

INFLUÊNCIA DO ÁCIDO HÚMICO NO CRESCIMENTO DAS PLÂNTULAS DE MILHO

Davi Souza de Freitas¹
Jefferson Nicolau Romeiro²
Girleine Pereira Oliveira³
Maria Aparecida Schröder Dutra⁴
Vinícius Sigilião Silveira Silva⁵
Carla da Silva Dias⁶

carla.silva.dias.physiologist@gmail.com

ÁREA DO CONHECIMENTO: Ciências Agrárias

RESUMO

Os ácidos húmicos (AH) são insumos amplamente explorados na agricultura, exercendo influência nas plantas por meio de mecanismos bioestimulantes, análogos aos reguladores de crescimento sintéticos, como as auxinas. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar o crescimento inicial do milho após a secagem das sementes, submetidas à embebição em uma solução contendo ácidos húmicos, sendo os tratamentos (T1) testemunha, (T2) semente embebida em água por 8 horas; (T3) semente embebida em solução contendo 10 mmol L⁻¹ de carbono no AH por 8 horas, (T4) semente embebida em água por 8 horas com redução da umidade para 14%, (T5) semente embebida em solução contendo 10 mmol L⁻¹ de carbono no AH por 8 horas com redução da umidade para 14%. A secagem foi conduzida em estufa de circulação forçada até alcançar uma umidade aproximada de 14% em base seca. Após 33 dias da semeadura, os parâmetros avaliados incluíram altura da planta, comprimento da raiz, matéria fresca e seca da parte aérea, bem como matéria fresca e seca da raiz. Os resultados indicaram que sementes de milho submetidas à solução de ácido húmico (10 mmol.L⁻¹) por 8 horas, seguida de secagem, favoreceram o desenvolvimento radicular das plântulas, revelando-se uma alternativa potencial no tratamento de sementes para promover o enraizamento eficaz da cultura. Essa resposta positiva dos ácidos húmicos, particularmente na morfologia das raízes, destaca seu potencial como ferramenta de melhoria no cultivo do milho.

PALAVRAS-CHAVE: secagem; extração; embebição; auxina; bioestimulantes

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays L.*) é a maior cultura agrícola do mundo destinada à alimentação animal, devido seu valor energético, rico em proteína, amido e gordura.

¹ Graduado em Engenharia Agrônômica pelo Centro Universitário Vértice – Univértix

² Graduado em Engenharia Agrônômica pelo Centro Universitário Vértice – Univértix

³ Graduada em Engenharia Agrônômica, mestre e doutora em Fitotecnia

⁴ Graduada em Medicina Veterinária, especialista. Professora da Univértix

⁵ Graduado em Engenharia Agrônômica e Especialista em Docência do Ensino Superior pelo Centro Universitário Vértice - Univértix. Professor da Univértix.

⁶ Graduada em Engenharia Agrônômica, mestre e doutora em Fisiologia Vegetal pela Universidade Federal de Viçosa. Professora da Univértix

O milho, além de ser uma cultura de subsistência do produtor, passa a ser uma cultura comercial apresentando grande crescimento econômico do agronegócio brasileiro (Contini *et al.*, 2019). A expectativa para a safra 2023 é de que a área total cultivada com milho em MG atinja de 1.403 mil hectares, resultando em produção total de 8.785,2 mil toneladas. Isso representa um aumento significativo de 14,4% maior que a safra anterior (CONAB, 2023).

Entretanto, ainda existem grandes lacunas para serem preenchidas para aumentar a rentabilidade. Todavia, observa-se uma considerável heterogeneidade na produtividade do milho, resultante dos diferentes níveis de investimento em tecnologias (Venancio *et al.*, 2019).

Dentre as alternativas para reduzir as lacunas na produtividade do milho, destaca-se o uso de reguladores de crescimento de plantas, como os ácidos húmicos. Esses compostos estimulam o metabolismo das plantas aumentando a eficiência no uso de luz, água e nutrientes (Canellas, Olivares, 2014; Baldotto, Baldotto, 2014). Além disso, contribuem para aumentar a tolerância das plantas a estresses (Nunes *et al.*, 2019).

Atualmente, os ácidos húmicos (AH) destacam-se como insumos explorados na agricultura, exercendo sua influência nas plantas por meio dos mecanismos bioestimulantes, por meio de substâncias análogas aos reguladores de crescimento sintéticos, como as auxinas (Trevisan *et al.*, 2010; Muscolo; Sidari; Nardi, 2013).

O tratamento de sementes de milho com bioestimulantes, como os AH, tem se destacado como uma estratégia promissora para o incremento da produtividade, vem ganhando espaço e importância nos últimos anos. Baldotto *et al.* (2019), observaram aumento de aproximadamente 15% na produtividade do milho quando as sementes foram tratadas com ácido húmico por 16 horas. De maneira semelhante, Baldotto *et al.* (2014) notaram um aumento significativo do desenvolvimento inicial do milho em resposta ao tratamento de sementes por 16 horas com ácidos húmicos.

Até o momento, não há registros de estudos que respaldem a viabilidade do uso de sementes de milho submetidas à embebição em soluções contendo ácidos húmicos. Em conformidade com as recomendações de Baldotto *et al.* (2021), destaca-se a importância de manter as sementes de milho imersas em soluções de ácidos

húmicos derivados de esterco bovino, com uma concentração de 10 mmol L⁻¹ de carbono, por um período mínimo de 8 horas e máximo de 16 horas.

O prolongamento do tempo de exposição da semente à solução inviabiliza a semeadura mecânica, aumentando a suscetibilidade das sementes a danos físicos, como amassamento durante a semeadura e/ou obstrução nos implementos agrícolas. Diante desse cenário, o objetivo deste trabalho é avaliar o crescimento inicial do milho após a secagem das sementes embebidas em solução contendo ácidos húmicos, com o intuito de viabilizar a adoção dessa tecnologia em escala comercial.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Brasil ostenta uma posição de destaque como fornecedor de alimentos em escala global, impulsionado por fatores como o clima favorável, boa topografia, grande extensão de área. O setor do agronegócio desempenha um papel vital na economia brasileira, respondendo por cerca de 23% do PIB. Destaca-se, nesse cenário, a produção recorde de milho a cada ano, com um crescimento por área cultivada quebrando recorde de produção por área (Artuzo *et al.*, 2019)

O aporte de investimentos em tecnologias tem contribuído significativamente para aumentar a produtividade, destacando-se o aprimoramento genético para uma resposta mais eficaz à adubação, resultando em maior rendimento por área. Além disso, observa-se uma maior resistência a pragas e doenças, juntamente com a obtenção de grãos de elevada qualidade (Pinheiro *et al.*, 2021).

A utilização de tratamentos de sementes tem se popularizado devido aos notáveis benefícios que proporciona às culturas. Esses ganhos refletem positivamente no sistema radicular, promovendo um maior desenvolvimento que abrange uma área expandida para a absorção de nutrientes e água, conferindo à planta uma resistência acentuada em face de condições de déficit hídrico, como as encontradas no cultivo de milho safrinha.

Os bioestimulantes podem ser aplicados tanto no tratamento de sementes quanto no sulco de plantio, representando uma alternativa para auxiliar as plantas na superação de estresses abióticos. Esses produtos atuam no aumento hormonal e no aprimoramento do fator nutricional, conforme destacado por Amaro (2023). Além disso, diversos efeitos positivos no desenvolvimento e estabelecimento de várias

culturas de grande relevância agrícola foram mencionados por Oliveira *et al.* (2020), com destaque para o trigo.

A aplicação do ProGibb 400®, nas doses de 25, 50 e 75 mg por kg de sementes, promoveu um aumento significativo no comprimento e na massa seca da parte aérea durante as fases iniciais do desenvolvimento da cultura do milho. Houve diferenças notáveis na massa seca da parte aérea (MSPA) entre os tratamentos, destacando-se que os tratamentos com ProGibb 400® nas doses 1, 2 e 3 apresentaram médias superiores em relação aos demais. O emprego da giberelina (ProGibb 400®) no tratamento de sementes tem demonstrado resultados positivos, manifestando um incremento no comprimento e na massa fresca da parte aérea da cultura do milho, sem interferir na germinação das sementes (Buchelt *et al.*, 2019).

Entre as melhorias proporcionadas pelo tratamento de sementes na qualidade, destaca-se a formulação contendo giberelina, a qual estimula a síntese de enzimas responsáveis pela produção de açúcares simples, aminoácidos e ácidos nucleicos. Esse estímulo ocorre por meio da degradação das reservas armazenadas no endosperma da semente, conforme observado por Oliveira *et al.* (2020).

Os enraizadores, também empregados no tratamento de sementes, surgem como uma excelente alternativa para promover um desenvolvimento robusto, especialmente no caso do milho safrinha, enfrentando condições adversas como o estresse hídrico. Sua contribuição se reflete em diversos aspectos da cultura do milho, incluindo altura da planta, altura da primeira espiga, diâmetro do colmo, número de fileiras de grãos por espiga, número de grãos por fileira, comprimento e diâmetro da espiga, massa de mil grãos, e produtividade, conforme destacado por Martins (2022).

Diversos estudos destacam a atuação dos ácidos húmicos em distintos níveis de organização das plantas, abrangendo o metabolismo vegetal com benefícios na produção de flores, frutos e sementes (Baldotto, Baldotto, 2014). Além disso, pesquisas indicam influência nos processos de expressão gênica, bem como nos metabolismos primário e secundário (Nunes *et al.*, 2019).

Os efeitos mais frequentemente mencionados dos ácidos húmicos nas plantas estão associados ao sistema radicular, abrangendo a formação de raízes laterais e adventícias, o alongamento radicular e a geração de pelos radiculares. Esses fatores contribuem para o aumento da massa radicular e da área de contato das raízes,

resultando em uma maior capacidade de absorção de água e nutrientes pela planta (Olaetxea *et al.*, 2019).

Além de atuar diretamente na morfologia e fisiologia radicular, os ácidos húmicos exercem também uma influência indireta ao alterar a dinâmica microbiana na rizosfera. Isso ocorre devido ao estímulo da exsudação de ácidos orgânicos e açúcares pelas raízes. Assim, ao modificar o ambiente rizosférico, os ácidos húmicos interferem nas interações entre solo, microbiota e planta, promovendo mudanças na disponibilidade e assimilação de nutrientes pelas plantas (Canellas *et al.*, 2008).

Na cultura do café, tanto o ácido húmico quanto o fúlvico revelam um grande potencial, promovendo uma absorção aprimorada de nutrientes. Por exemplo, o teor de manganês nas folhas apresentou um aumento, destacando o potencial desses ácidos para incrementar a produtividade (Carneiro, 2022).

3 METODOLOGIA

O experimento foi conduzido na fazenda experimental do Centro Universitário Univértix, em Matipó-MG. A extração dos ácidos húmicos seguiu a recomendação da *International Humic Substances Society* (IHSS, 2017). O procedimento constituiu na agitação de amostras de esterco bovino (com grau de humificação estabilizado) com soluções de NaOH 0,1 mol L⁻¹. O material sobrenadante, contendo o material orgânico solúvel (substâncias húmicas), foi acidificado até atingir pH ~ 1,5 para a separação dos ácidos húmicos (precipitado). Os ácidos húmicos isolados tiveram o pH ajustado para ~ 7,0. Posteriormente, os teores de carbono foram determinados pelo método de Walkey Black. Os ácidos húmicos foram diluídos em água até atingirem uma concentração de 10 mmol L⁻¹ de carbono.

Foram avaliados cinco tratamentos com quatro repetições, sendo os tratamentos: (T1) testemunha, (T2) semente embebida em água por 8 horas; (T3) semente embebida em solução contendo 10 mmol L⁻¹ de carbono no AH por 8 horas, (T4) semente embebida em água por 8 horas com redução da umidade para 14%, (T5) semente embebida em solução contendo 10 mmol L⁻¹ de carbono no AH por 8 horas com redução da umidade para 14%).

A embebição das sementes foi realizada em copos plásticos, contendo 100ml de água destilada e 3ml de ácidos húmicos para os tratamentos III e V, enquanto os

tratamentos II e IV utilizaram 103ml de água destilada. Os tratamentos II e III foram imersos 8 horas antes da sementeira, enquanto os tratamentos IV e V foram imersos 16 horas antes da sementeira, seguido pela secagem para preparo para o plantio.

A secagem das sementes, pós imersão nas soluções (tratamentos IV e V), foi realizada em estufa de circulação forçada até atingirem umidade aproximada de 14 % em base seca, não excedendo a temperatura de 50° C de temperatura para não interferir no desenvolvimento do embrião.

O plantio foi realizado no dia 02 de junho de 2023, com a sementeira de 3 sementes (BM27PRO3-trangênico) por saco de polietileno, cada um medindo 30 cm por 15 cm. Os sacos foram transferidos para a casa de vegetação, seguindo um delineamento inteiramente casualizado (DIC). A primeira irrigação nos saquinhos foi realizada após o plantio. O adubo utilizado durante o plantio foi o 04-14-08, com a dose recomendada baseada na 5ª aproximação, sendo aplicados 10 gramas por saquinho.

O solo utilizado para o preenchimento dos sacos foi coletado no campo experimental e enviado ao laboratório para a realização de análises químicas e físicas. O objetivo dessas análises foi determinar o pH, os teores de macro e micronutrientes, a quantidade de matéria orgânica, além de avaliar a textura e o tipo de solo.

Tabela 1- Resumo da análise química do solo utilizado como substrato para avaliação de plântulas de milho em diferentes condições do ácido húmico e umidade.

pH	MO	P ¹	K	Ca ²	Mg	Al	H+Al	SB	T	V
H ₂ O	dag/kg	---mg/dm ³	--	-----	-----	-----	cmolc/dm ³	-----	-----	%
7,2	2,5	148,4	193	7,7	2,4	0,00	0,00	10,59	10,59	100
P ¹ K Extrator Mehlich 1										
Ca ² - Mg- Al- Extrator :KCL-1 mol/L										

Fonte: Análise laboratório de análise de solos localizado em Manhuaçu-MG, 2022.

Após a emergência das plantas, realizou-se o desbaste, deixando uma plântula por saquinho para condução do experimento. A irrigação dos sacos foi feita com um regador, ajustada conforme a demanda necessária para proporcionar as condições ideais de desenvolvimento, utilizando a capacidade de campo do solo de forma padronizada para garantir uma rega homogênea em todos os tratamentos.

No dia 05/07/2023, foram determinadas as seguintes variáveis: altura da planta, peso da matéria fresca da parte aérea e peso da matéria fresca da raiz. Após a

pesagem da massa da matéria fresca de cada parte das plantas, as amostras foram colocadas em sacos de papel identificados e transferidas para o micro-ondas, mantendo a potência máxima, até que estabilizasse a perda de umidade.

Posteriormente, ao retirar as amostras do micro-ondas, foram determinados os pesos da matéria da parte aérea (MSPA) e matéria seca da raiz (MSR). A soma de MSPA e MSR resultou na obtenção da matéria seca total.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o Sisvar, quando o teste F acusou diferenças entre as médias, aplicando o teste de Scott-Knott à 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância indicou a significância dos quadrados médios para as características de massa fresca radicular, massa seca da raiz, massa fresca aérea e massa seca aérea. No entanto, para as características de comprimento da raiz e altura, não foi observada significância nos quadrados médios. As estimativas dos coeficientes de variação revelaram alta precisão para as características de comprimento da raiz, altura, massa fresca aérea e massa seca aérea. Enquanto para as características de massa fresca radicular e massa seca da raiz, a precisão foi classificada como média, conforme apresentado na Tabela 2.

Para as características em que os tratamentos demonstraram significância, foram realizados testes de média (Tabela 4). Observa-se que, em relação à massa fresca aérea, o tratamento (T5) — semente embebida em ácido húmico com redução da umidade para 14% — apresentou desempenho superior em comparação com os demais tratamentos (Figura 1).

Na análise da característica de massa fresca aérea, o tratamento que se destacou com o melhor resultado foi aquele em que as sementes foram embebidas em solução contendo 10 mmol L⁻¹ de carbono nos ácidos húmicos por 8 horas, seguido pela redução da umidade para 14%. Este tratamento apresentou significância em comparação com os demais tratamentos, que estatisticamente, não apresentaram diferenças entre si.

Paiva (2020) destaca que o ácido húmico exerce, principalmente, seu estímulo no sistema radicular, influenciando conseqüentemente a parte aérea da planta.

Tabela 2 – Resumo da análise de variância das características comprimento do sistema radicular (CR), massa fresca aérea (MFA), massa seca aérea (MSA), altura (ALT), massa fresca radicular (MFR) e massa seca radicular (MFR) avaliadas nas plântulas de milho cujas sementes foram embebidas em ácido húmico e água conforme os tratamentos (T1) testemunha, (T2) semente embebida em água por 8 horas; (T3) semente embebida em solução contendo 10 mmol L⁻¹ de carbono no AH por 8 horas, (T4) semente embebida em água por 8 horas com redução da umidade para 14%, (T5) semente embebida em solução contendo 10 mmol L⁻¹ de carbono no AH por 8 horas com redução da umidade para 14%).
Fonte: Elaborado pelos autores.

	CR (cm)	MFR (g)	MSR (g)	ALT (cm)	MFA (g)	MSA (g)
Tratamento I	36,16 ^a	5,47 ^b	1,50 ^b	36,50 ^a	16,55 ^b	2,45 ^c
Tratamento II	43,37 ^a	5,37 ^b	1,60 ^b	35,37 ^a	15,97 ^b	2,07 ^c
Tratamento III	46,32 ^a	5,52 ^b	1,60 ^b	35,25 ^a	13,90 ^b	1,82 ^c
Tratamento IV	42,20 ^a	5,10 ^b	1,65 ^b	35,25 ^a	18,32 ^b	3,77 ^b
Tratamento V	52,00 ^a	10,20 ^a	3,30 ^a	39,12 ^a	24,07 ^a	5,07 ^a
Média	45,87	5,91	1,79	36,29	16,90	2,86

Tabela 3 – Teste de médias Scott Knott aplicado nas características comprimento do sistema radicular (CR), massa fresca aérea (MFA), massa seca radicular (MSR), altura (ALT), massa fresca aérea (MFA) e massa seca aérea (MSA) avaliadas nas plântulas de milho cujas sementes foram embebidas em ácido húmico e água conforme os tratamentos (T1) testemunha, (T2) semente embebida em água por 8 horas; (T3) semente embebida em solução contendo 10 mmol L⁻¹ de carbono no AH por 8 horas, (T4) semente embebida em água por 8 horas com redução da umidade para 14%, (T5) semente embebida em solução contendo 10 mmol L⁻¹ de carbono no AH por 8 horas com redução da umidade para 14%).

Quadrados Médios							
FV	GL	CR	MFR	MSR	ALT	MFA	MSA
Tratamentos	4	134,38 ^{ns}	18,78 [*]	2,36 [*]	11,08 ^{ns}	59,75 [*]	7,44 [*]
Resíduo	15	25,06	2,12	0,25	12,54	3,18	0,10
CV (%)		11,37	23,01	26,03	9,76	10,4	10,57
Média		44,01	6,33	1,93	36,30	17,77	3,04

Fonte: Elaborado pelos autores.

No que diz respeito à característica de massa seca aérea, a secagem a 14% após a imersão em solução contendo ácidos húmicos 10 mmol/L-1 de C (T5), apresentou um desempenho superior, atingindo um valor 50% maior em comparação com a testemunha (T1). A imersão da semente em água por 8 horas (T2), a imersão por 8 horas em solução contendo ácidos húmicos 10 mmol/L-1 de C (T3) e a testemunha demonstraram valores inferiores, sendo estatisticamente iguais entre si (ver Figura 2). A secagem a 14%, após a imersão em água por 8 horas (T4), ficou em uma posição intermediária, apresentando valores superiores em relação aos

mencionados anteriormente, porém ainda inferior estatística quando comparada ao tratamento (T5) (Figura 2).

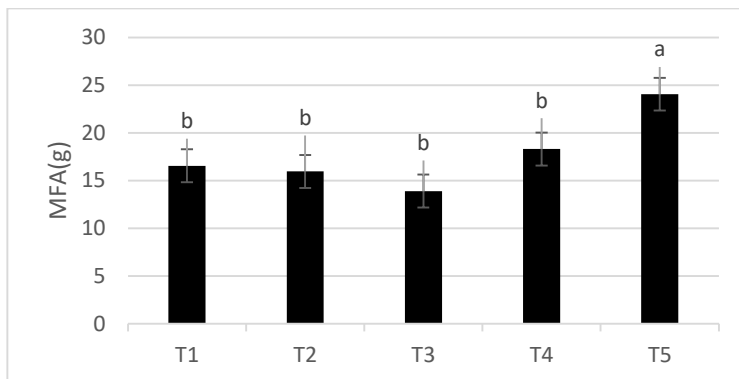


Figura 1 – Médias da característica massa fresca aérea (MFA) avaliada nas plântulas de milho cultivadas cujas sementes foram embebidas em ácido húmico e água conforme os tratamentos (T1) testemunha, (T2) semente embebida em água por 8 horas; (T3) semente embebida em solução contendo 10 mmol L⁻¹ de carbono no AH por 8 horas, (T4) semente embebida em água por 8 horas com redução da umidade para 14%, (T5) semente embebida em solução contendo 10 mmol L⁻¹ de carbono no AH por 8 horas com redução da umidade para 14%). As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

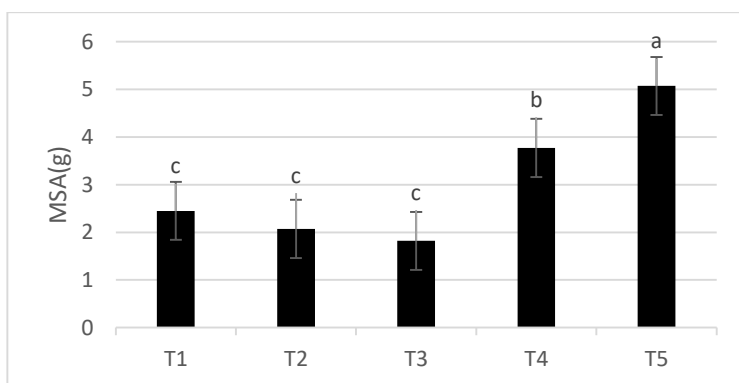


Figura 2 – Médias da característica massa seca aérea (MSA) avaliada nas plântulas de milho cultivadas cujas sementes foram embebidas em ácido húmico e água conforme os tratamentos (T1) testemunha, (T2) semente embebida em água por 8 horas; (T3) semente embebida em solução contendo 10 mmol L⁻¹ de carbono no AH por 8 horas, (T4) semente embebida em água por 8 horas com redução da umidade para 14%, (T5) semente embebida em solução contendo 10 mmol L⁻¹ de carbono no AH por 8 horas com redução da umidade para 14%). As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Na análise da característica de massa fresca radicular, os tratamentos T1 (testemunha), T2 (semente embebida em água), T3 (semente embebida em ácido húmico) e T4 (semente embebida em água com redução da umidade para 14%) não apresentaram diferenças estatísticas entre si. No entanto, todos esses tratamentos demonstraram uma redução de 50% na massa fresca radicular quando comparados

ao tratamento T5 (semente embebida em ácido húmico com redução da umidade para 14%), que se destacou.

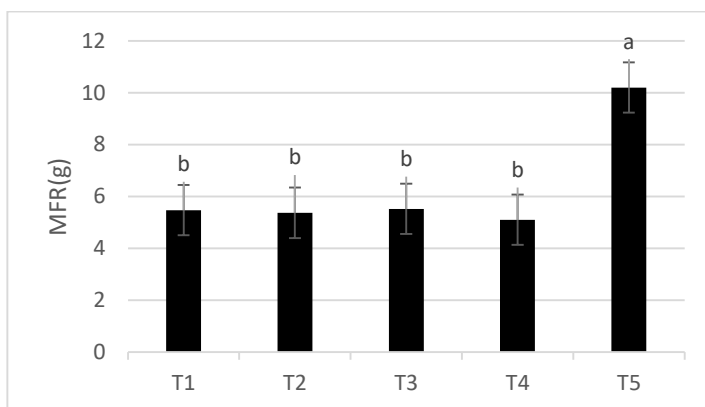


Figura 3 – Médias da característica massa fresca radicular (MFR) avaliada nas plântulas de milho cultivadas cujas sementes foram embebidas em ácido húmico e água conforme os tratamentos (T1) testemunha, (T2) semente embebida em água por 8 horas; (T3) semente embebida em solução contendo 10 mmol L^{-1} de carbono no AH por 8 horas, (T4) semente embebida em água por 8 horas com redução da umidade para 14%, (T5) semente embebida em solução contendo 10 mmol L^{-1} de carbono no AH por 8 horas com redução da umidade para 14%). As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

A característica de massa seca radicular das plantas desempenha um papel fundamental na sustentação e absorção de nutrientes e água. Ao analisar o gráfico (Figura 4), observamos um resultado superior para o tratamento em que as sementes foram embebidas em ácido húmico com redução da umidade para 14% (T5). Os demais tratamentos apresentaram valores muito próximos e não mostraram diferenças estatísticas entre si.

No estudo conduzido por Zandonadi (2006), o uso de diferentes fontes de ácidos húmicos e auxina em três concentrações resultou em um aumento significativo de 244% na massa fresca das raízes em comparação com a testemunha. Mesmo os tratamentos com doses menores de auxina foram quatro vezes superiores à testemunha. Os pesquisadores concluíram que o aumento da área abrangida pelo sistema radicular das plantas favorece a resistência delas à seca, pois as raízes conseguem alcançar mais água, resultando em maior absorção de nutrientes na solução do solo.

Os ácidos húmicos desempenham uma função significativa na morfologia das raízes, promovendo maior biomassa e tamanho, além do desenvolvimento de pelos radiculares e raízes finas. Essas estruturas são responsáveis pela maior parte da

absorção de nutrientes, permitindo que a planta explore de maneira mais eficiente o perfil do solo e aumente sua resistência a déficits hídricos. Além disso, os ácidos húmicos têm um papel estimulante na H⁺ATPase da membrana plasmática, influenciando o transporte de íons e, conseqüentemente, favorecendo a absorção de nutrientes. Esse estímulo também interfere no conteúdo de clorofila, potencializando a eficiência da fotossíntese (Paiva, 2020).

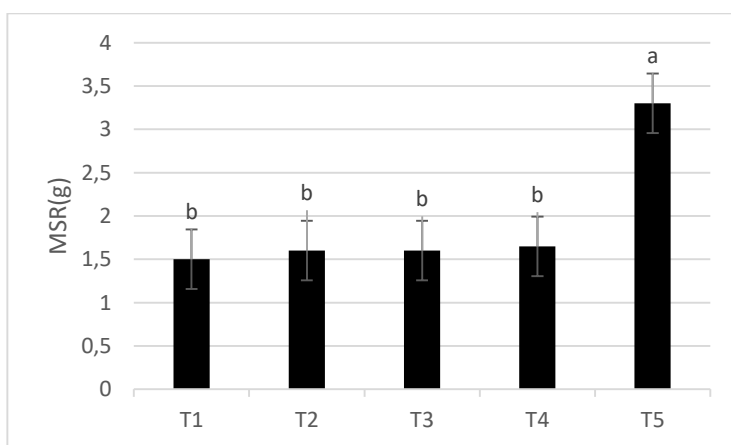


Figura 4 – Média da característica massa seca radicular (MSR) avaliada nas plântulas de milho cultivadas cujas sementes foram embebidas em ácido húmico e água conforme os tratamentos (T1) testemunha, (T2) semente embebida em água por 8 horas; (T3) semente embebida em solução contendo 10 mmol L⁻¹ de carbono no AH por 8 horas, (T4) semente embebida em água por 8 horas com redução da umidade para 14%, (T5) semente embebida em solução contendo 10 mmol L⁻¹ de carbono no AH por 8 horas com redução da umidade para 14%). As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Diversos estudos evidenciam que o tratamento de sementes com ácidos húmicos resulta em um maior crescimento das plantas. Por exemplo, no feijão, Carvalho *et al.* (2023) observaram um aumento no número de vagens por planta e no número de grãos por vagem com o tratamento de ácido húmico. No caso do milho, Melo *et al.* (2015) e Baldotto *et al.* (2016) constataram um crescimento inicial significativo após a embebição das sementes em uma solução contendo ácidos húmicos por 16 horas. Esses efeitos foram posteriormente reproduzidos por Baldotto *et al.* (2019) em um ensaio de campo, embora sem a secagem das sementes após a embebição.

Batista *et al.* (2018), na cultura do milho, os ácidos húmicos e fúlvicos não demonstraram intervenção significativa no rendimento, produtividade e características morfológicas da planta. No estudo de Bernardes e Orioli Júnior (2018) no milho,

observou-se um aumento na massa fresca da parte aérea com o uso de substâncias húmicas, enquanto a massa seca da parte aérea teve um decréscimo, embora ambos os resultados não tenham apresentado diferenças estatisticamente significantes. Isso ressalta a importância de considerar diversos critérios ao utilizar ácidos húmicos, uma vez que esses fatores podem interferir em sua eficácia.

Nesse contexto, consideremos que a secagem das sementes após a embebição contendo ácido húmico pode ter potencializado o tratamento, resultando em desempenho superior em relação às características de massa fresca e seca aérea, assim como massa fresca e seca radicular. A elevação da temperatura durante esse processo pode ter estimulado processos enzimáticos na planta, otimizando os efeitos benéficos do ácido húmico no desenvolvimento do milho.

Recomenda-se a realização de estudos que visem a identificar a época, a forma e a quantidade ideal da substância a ser utilizada, a fim de otimizar sua aplicação.

Entretanto, ainda não existem trabalhos que avaliem a produtividade do milho após a secagem das sementes imersas em solução contendo ácidos húmicos. Sugerimos, portanto, a condução de testes a campo, considerando que obtivemos resultados positivos no desenvolvimento inicial do milho e uma resposta favorável na secagem das sementes após a embebição com ácidos húmicos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tratamento T5 — que consistiu na imersão da semente em solução contendo 10 mmol L⁻¹ de carbono no ácido húmico por 8 horas, com subsequente redução da umidade para 14% — destacou-se como superior aos demais tratamentos para as características de massa fresca e massa seca tanto da parte aérea quanto da raiz. Os demais tratamentos não apresentaram efeito significativo, mantendo resultados estatisticamente equivalentes entre si e em relação à testemunha. O tratamento T4 foi superior aos tratamentos T2, T3 e à testemunha em relação à massa seca aérea.

Sugere-se a condução de novos estudos que explorem a aplicação das substâncias húmicas, especialmente em condições de campo, considerando doses escalonadas de adubação e também outros tratamentos de sementes como inoculação com microrganismos.

REFERÊNCIAS

AMARO, H. T. R.; FERNANDES, H. M. F.; ALMEIDA, P. M. A.; PORTO, E. M. V.; DAVID, A. M. S. S. **Tratamento de sementes com bioestimulante e disponibilidade hídrica no desenvolvimento inicial do milho.** *Magistra*, Cruz das Almas – BA, v. 33, 2023.

ARTUZO, D. F.; FOGUESATTO, C. R.; MACHADO, J. A. D.; OLIVEIRA, L.; SOUZA, A. R. L. **O potencial produtivo brasileiro: uma análise histórica da produção de milho.** *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, Maringá (PR). DOI: 10.17765/2176-9168.2019v12n2p515-540.

BALDOTTO, Maribus Altoé; BALDOTTO, Lílian Estrela Borges. **Ácidos Húmicos.** *Revista Ceres*, Viçosa, v. 61, p. 856–881, 2014. DOI: 10.1590/0034-737X201461000011.

BALDOTTO, Maribus Altoé; DE MELO, Raphael Oliveira; BORGES BALDOTTO, Lílian Estrela. **Field corn yield in response to humic acids application in the absence or presence of liming and mineral fertilization.** *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 40, n. 6, p. 3299–3304, 2019. DOI: 10.5433/1679-0359.2019v40n6Supl2p3299.

BALDOTTO, Maribus Altoé; MELO, Raphael Oliveira; BALDOTTO, Lílian Borges. **Initial development of maize in response to different periods of seed immersion in humic acid (HA).** *Australian Journal of Crop Science*, Lismore, v. 15, n. 10, p. 1259–1262, 2021. DOI: 10.21475/ajcs.21.15.10. p3148.

Baldotto, M. A.; Baldotto, L. E. B. **Solos e nutrição de plantas.** *Rv. Ceres* 61 (suppl). Dez 2014. <http://www.sielo.br/j/rceres/a/94wksVHhCDcDxkVdyqb4Pqw/>.

BATISTA, V.; ADAMI, P.; FERREIRA, M.; GIACOMEL, C.; SILVA, J.; OLIGINI, K. **HUMIC/FULVIC ACID AND NITROGEN IN THE CORN CROP YIELD.** *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, Tup, v. 12, n. 3, p. 257–267, 2018. DOI: 10.18011/bioeng2018v12n3p257-267. Disponível em: <http://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/690>. Acesso em: 13 nov. 2023.

BERNARDES, J. V. S.; ORLONI JÚNIOR, V. **Efeito residual de fertilizantes fosfatados associados a substâncias húmicas na cultura do milho.** *Anais do Seminário de Pesquisa e Inovação Tecnológica-SEPIT*, v. 2, n. 1, 2018

BUHELDT, A. C.; METZLER, C. R.; CASTIGLIONI, J. L.; DASSOLLER, T. F.; LUBIAN, M. S. **APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTES E Bacillus subtilis NA GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO INICIAL DA CULTURA DO MILHO.** *REVISTA DE AGRICULTURA NEOTROPICAL*, [S. l.], v. 6, n. 4, p. 69–74, 2019. DOI: 10.32404/rean.v6i4.2762. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/2762>. Acesso em: 26 abril. 2023.

CANELLAS, Luciano P *et al.* Bioactivity and chemical characteristics of humic acids from tropical soils sequence. **Soil Science**, [S. l.], v. 173, n. 9, p. 624–637, 2008. DOI: 10.1097/SS.0b013e3181847ebf.

CANELLAS, Luciano P.; OLIVARES, Fábio L. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 1–11, 2014. DOI: 10.1186/2196-5641-1-3.

CARNEIRO, V.P. **aplicação de ácidos húmicos e fúlvicos em lavoura cafeeira no município de monte carmelo**. Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo. 20 P. Julho. 2022

CARON, V.C.; GRAÇAS, J.P.; CASTRO, P.R.C. **Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2015.

CARVALHO, D. D.C; GUIMARÃES, M.G.; BARBOZA, M. E. S.; DE FREITAS, R. J. .; RODRIGUES, F. . Produtividade de feijão comum cv. Pérola pelo emprego de ácidos húmicos no tratamento de sementes. **Scientific Electronic Archives**, [S. l.], v. 16, n. 11, 2023. DOI: 10.36560/161120231806. Disponível em: <https://sea.ufr.edu.br/SEA/article/view/1806>. Acesso em: 5 nov. 2023

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: Nono levantamento, junho 2013 – safra 2012/2013. : Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento.**

CONTINI. E, Mota.M.M, Marra.R, Borghi.E, Rubens Augusto de Miranda.R.A, Silva.A.F , Silva.D.D , Machado.J.R.A, Cota.L.V , Costa.R.V, Mendes.S.M. **Milho: Caracterização e Desafios Tecnológicos**. Brasília: Embrapa. (Desafios do Agronegócio Brasileiro, 2), 2019.

CORREA, O.S.; ROMERO, A.M.; SORIA, M.A.; DE ESTRADA, M. Azospirillum brasilense-plant genotype interactions modify tomato response to bacterial diseases, and root and foliar microbial communities. In: CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (Ed.) **Azospirillum sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina**. Argentina: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. p.87-95.

DARÓS, R. Cultura do milho manual de recomendações técnicas. 11f. **AGRAER- Agência Regional de Dourados**. Dourados, MS, 2015.

DE MELO, Raphael Oliveira; BALDOTTO, Marihus Altoé; BALDOTTO, Lílian Estrela Borges. Corn initial vigor in response to humic acids from bovine manure and poultry litter. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 3, p. 1863–1874, 2015. DOI: 10.5433/1679-0359.2015v36n3Supl1p1863.

DIAS, A. de C.; DE OLIVEIRA, D. A. M.; CALDANA, C. R. G. GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE ESPÉCIES DE IPÊS COM APLICAÇÃO DE ÁCIDO HÚMICO E

FÚLVICO. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, [S. l.], p. 22–29, 2023. DOI: 10.51189/integrar/rema/3674. Disponível em: <https://www.editoraintegrar.com.br/publish/index.php/rema/article/view/3674>. Acesso em: 6 abr. 2023.

EYHERAGUIBEL, B.; SILVESTRE, J.; MORARD, P. Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. **Bioresource Technology**, [S. l.], v. 99, n. 10, p. 4206–4212, 2008. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.08.082.

FRANCHE, C. et al. Nitrogen-fixing bacteria associated with leguminous and non-leguminous plants. *Plant and Soil*, v. 321, p.35–59, 2009
Grosso. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, v.9, n.1, e184911915, 2020(CC POR 4.0) | versão impressa ISSN 2525-3409 - português | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rs>.

HUERGO, L.F.; MONTEIRO, R.A.; BONATTO, A.C.; RIGO, L.U.; STEFFENS, M.B.R.; CRUZ, L.M.; CHUBATSU, L.S.; SOUZA, E.M.; PEDROSA, F.O. Regulation of nitrogen fixation in *Azospirillum brasilense*. In: CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. **Azospirillum sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina**. Asociación Argentina de Microbiología, Argentina, 2008. p.17-35

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C. A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. **Portal Embrapa**. Londrina: 2007. 80p. (Embrapa Soja. Documentos, 283). (ISSN 1516- 781X; N 283)

HUNGRIA, Mariângela Inoculação com *Azospirillum* brasiliense: inovação em rendimento a baixo custo / Mariângela Hungria. – Londrina: Embrapa Soja, 2011. 36p. – (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 1516-781X; n.325)
International Humic Substances Society (IHSS) (2017). **Natural Organic Matter Research. Isolation of IHSS Samples**.

LANA, A.M.Q.; LANA, R.M.Q.; GOZUEN, C.F.; BONOTTO, I.; TREVISAN, L.R. **Aplicação de reguladores de crescimento na cultura do feijoeiro**. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v.25, n.1, p.13-20, 2009.

MADUREIRA, Alana. **Teor de lignina em sementes e legumes de soja: relação com a deterioração por umidade, deiscência e análise da expressão gênica**. 102 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2021.

MARTINS, Marcos Mota. **Tratamento de sementes com enraizadores em híbridos de milho**. 2022. 10 f. Trabalho de conclusão de curso de Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, 2022.

MIRANDA, R.A; DURÃES, F.O.M; PARENTONI, J.C.G.S; PURCINO, D.P.S.A.A.C; ALVES, F. **Supersafra de milho e o papel da tecnologia no aumento da produção.** Política agrícola. Ano XXVIII – No 2 – abr./maio/jun. 2019

MUSCOLO, A.; SIDARI, M.; NARDI, S. Humic substance: Relationship between structure and activity. deeper information suggests univocal findings. **Journal of Geochemical Exploration**, [S. l.], v. 129, p. 57–63, 2013. DOI: 10.1016/j.gexplo.2012.10.012.

NANNIPIERI, P.; MUCCINI, L.; CIARDI, C. Microbial biomass, and enzyme activities: Production and persistence. **Soil Biology and Biochemistry**, [S. l.], v. 15, n. 6, p. 679–685, 1983. DOI: 10.1016/0038-0717(83)90032-9.

NUNES, F.S. et al. **Fixação de nitrogênio: estrutura, função e modelagem bioinorgânica das nitrogenases.** Química Nova, v. 26, n. 6, p.872-879, 2003.

NUNES, Rosane Oliveira. *et al.* Evaluation of the effects of humic acids on maize root architecture by label-free proteomics analysis. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 1–11, 2019. DOI: 10.1038/s41598-019-48509-2.

OLAETXEA, Maite. *et al.* Root ABA and H⁺-ATPase are key players in the root and shoot growth-promoting action of humic acids. **Plant Direct**, [S. l.], v. 3, n. 10, p. 1–12, 2019. DOI: 10.1002/pld3.175.

OLIVEIRA, S. de; LEMES, E.; NEVES, E.; RITTER, R.; DE MENDONÇA, A.; MENEGHELLO, G. Uso de biorregulador e seus reflexos na produção e na qualidade de sementes de trigo. **Scientia Plena**, [S. l.], v. 16, n. 1, 2020. DOI: 10.14808/sci.plena.2020.011501. Disponível em: <https://scientiaplena.emnuvens.com.br/sp/article/view/4995>. Acesso em: 5 abr. 2023.

PAIVA, M. J. A. **Ação e modo de aplicação dos ácidos húmicos e fúlvicos sobre características morfológicas e fisiológicas de milho.** Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa. 2020. pág. 47.

PINHEIRO, L. S.; GATTI, V. C. M.; OLIVEIRA, J. T.; SILVA, J. N.; SILVA, V. F. A.; SILVA, P. A. **Características agro econômicas do milho:** uma revisão. Natural Resources, v.11, n.2, p.13-21, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2021.002.0003>

RIBEIRO AMARO, H. T.; MARLON FERREIRA FERNANDES, H. .; MANOEL ALVES DE ALMEIDA, P. .; MARCOS VIANA PORTO, E.; MÁRCIA SANTOS DE SOUZA DAVID, A. Tratamento de sementes com bioestimulante e disponibilidade hídrica no desenvolvimento inicial do milho . **MAGISTRA**, [S. l.], v. 33, n. Fluxo contínuo, 2023. Disponível em: <https://www3.ufrb.edu.br/magistra/index.php/magistra/article/view/1037>. Acesso em: 5 abr. 2023.

SANTOS, Liliani Luizi Pinheiro dos; OHSE, Silvana. **Modos de aplicação de zinco em genótipos de milho**. Campo Digit@I: Rev. Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias, v. 15, n. 1, p.35-49, jul./dez., 2020 ISSN:1981-092X.

SILVA.R.B.Z; SILVA. R.N.Z; AIRES.F. F.C; SOARES. E.J.O.**Uso de modelos de séries temporais para previsões de safras de milho no estado de Mato**

TEALE, William D.; PAPONOV, Ivan A.; PALME, Klaus. Auxin in action: Signalling, transport and the control of plant growth and development. **Nature Reviews Molecular Cell Biology**, [S. l.], v. 7, n. 11, p. 847–859, 2006. DOI: 10.1038/nrm2020.

TIEN, T.M.; GASKINS, M.H.; HUBBELL, D.H. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). **Applied and Environmental Microbiology**, v.37, p.1016-1024, 1979.

TREVISAN, S. *et al.* Humic substances induce lateral root formation and expression of the early auxin-responsive IAA19 gene and DR5 synthetic element in *Arabidopsis*. **Plant Biology**, [S. l.], v. 12, n. 4, p. 604–614, 2010. DOI: 10.1111/j.1438-8677.2009.00248.x.

VENANCIO, Luan Peroni. *et al.* Forecasting corn yield at the farm level in Brazil based on the FAO-66 approach and soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Agricultural Water Management**, [S. l.], v. 225, p. 105779, 2019. DOI: 10.1016/j.agwat.2019.105779.

ZANDONADI, D. B. **Bioatividade de substâncias húmicas: promoção do desenvolvimento radicular e atividade das bombas de H⁺**; Tese CCTA UENF, Campos dos Goytacazes - RJ. 2006