristics evaluated in germination and initial growth of the seedlings, except the percentage of damaged seedlings and hard seeds. Regardless of the cultivar, 5 L ha⁻¹ of humic acid provides a higher percentage of germination and high vigor seedlings; lower total percentage of abnormal seedlings and those classified as deformed; as well as greater length and accumulation of fresh matter of the aerial part and total of the seedlings. However, for the percentage of deteriorated seedlings, root length and fresh matter, dry matter accumulation, and root/shoot ratio, soybean cultivars show different behavior as a function of humic acid doses. Therefore, considering the action of humic acid on the performance of the genetic material allows maximizing resource efficiency and ensuring superior results in soybean cultivation.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merr., bio-input, plant nutrition.

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merr.) é uma das principais culturas do agronegócio brasileiro, se destacando em quantidade de área plantada e produtividade [1]. É considerada a fonte mais acessível de proteína para a alimentação humana e animal, tendo a composição dos grãos a presença de minerais, vitaminas e lipídeos [2]. A busca por soja e seus derivados é crescente em

todos os mercados do planeta e, devido a menores possibilidades de expansão das áreas de cultivo, é imprescindível a intensificação sustentável da agricultura, o que possibilita ofertar maior produção por área cultivada [3].

A escolha das sementes é uma etapa de extrema importância para se obter êxito na atividade agrícola, pois as sementes devem apresentar bons atributos genéticos, que irão determinar o potencial produtivo das cultivares [4], além de bons atributos físicos, fisiológicos e sanitários. Sementes de alta qualidade podem emergir com maior rapidez e produzir campos mais uniformes, o que é relevante especialmente em ambientes desfavoráveis. Com isso, há maior garantia no estabelecimento da cultura, obtendo-se uma população de plantas desejada e crescimento homogêneo [5].

Nesse sentido, com o crescente reconhecimento do valor das sementes e da importância de proteger e/ou otimizar seu desempenho, surge uma gama cada vez mais ampla de produtos com diferentes propósitos, como proteção e nutrição, e que possibilitam impulsionar o desempenho das sementes, tanto em termos fisiológicos quanto econômicos [6].

Os ácidos húmicos são considerados a fração predominante nas substâncias húmicas, que são constituídas também por ácidos fúlvicos e huminas. Essas substâncias compreendem a parte estável da matéria orgânica e compõem o resultado final das reações químicas e biológicas que ocorrem durante o processo de degradação de resíduos vegetais e animais, pela ação de microrganismos do solo [7].

As substâncias húmicas estão entre os produtos naturais mais importantes capazes de ajudar a promover uma produção mais sustentável, pois apresentam alto teor de nutrientes e grupos funcionais ativos, fornecendo elementos essenciais para as plantas; possuem grande superfície de contato, o que facilita a absorção de nutrientes pelas raízes; são estáveis contra a decomposição, proporcionando benefícios duradouros para o solo; e contêm substâncias bioestimulantes que promovem o desenvolvimento das plantas e saúde do solo [8]. Além disso, em culturas como a soja, as substâncias húmicas podem favorecer a fixação biológica de nitrogênio [9], o que contribui ainda mais para a redução do uso de fertilizantes químicos.

Há décadas as pesquisas têm relatado os efeitos positivos das substâncias húmicas para o crescimento vegetal, germinação de sementes e estabelecimento de plântulas [10]. Em trabalhos mais recentes, verifica-se que as substâncias húmicas podem melhorar os atributos físicos, químicos e biológicos do solo [11-16], além de trazer benefícios para os diferentes processos e rotas do metabolismo vegetal [11, 17-20], atuando também no metabolismo secundário, ao influenciar a produção de compostos especializados que contribuem para a mitigação de estresses abióticos e bióticos [14].

Segundo Façanha et al. (2002) [18], no metabolismo vegetal, os ácidos húmicos e fúlvicos podem otimizar o transporte de íons para dentro das células, facilitando a absorção de nutrientes; acelerar a respiração e as reações do ciclo de Krebs, resultando em maior produção de ATP; aumentar o conteúdo de clorofila e a velocidade de síntese de ácidos nucleicos, estimulando o processo fotossintético; causar um efeito seletivo na síntese proteica e promover a regulação enzimática.

Nesse cenário, ao atuar de diversas maneiras, é possível que os efeitos da aplicação de ácido húmico possam variar entre cultivares da mesma espécie. Portanto, 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 realizado no Laboratório de Análises de Sementes da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), em Uberlândia-MG. Seguindo a metodologia de Banzatto e Kronka (2006) [21], 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 4×6 , constituindo 24 tratamentos. O delineamento experimental foi o 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 estão representados 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 sustentação para dispor as sementes e uma folha para cobrir as sementes. 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 preconizada pelas Regras para Análise de Sementes [22], 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.

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. Posteriormente, os rolos foram colocados na posição vertical no interior do germinador (BOD), o qual foi mantido com temperatura de 25 °C e fotoperíodo de 12 horas de luz.

2.2 Avaliações

2.2.1 Germinação de sementes

Seis dias após a instalação do experimento, avaliou-se cada parcela composta por 50 sementes, de acordo com as Regras para Análise de Sementes [22] e definição de vigor estabelecida pela Associação Oficial dos Analistas de Sementes dos Estados Unidos [23], observando as seguintes variáveis: porcentagem de germinação, porcentagem de plântulas normais (de alto e baixo vigor), porcentagem de plântulas anormais (danificadas, deformadas e deterioradas) e porcentagem de sementes não germinadas (duras, dormentes e mortas).

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: comprimento de parte aérea e raiz (cm); matéria fresca de parte aérea, raiz e total (g); matéria seca de parte aérea, raiz e total (g); relação entre raiz e parte aérea.

Para a avaliação da matéria fresca de parte aérea, raiz e total realizou-se a retirada do cotilédone e separação da parte aérea e raiz para, posteriormente, fazer a pesagem da matéria fresca em balança de precisão de 0,0001 g. Após a mensuração da matéria fresca, a parte aérea e as raízes das plântulas foram acondicionadas em sacos de papel e destinadas para a secagem, realizada em estufa de circulação de ar fechada, regulada a 65 °C, por um período de 72 horas. As amostras secas foram pesadas em balança de precisão de 0,0001 g para obtenção da matéria seca.

A relação entre raiz e parte aérea foi obtida pela divisão da matéria seca de raiz pela matéria seca de parte aérea, o que gerou um valor adimensional, sendo que, quanto maior o valor, maior o desenvolvimento do sistema radicular em detrimento da 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, com o auxílio do software estatístico SPSS [24]. Quando necessário, os dados foram transformados visando atender às pressuposições.

Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância, com as médias das cultivares sendo comparadas pelo teste de Tukey e as doses de ácido húmico ajustadas em curvas de regressão. Os testes foram realizados no *software* Sisvar [25] considerando os níveis de 1 e 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Germinação de sementes

O teste F para a interação entre os fatores (doses de ácido húmico e cultivares de soja) foi significativo ($P < 0,05$) apenas para a variável plântulas deterioradas. Para porcentagem de germinação e de plântulas de alto e baixo vigor, total de plântulas anormais e classificadas como deformadas, os fatores atuaram de maneira independente apresentando efeitos significativos ($P < 0,05$ ou $P < 0,01$). Com relação às sementes que não germinaram, assim como as classificadas como dormentes e mortas, apenas o fator cultivar apresentou efeitos significativos ($P < 0,01$). Por outro lado, para porcentagem de plântulas danificadas e sementes duras, o teste não foi significativo ($P > 0,05$) (Tabela 3).

Tabela 3: Resumo da análise de variância para as variáveis observadas no teste de germinação de cultivares de soja submetidas a doses de ácido húmico.

FV	GL	PG	PAV	PBV	PA	PDef	PDet	PDan
Dose (D)	3	11,68**	14,34**	3,44*	13,42**	3,07*	10,95**	0,20 ^{ns}
Cultivar (C)	5	116,77**	25,31**	16,36**	7,42**	3,37**	4,74**	1,42 ^{ns}
D x C	15	10,35 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,95 ^{ns}	1,64 ^{ns}	0,91 ^{ns}	1,76*	0,80 ^{ns}

FV	GL	PSNG	PSDu	PSDo	PSMo
Dose (D)	3	1,29 ^{ns}	1,06 ^{ns}	0,82 ^{ns}	1,28 ^{ns}
Cultivar (C)	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}

FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; PG: Porcentagem de germinação; PAV: Porcentagem de plântulas de alto vigor; PBV: Porcentagem de plântulas de baixo vigor; PA: Porcentagem total de plântulas anormais; PDef: Porcentagem de plântulas deformadas; PDet: Porcentagem de plântulas deterioradas; PDan: Porcentagem de plântulas danificadas; PSNG: Porcentagem total de sementes não germinadas; PSDu: Porcentagem de sementes duras; PSDo: Porcentagem de sementes dormentes; PSMo: Porcentagem de sementes mortas.

^{ns}, ** e *: não significativo, significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Ao analisar o efeito das cultivares, independente da dose de ácido húmico, 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; e 0,5% das sementes não germinaram, as quais foram todas classificadas como sementes mortas, não apresentando nenhuma semente dormente (Tabela 4).

Tabela 4: Resultado do teste de germinação 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

Cultivar	PSNG (%)	PSDo (%)	PSMo (%)
BRS GO 7560	9,3 d	0,0 a	9,3 c
BRS FAVORITA RR	1,7 ab	0,5 ab	1,1 a
TMG 801	0,5 a	0,0 a	0,5 a
UFUS 6901	39,5 e	16,9 c	22,3 d
UFUS 7101	5,7 cd	1,3 b	4,2 b
BRS VALIOSA RR	3,4 bc	0,5 ab	2,5 b
CV (%)	35,3	63,4	41,6
Média geral	10,0	3,2	6,7

PG: Porcentagem de germinação; PAV: Porcentagem de plântulas de alto vigor; PBV: Porcentagem de plântulas de baixo vigor; PA: Porcentagem total de plântulas anormais; PDef: Porcentagem de plântulas deformadas; PSNG: Porcentagem total de sementes não germinadas; PSDo: Porcentagem de sementes dormentes; PSMo: Porcentagem de sementes mortas.

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

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; cerca de 19% de plântulas anormais, com 12% deformadas; e em torno de 4% das sementes não germinaram, sendo 1% de sementes dormentes e 3% mortas (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; e 39% das sementes não germinaram, sendo 22% mortas e 17% dormentes (Tabela 4).

Com base no teste de germinação, é possível conhecer a qualidade fisiológica das sementes, que se refere a sua capacidade em realizar funções vitais, como a germinação e o vigor [26]. Os genótipos de soja apresentam variabilidade em sua genética quanto à expressão fisiológica de sementes, sendo um atributo que pode ser utilizado em programas de melhoramento genético [27]. No entanto, é provável que os resultados obtidos neste trabalho não estejam relacionados apenas ao fator genético, mas também 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 [28]. Assim, a germinação das sementes é afetada pela cultivar, devido a diferentes respostas das plantas ao ambiente, em níveis molecular, genético e celular, incluindo alterações fisiológicas, morfológicas e de desenvolvimento, além de alterações nas vias metabólicas [5]. Portanto, as cultivares de soja, principalmente a cultivar UFUS 6901 pode ter sofrido a influência de um ou mais desses fatores ambientais, o que resultou em menor taxa de germinação.

Quanto ao efeito das doses de ácido húmico, independente da cultivar de soja, 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 (Figuras 1A e 1B).

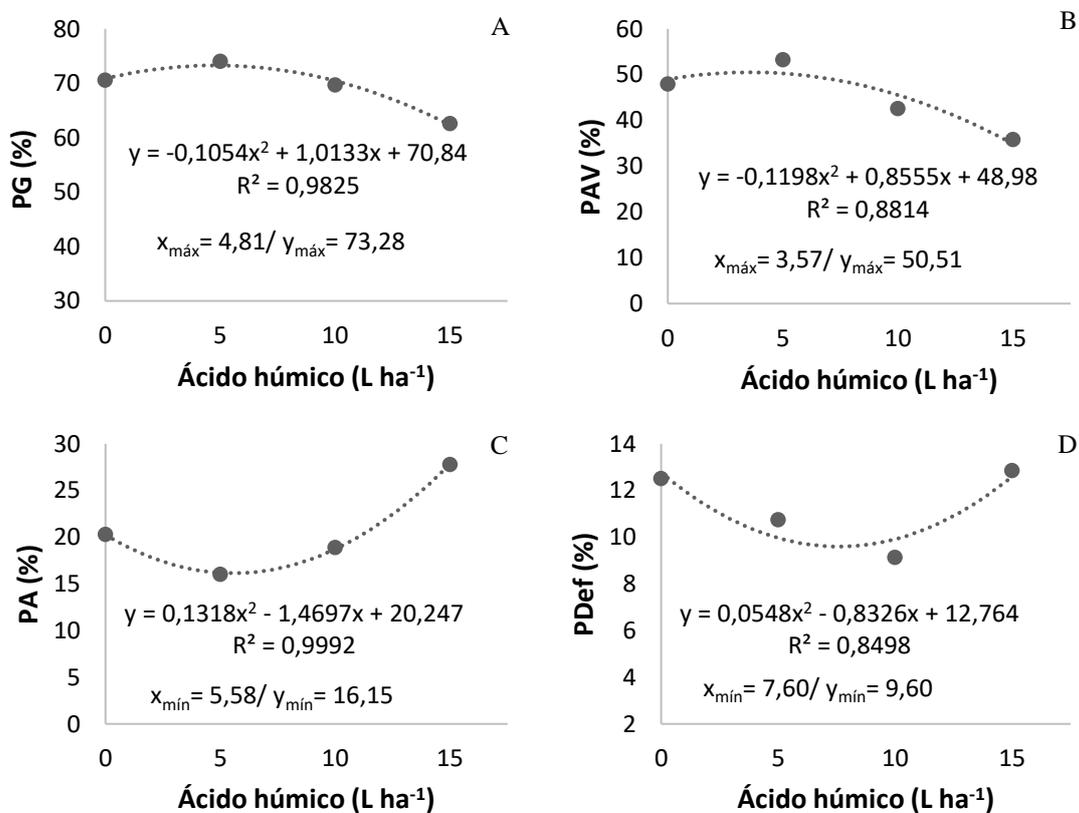


Figura 1: Porcentagem de germinação (PG) e de plântulas de alto vigor (PAV), anormais (PA) e deformadas (PDef) de cultivares de soja em função das doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.

Para porcentagem de plântulas anormais e deformadas, o aumento das doses de ácido húmico refletiu em 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 (Figuras 1C e 1D). Para porcentagem de plântulas de baixo vigor não foi possível ajustar curvas de regressão.

Assim, no geral, verifica-se que a dose de 5 L ha⁻¹ de ácido húmico apresenta efeitos benéficos para a germinação das sementes e estabelecimento das plântulas, independente da cultivar utilizada, pois proporciona aumento na taxa de germinação e de plântulas de alto vigor, assim como redução na porcentagem total de plântulas anormais e classificadas como deformadas.

Portanto, com base no conceito de vigor [23] e de plântulas deformadas [22], pode-se dizer que o ácido húmico colabora para uma emergência mais rápida e uniforme, resultando em plântulas normais sob ampla diversidade de condições ambientais; além de reduzir a incidência de plântulas que apresentam desenvolvimento fraco, distúrbios fisiológicos ou estruturas essenciais deformadas ou desproporcionais.

Esses benefícios apresentados pelo ácido húmico estão relacionados à sua ação nas diversas etapas do metabolismo vegetal [19], assim como na mitigação de estresses abióticos e bióticos [14]. De maneira semelhante, Rodrigues et al. (2017) [29] também constataram efeitos benéficos na germinação e vigor de plântulas de milho, após o tratamento das sementes com substâncias húmicas.

Com relação à porcentagem de plântulas deterioradas, que foi a única variável afetada pela interação entre as cultivares de soja e as doses de ácido húmico, verificou-se que na ausência de ácido húmico e presença de 5 L ha⁻¹, os valores da porcentagem de plântulas deterioradas foram semelhantes entre as cultivares, variando entre 1 e 13% (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)	Cultivar	PDet (%)	Ácido húmico (L ha ⁻¹)	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.

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).

Ao considerar o 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 (Figura 2).

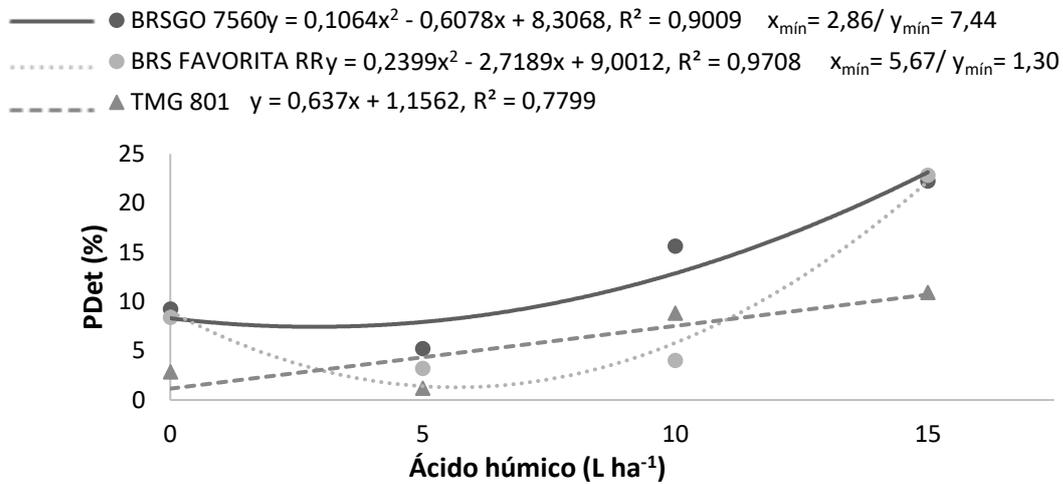


Figura 2: Porcentagem de plântulas anormais classificadas como deterioradas (PDet) de cultivares de soja em função das doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.

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 (Figura 2). Para as demais cultivares, não foi possível ajustar curvas de regressão para porcentagem de plântulas deterioradas.

Então, de maneira geral, as maiores doses de ácido húmico causaram um efeito prejudicial na germinação das sementes, resultando em maior porcentagem de plântulas deterioradas. Este resultado é evidente com a observação das Figuras 3 e 4, nas quais também é possível verificar que, com o aumento das doses de ácido húmico, houve maior acúmulo de produto (coloração marrom) e umidade retida no substrato próximo às plântulas, principalmente na região das raízes.

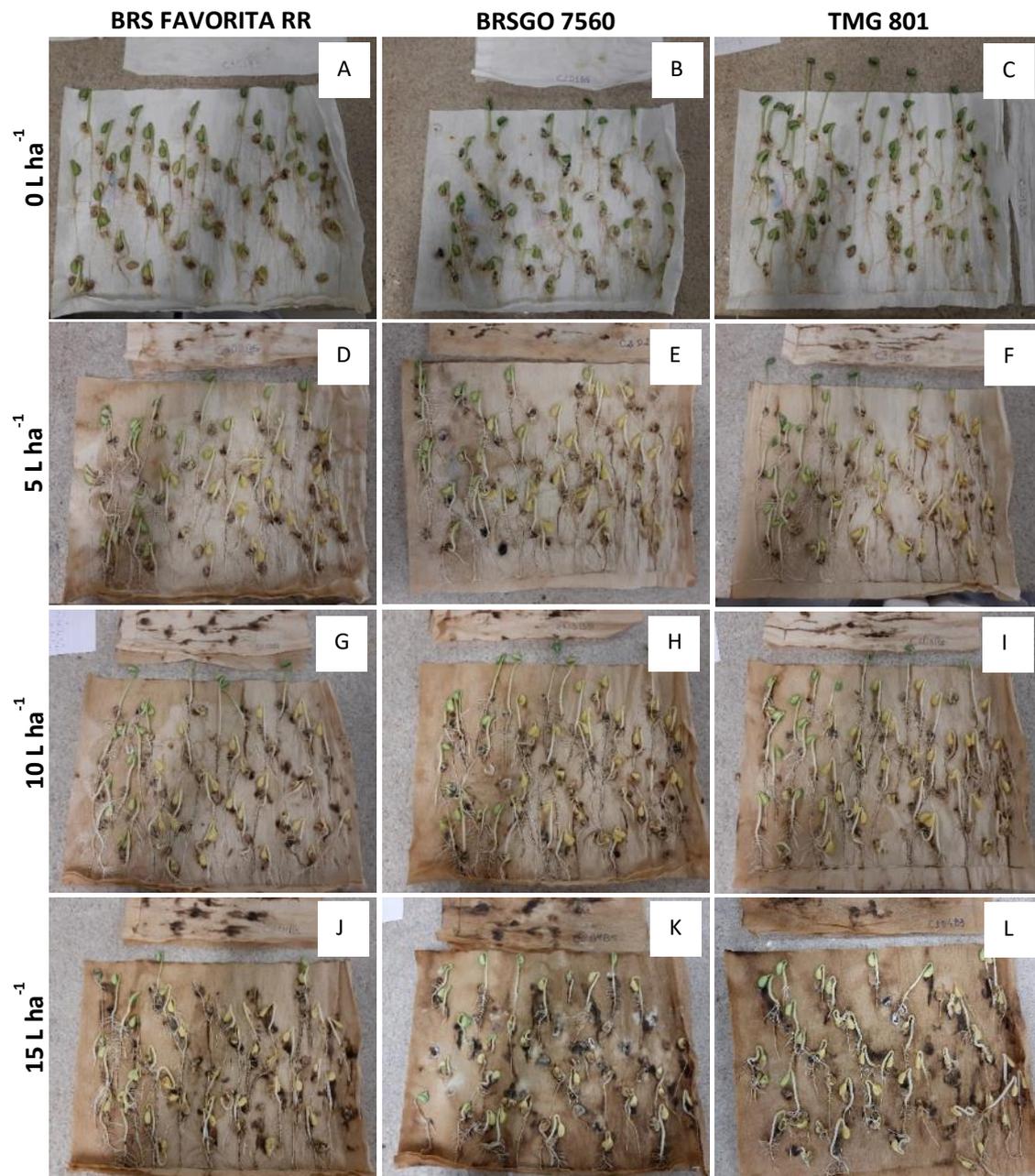


Figura 3: Efeito do ácido húmico nas doses de 0 (A-C), 5 (D-F), 10 (G-I) e 15 L ha⁻¹ (J-L) em sementes da cultivar BRS FAVORITA RR, BRSGO 7560 e TMG 801, seis dias após a semeadura em papel germitest.

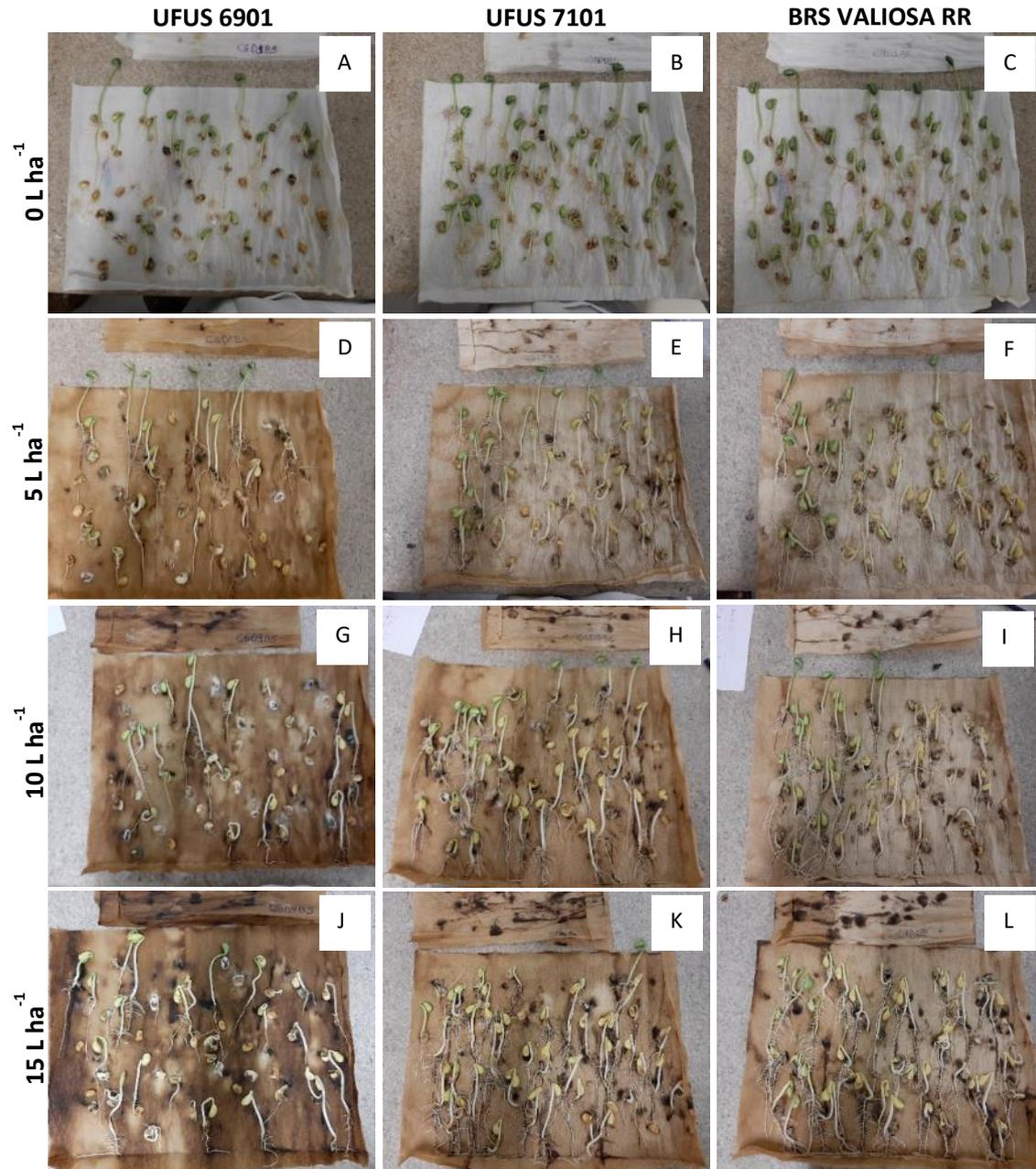


Figura 4: Efeito do ácido húmico nas doses de 0 (A-C), 5 (D-F), 10 (G-I) e 15 L ha⁻¹(J-L) em sementes da cultivar UFUS 6901, UFUS 7101 e BRS VALIOSA RR, seis dias após a semeadura em papel germitest.

De acordo com vários autores, um dos grandes benefícios da aplicação de componentes húmicos, em cultivo a campo, refere-se a melhorias na retenção de água no solo [7, 11, 12, 14]. 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 às sementes, o que prejudicou a germinação e resultou no aumento de plântulas deterioradas para a maioria das cultivares.

A germinação de sementes em ambientes com excesso de umidade pode enfrentar problemas como aumento na incidência de patógenos, alterações no desenvolvimento das raízes, devido ao baixo suprimento de oxigênio, o que pode gerar atrasos e paralisação do desenvolvimento e até mesmo anormalidades nas plântulas. Além disso, caso ocorra rápida embebição, pode haver danos

celulares [30]. Baseado nisso, a porcentagem de plântulas deterioradas foi resultado das diferentes tolerâncias das cultivares de soja, ao excesso de ácido húmico e umidade presentes no substrato.

Nicchio et al. (2013) [31] testaram diferentes doses de ácido húmico no tratamento de sementes de milho e também verificaram efeitos negativos das maiores doses do produto, que causou uma redução na porcentagem de germinação. Os autores afirmaram que tal resultado provavelmente se deve ao uso de altas doses de ácido húmico, devido à alta umidade relativa no interior da BOD, assim como a permeabilidade do substrato onde as sementes estavam se desenvolvendo, o que favoreceram a sua deterioração.

Outro ponto importante é que, na utilização de papel germitest como substrato, 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 [32].

Nesse cenário, para plântulas deterioradas, a ação do ácido húmico foi diferente entre as cultivares de soja testadas. Outro trabalho que também avaliou o efeito de ácido húmico em diferentes cultivares foi o de Cotrim et al. (2016) [33], no qual os autores trabalharam com duas cultivares de trigo e, após realizar um teste de envelhecimento acelerado, constataram que, em uma das cultivares, o tratamento de sementes com ácido húmico promoveu um aumento de 20% na quantidade de plântulas normais em relação à testemunha; no entanto, para a outra cultivar, não houve diferenças significativas.

3.2 Crescimento inicial de plântulas

O teste F para a interação entre os fatores (doses de ácido húmico e cultivares de soja) foi significativo ($P < 0,05$ ou $P < 0,01$) para todas as variáveis analisadas no crescimento inicial das plântulas, com exceção do comprimento e matéria fresca de parte aérea e total. Para estas variáveis, os fatores em estudo atuaram de maneira independente apresentando efeitos significativos ($P < 0,01$) (Tabela 6).

Tabela 6: Resumo da análise de variância para as variáveis do teste de crescimento inicial das plântulas de cultivares de soja submetidas a doses de ácido húmico.

FV	GL	CPA	CR	MFPA	MFR	MFT	MSPA	MSR	MST	R/PA
Dose (D)	3	14,0**	61,7**	10,7**	11,8**	6,3**	15,8**	7,7**	21,2**	0,5 ^{ns}
Cultivar (C)	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*

FV: Fonte de variação; GL: Graus de Liberdade; CPA: Comprimento da parte aérea; CR: Comprimento de raiz; MFPA: Matéria fresca de parte aérea; MFR: Matéria fresca de raiz; MFT: Matéria fresca total; MSPA: Matéria seca de parte aérea; MSR: Matéria seca de raiz; MST: Matéria seca total; R/PA: Relação entre raiz e parte aérea.

^{ns}, ** e *: não significativo, significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Como o ácido húmico é capaz de atuar nos processos metabólicos vegetais, a exemplo da síntese de ácidos nucleicos, fotossíntese, respiração e absorção de íons [18]; e as cultivares apresentam diferentes genes responsáveis pela expressão de suas características; seria natural a observação de alterações no padrão de desenvolvimento das plântulas. Assim, a dose de ácido húmico ideal variou entre as cultivares e também entre as características avaliadas.

Sobre o efeito das cultivares de soja, independente da dose de ácido húmico, 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 7).

Tabela 7: 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.

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 7).

Quanto ao efeito das doses de ácido húmico, independente da cultivar de soja, 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 (Figura 5).

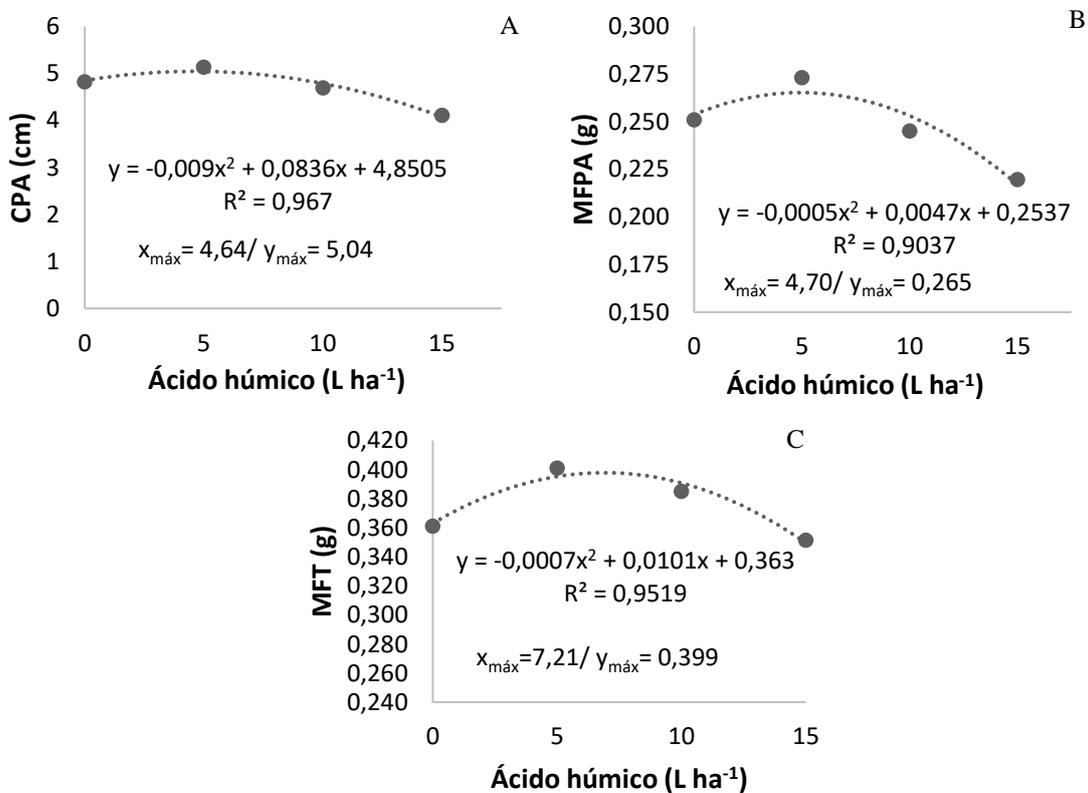


Figura 5: Comprimento de parte aérea (CPA) e matéria fresca de parte aérea (MFPA) e total (MFT) de plântulas de cultivares de soja em função das doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.

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 8).

Tabela 8: Comprimento de raiz (CR) 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	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.

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 8).

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 (Figura 6).

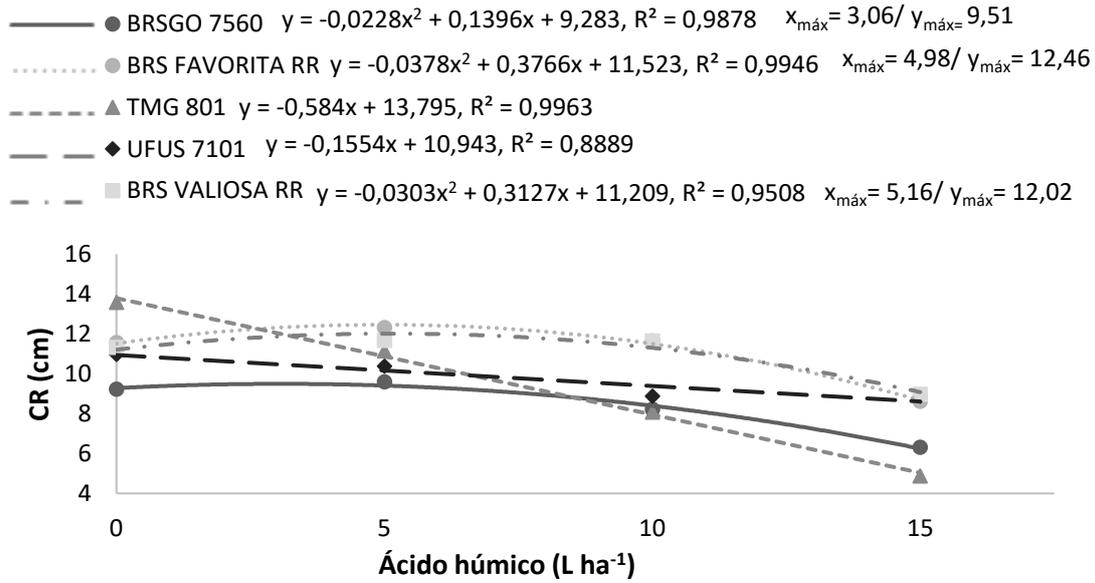


Figura 6: Comprimento de raiz (CR) de plântulas de cultivares de soja em função das doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.

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 (Figura 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 9).

Tabela 9: 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.

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 (Figura 7).

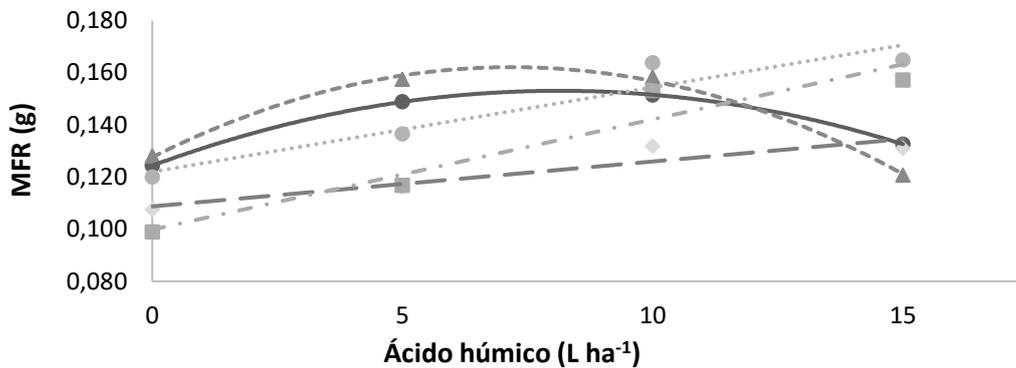
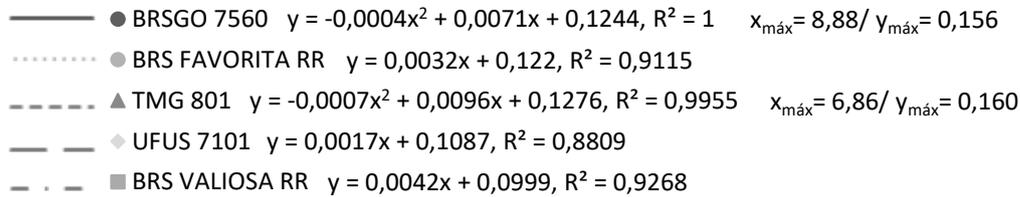


Figura 7: Matéria fresca de raiz (MFR) de plântulas de cultivares de soja em função das doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.

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 (Figura 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 10).

Tabela 10: 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 7560	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.

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 10).

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 10).

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 (Figura 8).

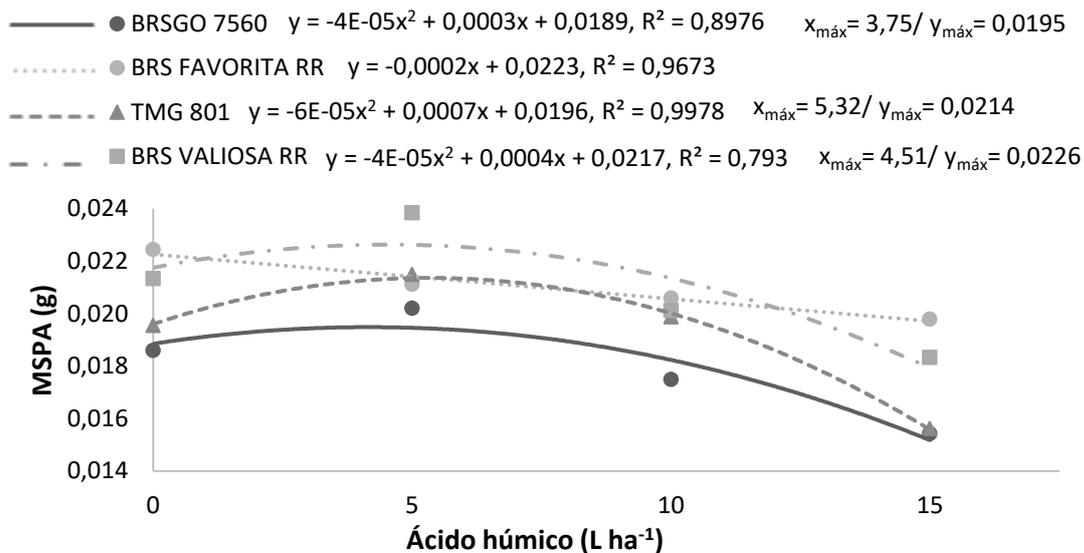


Figura 8: Matéria seca de parte aérea (MSPA) de plântulas de cultivares de soja em função das doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.

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 (Figura 8).

Para matéria seca de raiz, foi possível ajustar curvas de regressão apenas para BRS GO 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 (Figura 9).

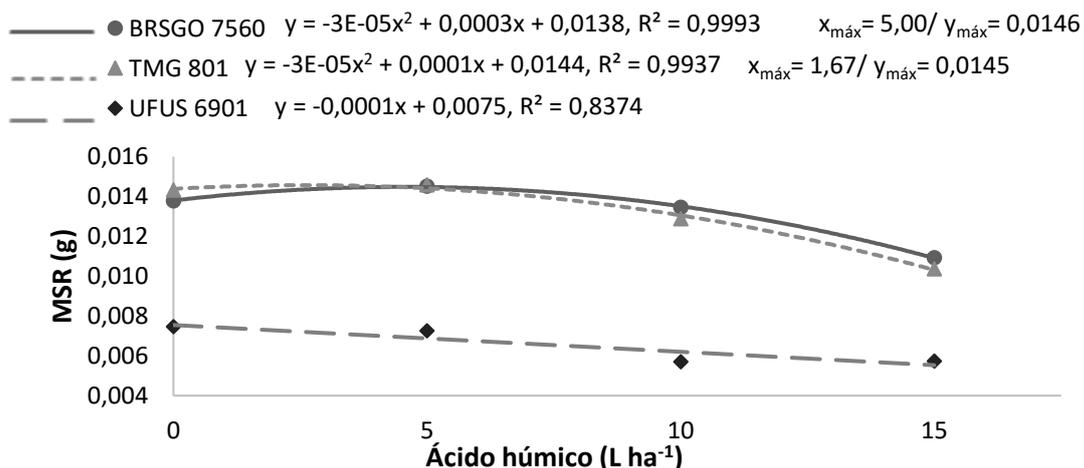


Figura 9: Matéria seca de raiz (MSR) de plântulas de cultivares de soja em função das doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.

Para matéria seca total ajustou-se curvas de regressão para todas as cultivares, exceto UFUS 7101 e UFUS 6901. Para BRS GO 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 (Figura 10).

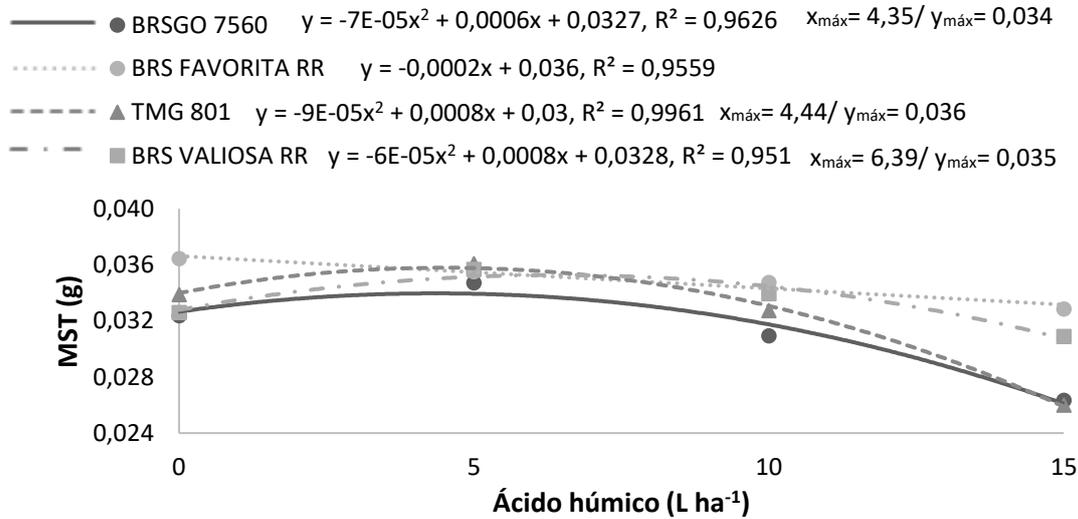


Figura 10: Matéria seca total (MST) de plântulas de cultivares de soja em função das doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.

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 (Figura 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 (Figura 11).

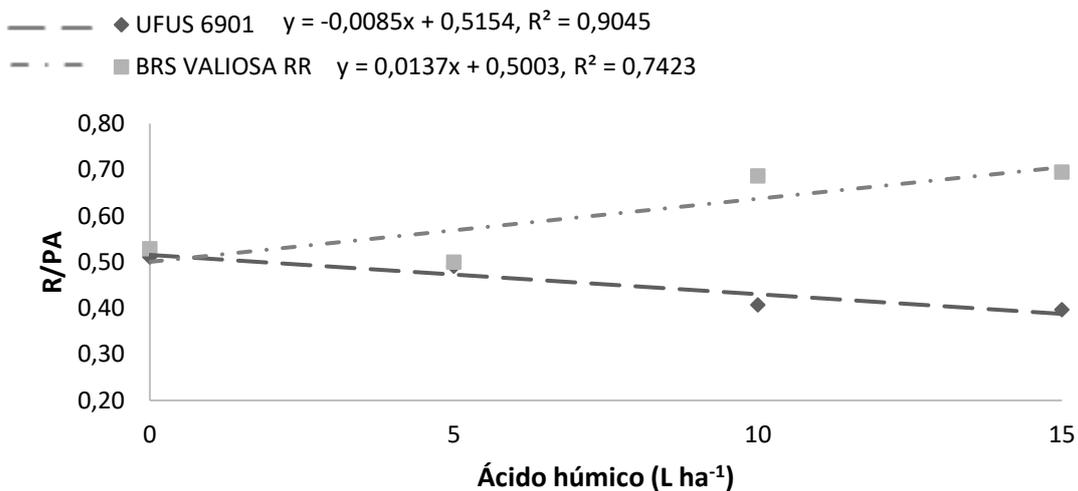


Figura 11: Relação entre raiz e parte aérea (R/PA) de plântulas de cultivares de soja em função das doses de ácido húmico, seis dias após a semeadura em papel germitest.

Com base nos resultados obtidos com o uso de ácido húmico em cada característica avaliada no crescimento das plântulas de cada cultivar de soja, foi possível montar uma tabela comparativa para facilitar a visualização e interpretação dos resultados (Tabela 11), afinal não basta saber

como o ácido húmico atua em cada característica, é necessário entender também como o produto age na plântula como um todo.

Tabela 11: Perfil das plântulas de cultivares de soja, seis dias após a semeadura em papel germitest, com apresentação da dose de ácido húmico (em L ha⁻¹) que proporcionou resultado mais satisfatório para cada característica, ou os ganhos (+) ou perdas (-) para cada 1 L ha⁻¹ de ácido húmico aplicado.

Variável	BRS GO 7560	BRS FAVORITA	TMG 801	UFUS 6901	UFUS 7101	BRS VALIOSA
CPA ¹	5,04 cm (5 L ha ⁻¹)	5,04 cm (5 L ha ⁻¹)	5,04 cm (5 L ha ⁻¹)	5,04 cm (5 L ha ⁻¹)	5,04 cm (5 L ha ⁻¹)	5,04 cm (5 L ha ⁻¹)
CR ²	9,51 cm (3 L ha ⁻¹)	12,46 cm (5 L ha ⁻¹)	13,79 cm* (-0,58 cm)	n/d	10,94 cm* (-0,15 cm)	12,02 cm (5 L ha ⁻¹)
MFPA ¹	0,265 g (5 L ha ⁻¹)	0,265 g (5 L ha ⁻¹)	0,265 g (5 L ha ⁻¹)	0,265 g (5 L ha ⁻¹)	0,265 g (5 L ha ⁻¹)	0,265 g (5 L ha ⁻¹)
MFR ²	0,156 g (9 L ha ⁻¹)	0,122 g* (+0,003 g)	0,160 g (7 L ha ⁻¹)	n/d	0,109 g* (+0,002 g)	0,100 g (+0,004 g)
MFT ¹	0,399 g (7 L ha ⁻¹)	0,399 g (7 L ha ⁻¹)	0,399 g (7 L ha ⁻¹)	0,399 g (7 L ha ⁻¹)	0,399 g (7 L ha ⁻¹)	0,399 g (7 L ha ⁻¹)
MSPA ²	0,019 g (4 L ha ⁻¹)	0,022 g* (-0,001 g)	0,021 g (5 L ha ⁻¹)	n/d	n/d	0,023 g (5 L ha ⁻¹)
MSR ²	0,015 g (5 L ha ⁻¹)	n/d	0,015 g (2 L ha ⁻¹)	0,007 g* (-0,001 g)	n/d	n/d
MST ²	0,034 g (4 L ha ⁻¹)	0,036 g* (-0,001 g)	0,036 g (4 L ha ⁻¹)	n/d	n/d	0,035 g (6 L ha ⁻¹)
R/PA ²	n/d	n/d	n/d	0,51* (-0,01)	n/d	0,50* (+0,01)

CPA: Comprimento da parte aérea; CR: Comprimento de raiz; MFPA: Matéria fresca de parte aérea; MFR: Matéria fresca de raiz; MFT: Matéria fresca total; MSPA: Matéria seca de parte aérea; MSR: Matéria seca de raiz; MST: Matéria seca total; R/PA: Relação entre raiz e parte aérea.

¹Apenas um resultado para todas as cultivares, pois o ácido húmico apresentou efeito significativo independente da cultivar, ou seja, não houve interação entre os fatores.

²Resultado foi diferente para cada cultivar, pois houve interação significativa entre os fatores.

n/d: Não foi possível ajustar curvas de regressão significativa.

*: Ausência de ácido húmico.

Com relação à matéria fresca e seca das plântulas, verificou-se que as maiores doses de ácido húmico resultaram em aumento de matéria fresca, enquanto que menores doses possibilitaram 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 (Tabela 11). Isso confirma a teoria de que a composição do ácido húmico permite maior retenção de água [14], 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.

A matéria seca corresponde ao conteúdo total da planta, após passar pelo processo de desidratação. Portanto, o conteúdo é o resultado do processo metabólico da planta, essencialmente: carboidratos, proteínas, lipídeos e nutrientes minerais, entre outros [34]. 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 (Tabela 11). 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 g, nas doses de 0, 5 e 10 L ha⁻¹, respectivamente (Tabela 10). No entanto, o maior acúmulo de matéria seca, ou seja, o maior desenvolvimento geral das plântulas foi proporcionado pela dose de 6 L ha⁻¹ (Tabela 11).

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) [17], que enfatiza os efeitos positivos dos ácidos húmicos na ampliação da capacidade de absorção de água e nutrientes pelas plantas, promovido pela ativação do metabolismo, estimulando o alongamento radicular, a formação de pelos radiculares e novas raízes laterais e adventícias.

Para BRSGO 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 L ha⁻¹ (Tabela 11).

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 (Tabela 11).

Para TMG 801, a dose de 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 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 (Tabela 11).

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 (Tabela 11).

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 (Tabela 11).

Como as substâncias húmicas apresentam compostos de natureza auxínica [13], 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 et al. (2022) [35], 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, o aumento das doses de ácido húmico gerou uma redução linear na matéria seca de parte aérea e total das plântulas. 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 (Tabela 11).

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 relação a 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) [36], 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 [37].

4. CONCLUSÃO

As cultivares de soja afetam de maneira significativa 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 resultados mais satisfatórios, independente da cultivar de soja, pois possibilita maior porcentagem de germinação e de plântulas de alto vigor; menor porcentagem total de plântulas anormais e classificadas como deformadas; assim como maior comprimento e acúmulo de matéria fresca de parte aérea e total das plântulas. No entanto, para porcentagem de plântulas deterioradas, comprimento e matéria fresca de raiz, acúmulo de matéria seca e relação raiz/parte aérea, as cultivares de soja apresentam comportamento distinto em função das doses de ácido húmico.

Assim, ao selecionar o material genético e ajustar as práticas de manejo, levando em conta a influência do ácido húmico no desempenho das plantas, é possível maximizar a eficiência dos recursos e assegurar resultados superiores no cultivo da soja.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Mirriam A, Mugwe J, Nasar J, Kisaka O, Ranjan S, Gitari H. Role of phosphorus and inoculation with bradyrhizobium in enhancing soybean production. *Adv Agric*. 2023 May;3231623:1-14. doi: 10.1155/2023/3231623
2. dos Reis PAB, Magalhaes JV, Miller RNG, Fontes EPB. State-of-the-art molecular plant sciences in Brazil. *Int J Mol Sci*. 2023 May;24(10):1-4. doi: 10.3390/ijms24108909
3. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). *Visão 2030: O futuro da agricultura brasileira*. Brasília (DF): EMBRAPA; 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/9543845/Vis%C3%A3o+2030+-+o+futuro+da+agricultura+brasileira/2a9a0f27-0ead-991a-8cbf-af8e89d62829>
4. Ferreira LA, Oliveira JA, Pinho ÉVRV, de Queiroz DL. Bioestimulante e fertilizante associados ao tratamento de sementes de milho. *Rev Bras Sementes*. Ago 2007;29(2):80-9. doi: 10.1590/S0101-31222007000200011
5. Cabral RC, Zuffo AM, Maekawa SCE, Silva KC, Steiner F. Identificação de cultivares de soja para tolerância aos estresses hídrico e salino durante a fase de estabelecimento da plântula. *Rev Agro Amb*. Out 2022;15(4):1-20. doi: 10.17765/2176-9168.2022v15n4e9789
6. Avelar SAG, Baudet L, Peske ST, Ludwig MP, Rigo GA, Crizel RL, et al. Armazenamento de sementes de soja tratadas com fungicida, inseticida e micronutriente e recobertas com polímeros líquido e em pó. *Ciênc Rural*. Out 2011;41(10):1719-25. doi: 10.1590/S0103-84782011005000130
7. Primo DC, Menezes RSC, da Silva TO. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: Uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. *Sci Plena*. Jun 2011;7(5):1-13.
8. Mosa AA, Taha A, Elsaeid M. Agro-environmental applications of humic substances: A critical review. *Egypt J Soil Sci*. 2020 Sep;60(3):207-20. doi: 10.21608/ejss.2020.27425.1351
9. da Conceição PM, Vieira HD, Canellas LP, Marques Júnior RB, Olivares FL. Recobrimento de sementes de milho com ácidos húmicos e bactérias diazotróficas endofíticas. *Pesqui Agropecu Bras*. Abr 2008;43(4):545-48. doi: 10.1590/S0100-204X2008000400015
10. Hamza B, Suggars A. Biostimulants: Myths and realities. *TurfGrass Trends*. 2001 Aug;8:6-10.
11. Pukalchik M, Kydraliev K, Yakimenko O, Fedoseeva E, Terekhova V. Outlining the potential role of humic products in modifying biological properties of the soil—A Review. *Front Environ Sci*. 2019 Jun;7:80. doi: 10.3389/fenvs.2019.00080
12. Nardi S, Schiavon M, Francioso O. Chemical structure and biological activity of humic substances define their role as plant growth promoters. *Molecules*. 2021 Apr;26:2256. doi: 10.3390/molecules26082256

13. Rosa SD, Silva CA, Maluf HJGM. Phosphorus availability and soybean growth in contrasting Oxisols in response to humic acid concentrations combined with phosphate sources. *Arch Agron Soil Sci.* 2020 Apr;66(2):220-35. doi: 10.1080/03650340.2019.1608527
14. Jindo K, Olivares FL, Malcher DJP, Sánchez-Monedero MA, Kempenaar C, Canellas LP. From lab to field: Role of humic substances under open-field and greenhouse conditions as biostimulant and biocontrol agent. *Front Plant Sci.* 2020 May;11:426. doi: 10.3389/fpls.2020.00426
15. Szczerski C, Naguit C, Markham J, Goh TB, Renault, S. Short-and long-term effects of modified humic substances on soil evolution and plant growth in gold mine tailings. *Water Air Soil Pollut.* 2013 Feb;224(3):1-14. doi: 10.1007/s11270-013-1471-y
16. Zhou L, Monreal CM, Xu S, McLaughlin NB, Zhang H, Hao G, et al. 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.* 2019 Mar;338:269-80. doi: 10.1016/j.geoderma.2018.12.014
17. Baldotto MA, Baldotto LEB. Ácidos húmicos. *Rev Ceres.* Dez 2014;61(Suplemento):856-81. doi: 10.1590/0034-737x201461000011
18. Façanha AR, Façanha ALO, Olivares FL, Guridi F, Santos GA, Velloso ACX, et al. Bioatividade de ácidos húmicos: efeitos sobre o desenvolvimento radicular e sobre a bomba de prótons da membrana plasmática. *Pesqui Agropecu Bras.* Set 2002;37(9):1301-10. doi: 10.1590/S0100-204X2002000900014
19. García AC, Castro TAVT, Berbara RLL, Tavares OCH, Elias SS, Amaral Sobrinho NMB, et al. Revisão sobre a relação estrutura-função das substâncias húmicas e a sua regulação do metabolismo oxidativo em plantas. *Rev Virtual Quím.* Mai 2019;11(3):754-70. doi: 10.21577/1984-6835.20190055
20. Rosa CM, Castilhos RMV, Vahl LC, Castilhos DD, Pinto LFS, Oliveira ES, et al. Efeito de substâncias húmicas na cinética de absorção de potássio, crescimento de plantas e concentração de nutrientes em *Phaseolus vulgaris* L. *Rev Bras Ciênc Solo.* Ago 2009;33:959-67. doi: 10.1590/S0100-06832009000400020
21. Banzatto DA, Kronka SN. Experimentação agrícola. 4. ed. Jaboticabal (SP): Funep; 2006.
22. Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília (DF): MAPA; 2009. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise__sementes.pdf
23. Baalbaki RZ, Elias SG, Marcos-Filho J, McDonald MB, editors. Seed vigor testing handbook. Ithaca (US): Association of Official Seed Analysts; 2009.
24. IBM Corp. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. Armonk (NY): IBM Corp; 2013.
25. Ferreira DF. Sisvar: A computer statistical analysis system. *Ciênc Agrotec.* 2011 Dec;35(6):1039-42. doi: 10.1590/S1413-70542011000600001
26. Tejo DP, Fernandes CHS, Ávila MR. Metodologias para determinar qualidade fisiológica em sementes de feijão enfatizando o teste de tetrazólio. *Rev Cient Rural.* Jul 2021;23(1):124-41. doi: 10.30945/rcr-v23i1.3042
27. Mertz LM, Henning FA, Cruz HLD, Meneghello GE, Ferrari CDS, Zimmer PD. Diferenças estruturais entre tegumentos de sementes de soja com permeabilidade contrastante. *Rev Bras Sementes.* Ago 2009;31(1):23-9. doi: 10.1590/S0101-31222009000100003
28. Rao NK, Dulloo ME, Engels JMM. A review of factors that influence the production of quality seed for long-term conservation in genebanks. *Genet Resour Crop Evol.* 2017 Jul;64:1061-74. doi: 10.1007/s10722-016-0425-9
29. Rodrigues LA, Alves CZ, Rego CHQ, da Silva TRB, da Silva JB. Humic acid on germination and vigor of corn seeds. *Rev Caatinga.* Jan-Mar 2017;30(1):149-54. doi:10.1590/1983-21252017v30n116rc
30. Fernandes TS, Nunes UR, Cargnelutti Filho A, Fagundes LK, Dalcin JS, Ludwig EJ. Contribuição para a uniformização de metodologias de análise de germinação e vigor de sementes de soja. *Rev Ciênc Agrár.* Jan 2018;41(1):122-8. doi: 10.19084/RCA17257
31. Nicchio B, Boer CA, Siqueira TP, Vasconcelos AC, Resende WS, Lana RMQ. Ácido húmico e bioativador no tratamento de sementes de milho. *J Agric Sci.* Nov 2013;2(2):61-73.
32. de Tunes LVM, Almeida AS, de Camargo TO, Suñe AS, Rodrigues DB, Martins ABN, et al. Metodologia alternativa para o teste de germinação em sementes de soja tratada. *Braz J Dev.* Jun 2020;6(6):41223-40. doi: 10.34117/bjdv6n6-602
33. Cotrim MF, Alvarez RCF, Seron ACC. Qualidade fisiológica de sementes de trigo em resposta a aplicação de *Azospirillum brasilense* e ácido húmico. *Braz J Biosyst Eng.* Dez 2016;10(4):349-57. doi:10.18011/bioeng2016v10n4p349-357
34. Chand S, Indu, Singhal RK, Govindasamy P. Agronomical and breeding approaches to improve the nutritional status of forage crops for better livestock productivity. *Grass and Forage Sci.* 2022 Jan;77(1):11-32. doi: 10.1111/gfs.12557
35. Taiz L, Zeiger E, Møller IM, Murphy A, Zeiger E. Plant physiology and development. 7. ed. Sinauer-MA: Oxford University Press; 2022.

36. Jiang ZF, Liu DD, Wang TQ, Liang XL, Cui YH, Liu ZH, et al. Concentration difference of auxin involved in stem development in soybean. *J Integr Agric.* 2020 Apr;19(4):953-64. doi: 10.1016/S2095-3119(19)62676-6
37. Casanova-Sález R, Voß U. Auxin metabolism controls developmental decisions in land plants. *Trends Plant Sci.* 2019 Jun;24(8):741-54. doi: 10.1016/j.tplants.2019.05.006