



## Alterações morfofisiológicas em plantas de arroz e milho ocasionadas pelo *Trichoderma asperellum*

Aloisio Freitas Chagas Junior<sup>a\*</sup>, Lisandra Lima Luz<sup>a</sup>, Albert Lennon Lima Martins<sup>b</sup>, Adriano Sérgio Bernardo Queiroz<sup>b</sup>, Lillian Franca Borges Chagas<sup>a</sup>, Marcos Giongo<sup>a</sup>, Augustus César Franke Portella<sup>a</sup>, Gessiel Scheidt<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidade de Rio Verde, Brasil

<sup>b</sup> Universidade Estadual do Tocantins

\* Autor correspondente ([chagasjraf@uft.edu.br](mailto:chagasjraf@uft.edu.br))

### INFO

#### Keywords

*Oryza sativa*

*Zea mays*

fungi

growth promotion

microorganism

### ABSTRACT

#### *Morphophysiological changes in rice and corn crops caused by Trichoderma asperellum*

Brazilian agricultural production is considered one of the largest in the world, due to its territorial size and its potential to produce grain. *Trichoderma* spp. is one of the most researched fungi in Brazil, because it occurs naturally in practically all types of soils, and because it has its own versatility of action, being able to act as a plant growth promoter. Therefore, the objective was to evaluate the efficiency of inoculation of the isolate UFT-201 as a growth promoter in corn and rice under greenhouse conditions. The experiment was conducted at the experimental station of the Federal University of Tocantins (UFT) - University Campus of Gurupi. The treatments consisted of five doses of the inoculant (0, 3, 6, 9, 12 g kg<sup>-1</sup>), mixed with the seed at the time of sowing. The strain used was obtained from the Laboratory of Applied Agromicrobiology and Biotechnology of the Federal University of Tocantins. The inoculant used was prepared in solid fermentation using rice as substrate. Morphological (height, root volume, dry mass) and physiological characteristics (photosynthetic pigments and gas exchange) were evaluated at 30 and 45 days after sowing. The fungus *Trichoderma asperellum* UFT-201 inoculated via seed increased the root volume and biomass of corn and rice plants at a dose of 6 g kg<sup>-1</sup> of seeds. The gain in crop biomass is related to physiological changes in crops promoted by inoculation and doses above 12 g kg<sup>-1</sup> of seeds can reduce the initial development of crops, especially for rice.

### RESUMO

A produção agrícola brasileira é considerada uma das maiores do mundo, devido ao seu tamanho territorial e o seu potencial em produzir grãos. *Trichoderma* spp. é um dos fungos mais pesquisados no Brasil, pois tem ocorrência natural em praticamente todos os tipos de solos, e por possuir uma versatilidade de ação próprias, podendo atuar como promotor de crescimento vegetal. Diante disso, objetivou-se avaliar a eficiência da inoculação do isolado UFT-201 como promotor de crescimento nas culturas do milho e arroz em casa de vegetação. O experimento foi conduzido na estação experimental da Universidade Federal do Tocantins (UFT) - Campus Universitário de Gurupi. Os tratamentos consistiram em cinco doses do inoculante (0, 3, 6, 9, 12 g kg<sup>-1</sup>), misturados à semente no momento da semeadura. A cepa utilizada foi obtida no Laboratório de Agromicrobiologia Aplicada e Biotecnologia da Universidade Federal do Tocantins. O inoculante utilizado foi preparado em fermentação sólida utilizando arroz como substrato. Foram avaliadas características morfológicas (altura, volume de raiz, massa seca) e fisiológicas (pigmentos fotossintéticos e trocas gasosas) aos 30 e 45 dias após a semeadura. O fungo *Trichoderma asperellum* UFT-201 inoculado via semente aumentou o volume radicular e a biomassa das plantas de milho e arroz na dose de 6 g kg<sup>-1</sup> de sementes. O ganho em biomassa das culturas está relacionado com alterações fisiológicas nas culturas promovido pela inoculação e doses acima de 12 g kg<sup>-1</sup> de sementes podem reduzir o desenvolvimento inicial das culturas, principalmente para arroz.

### Palavras-chaves

*Oryza sativa*

*Zea mays*

fungos

promoção de crescimento

microrganismo

Received 28 October 2021; Received in revised from 06 Dezember 2022; Accepted 09 Dezember 2022



## INTRODUÇÃO

A produção agrícola brasileira é considerada uma das maiores do mundo, devido ao tamanho territorial do país e o seu potencial em produzir de grãos. A produção de milho (*Zea mays*) é destinada a comercialização de grãos, que são utilizados para alimentação humana e animal, e também, para a produção de silagem, que consiste em um processo fermentativo, utilizado na alimentação animal no período de seca. Dessa forma, na produção de milho deve ser levada em conta o grão e matéria seca, assim, estimulando a geração e adoção de técnicas de produção que a viabilizem (Pinto et al., 2010; Silva et al., 2017). O arroz (*Oryza sativa*) é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo, caracterizando-se como principal alimento para mais da metade da população mundial. Sua importância é destacada principalmente em países em desenvolvimento, tais como o Brasil, desempenhando papel estratégico em níveis econômico e social (Walte et al., 2008).

Diante do cenário atual, onde o Brasil tem como sua principal economia a agricultura, procura-se alternativas para aumentar a produção agrícola das principais culturas, como soja e milho, além da produção de alimentos saudáveis. O uso de técnicas de produção viáveis, como a produção de inoculantes à base de microrganismos benéficos, que ajudam na promoção de crescimento vegetal, é de grande importância para a agricultura, sendo medidas inovadoras para se alcançar uma agricultura sustentável e aumentar a produção agrícola (Machado et al., 2012). Recentemente, profissionais da área e setores comerciais têm demonstrado grande interesse no desenvolvimento de estratégias ecológicas e econômicas para o manejo de doenças em plantas (Panth, 2020).

*Trichoderma* spp. é um dos fungos mais pesquisados no Brasil, pois tem ocorrência natural em praticamente todos os tipos de solos, e por possuir uma versatilidade de ação próprias, como parasitismo, antibiose e competição, além da produção de fitormônios a exemplo do AIA, e sua capacidade de solubilização de fosfatos, (Oliveira e Chagas, 2012; Ribas e Rech, 2016) dessa forma podendo atuar como promotor de crescimento vegetal e indutor de resistência de plantas às doenças. O fungo já vem sendo utilizado em estudos para promoção de crescimento em plantas de soja, feijão caupi, milho e arroz (Chagas et al., 2017; Gonçalves et al., 2018).

Bioprodutos a base de *Trichoderma* spp. são comercializados em vários países ao redor do mundo (Bettiol et al., 2012). No Brasil, sua aplicação pelos agricultores ainda é limitada devido à pouca disponibilidade de bioformulações devidamente registradas no Ministério da

Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) combinada com a falta de identificação de novos isolados com potencial de biocontrole e falta de informação sobre os benefícios do uso desses agentes (Machado et al., 2012).

Assim, a prospecção de novos isolados é a etapa primária no processo de desenvolvimento de produtos biológicos e, posteriormente, a formulação de produtos. Com isso, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito da inoculação de sementes com diferentes doses de *Trichoderma asperellum* UFT-201 na cultura do milho e arroz e determinar as principais alterações sobre a morfofisiologia das culturas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na estação experimental da Universidade Federal do Tocantins (UFT) - Campus Universitário de Gurupi, localizada na região sul do estado Tocantins (11°43'45" S, 49°04'07" W, 278 m de altitude). A classificação climática segundo Köppen (1948), é do tipo B1WA'a' úmido com moderada deficiência hídrica, tendo a temperatura média anual de 29,5 °C, com precipitação média anual de 1.688 mm, caracterizada por um inverno seco e um verão chuvoso (Alvares et al., 2013).

O experimento foi conduzido com plantas de milho e arroz. Os tratamentos consistiram em cinco doses do inoculante (0, 3, 6, 9, 12 g kg<sup>-1</sup> de semente), misturados no momento da semeadura. Foram semeadas cinco sementes de milho e 10 de arroz por vaso, com desbaste aos 15 dias após a semeadura (DAS), deixando-se duas plantas de milho e cinco de arroz em cada.

A cepa utilizada foi obtida no Laboratório de Agromicrobiologia Aplicada e Biotecnologia da Universidade Federal do Tocantins (UFT/PPGPV). O fungo foi repicado em meio de cultura BDA (batata, dextrose e ágar - Himedia, Índia) em placas de petri e incubados a temperatura de 25 °C ± 2 °C com fotoperíodo de 12 horas, por sete dias, período determinado para o crescimento das colônias de *Trichoderma asperellum* UFT-201.

O inoculante utilizado foi preparado em fermentação sólida utilizando arroz como substrato, conforme metodologia descrita por Chagas et al. (2017). Sacos de polipropileno contendo 300 g do arroz e 300 mL de água destilada foram autoclavados a 121 °C, por 1 hora. Após o resfriamento, o arroz foi inoculado com seis discos de 5 mm de diâmetro de cada isolado, separadamente, contendo micélios e esporos de *Trichoderma* sp. e meio BDA e incubados em câmara de crescimento tipo B.O.D. com temperatura de 25 °C ± 2 °C e fotoperíodo de 12

horas por sete dias. A cada dois dias, o substrato contendo arroz foi revolvido, para facilitar a troca gasosa, quebra dos agregados miceliais e aumento da esporulação.

A concentração de *Trichoderma* foi determinada pelo método de diluição em série através da quantificação de Unidades Formadoras de Colônias (UFC), onde foi determinado utilizando-se 1 g de arroz em 10 mL de água esterilizada, seguida de agitação por 1 min no vortex, em seguida feitas as diluições, utilizando 900  $\mu\text{L}$  de solução salina e 100

$\mu\text{L}$  da mistura anterior, em seguida plaqueamento das diluições  $10^4$  e  $10^6$  em placa de petri contendo meio BDA.

O milho híbrido AG8088PRO2 e o arroz IRGA431 foram cultivados em vasos plásticos contendo 4 e 10  $\text{dm}^3$  de Latossolo Vermelho Amarelo, coletado da camada de 0-20 cm, que apresentava as seguintes características química e textural (Teixeira et al., 2017) (Tabela 1).

Tabela 1 - Análise química e textura do solo utilizado no experimento.

Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB <sup>2</sup>	CTC(T) <sup>1</sup>	V <sup>4</sup>	m <sup>5</sup>	MO <sup>6</sup>	pH	
..... cmolc dm <sup>-3</sup> .....						..... (%) .....		CaCl <sub>2</sub>		
1,2	0,6	0,0	2,2	1,87	4,07	46	0	1,6	5,6	
P	K						Silte		Argila	Areia
..... mg dm <sup>-3</sup> .....						..... g kg <sup>-1</sup> .....				
1,9	29,0						50		475	475

<sup>1</sup>CTC total; <sup>2</sup>Soma de bases; <sup>3</sup>CTC efetiva; <sup>4</sup>Saturação por base; <sup>5</sup>Saturação por alumínio; <sup>6</sup>Materia orgânica.

As avaliações agronômicas e fisiológicas foram realizadas aos 30 e 45 dias após a semeadura (DAS). Para as características morfológicas, determinou-se: altura das plantas (ALT), com auxílio de régua graduada em centímetro, foram tomadas medidas do solo ao ápice das folhas. A massa natural da parte aérea e da raiz (MN) foi mensurada em balança antes das folhas perderem turgescência. Foi determinado o volume de raiz (VR) com o auxílio de uma proveta graduada em mL.

Em seguida, os componentes morfológicos foram separados: folha, caule e raiz e as amostras foram transferidas para estufa com circulação forçada a ar à 55 °C por 72 horas ou até obterem peso constante. Posteriormente, foram pesadas em balança semi-analítica (0,001 g), obtendo: massa seca da raiz (MSR, g), massa seca das folhas (MSF, g) e massa seca do caule (MSC, g). Com somatório de ambas as partes morfológicas obteve-se a massa seca total (MST, g) das plântulas.

Já para as avaliações fisiológicas, foram quantificados os pigmentos fotossintéticos através de leituras na parte central do limbo foliar, em folhas completamente expandidas, com o auxílio de um clorofilômetro ClorofiLOG<sup>®</sup> modelo CFL 1030. O equipamento fornece resultados em unidades adimensionais, valores ICF (Índice de Clorofila Falker) da clorofila a (Clo.a), b (Clo.b) e total (Clo.Total) (Falker, 2008).

As trocas gasosas foram analisadas com equipamento de sistema aberto de fotossíntese com analisador de CO<sub>2</sub> e vapor d'água por radiação infravermelha (*Infra Red Gas Analyser* – IRGA, modelo LCiSD, da ADC System, UK). No período

das 9 às 11 a.m. sempre em dia ensolarado, em folhas totalmente expandidas. Os parâmetros fisiológicos analisados foram: taxa de assimilação CO<sub>2</sub>.

( $A$  -  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), transpiração ( $E$  -  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$  -  $\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e concentração de CO<sub>2</sub> intercelular ( $CI$  -  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ ar}$ ) sob irradiância média de 1100  $\mu\text{mol de fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e concentração externa de CO<sub>2</sub> de 400  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ . Além disso, a eficiência do uso da água (EUA -  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ ) foi determinada pela razão  $A/E$ , conforme descrito por Zhang et al. (2001).

Quatro variáveis dos experimentos (ALT, VR, MSF, MST) foram avaliadas por análise de variância (ANOVA), e os modelos de regressões polinomiais foram ajustados conforme o nível de significância ( $p \leq 0,05$ ). Em seguida, todo o conjunto de dados foram submetidos à análise multivariada utilizando a técnica de componentes principais (PCA - *Principal Component Analysis*) (Hair et al., 2009). Os autovetores foram utilizados para avaliar a importância de cada variável e tratamentos nos dois primeiros componentes, bem como a relação entre as variáveis, sendo que esses valores funcionaram como coeficientes de correlação (Gomes et al., 2004).

Todas as análises e gráficos foram realizados no software R versão 4.0 (Team, 2020), utilizando os pacotes *MASS* (Venables e Ripley, 2020), *ExpDes.pt* (Ferreira et al., 2018), *FactoMineR* (Husson et al., 2020) e *ggplot2* (Wickham et al., 2020).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A inoculação de *T. asperellum* UFT-201, via sementes, influenciou positivamente todos os atributos morfofisiológicos da cultura do milho e arroz apenas aos 45 dias após a semeadura.

Para a cultura do milho, houve interação para

altura ( $p = 0,01$ ), onde as doses foram significativas somente aos 45 DAS ( $p = 0,0002$ ) com ajuste quadrático ( $R^2 = 0,68$ ,  $p = 0,0001$ ) e máxima eficiência técnica (MET) em  $6,30 \text{ g kg}^{-1}$  de sementes, obtendo  $50,30 \text{ cm}$  de altura, o que representa um acréscimo de  $11,69\%$  em relação ao controle ( $45,04 \text{ cm}$ ) (Figura 1-A).

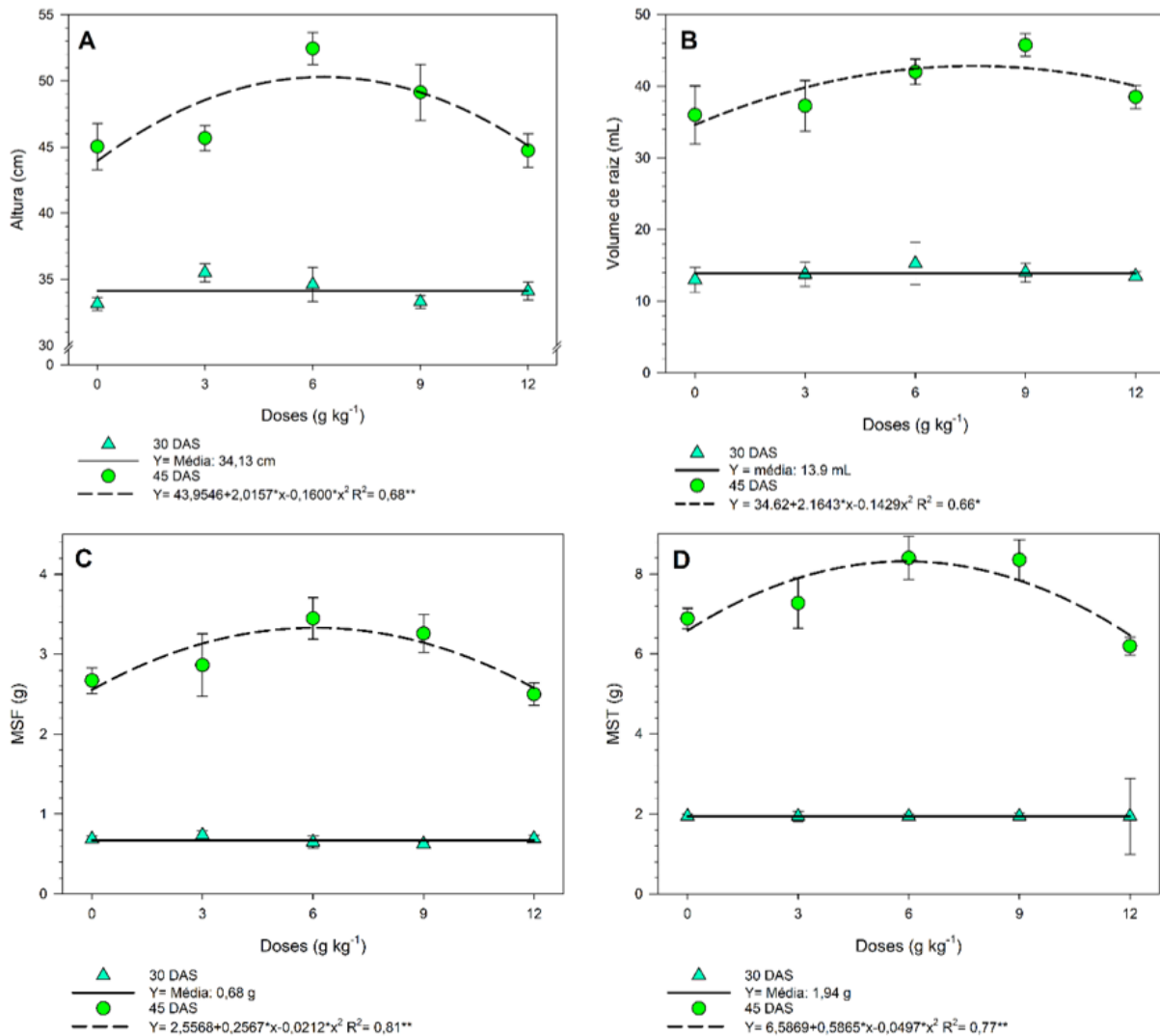


Figura 1 - Altura (A), volume de raiz (B), massa seca da folha (C) e massa seca total (D) de plantas de milho (*Zea mays*) sob doses de *Trichoderma asperellum* UFT-201 com 30 e 45 dias após de semeadura.

Para o volume de raiz (VR), nas plantas de milho, houve crescimento de  $192,3\%$  de 30 DAS ( $13,9 \text{ mL}$ , média geral) para 45 DAS ( $38 \text{ mL}$  no controle) ( $p = 0,00001$ ), ou seja, dobrou o volume de exploração radicular entre as épocas de avaliação (Figura 1-B). A máxima promoção do crescimento do sistema radicular pelo inoculante ocorreu na dose de  $7,54 \text{ g kg}^{-1}$  de sementes, com  $42,8 \text{ mL}$  de VR,  $12,7\%$  superior ao controle.

Para a massa seca das folhas (MSF), houve

interação ( $p = 0,04$ ) e ajuste quadrático ( $R^2 = 0,81$ ,  $p = 0,0004$ ), significativo somente aos 45 DAS ( $p = 0,004$ ), onde a MET foi a dose de  $6,05 \text{ g kg}^{-1}$ , e um incremento de  $24,75\%$  ( $3,33 \text{ g}$ ) em relação ao controle,  $2,67 \text{ g}$  (Figura 2-C).

A MST teve interação ( $p = 0,01$ ) também obteve um ajuste quadrático ( $R^2 = 0,77$ ,  $p = 0,00005$ ), com significância aos 45 DAS ( $p = 0,00005$ ), e a MET foi  $5,9 \text{ g kg}^{-1}$ , com  $8,32 \text{ g}$  ( $20,78\%$ ) comparado ao controle que obteve massa de  $6,89 \text{ g}$  (Figura 1-D).

*Trichoderma* spp. tem sido vastamente empregado na agricultura como fungo promotor de crescimento de plantas e biopesticida para controlar doenças transmitidas pelo solo (Abdenaceur, 2022). Resultados positivos também foram encontrados por Chagas et al. (2017) que, comprovam a eficiência do isolado *T. asperellum* UFT-201 em incrementar biomassa em gramíneas (arroz e milho) e leguminosas (soja e feijão-caupi). Gonçalves et al. (2017) testando doses de inoculante à base de *T. asperellum* UFT-201, concluíram a eficiência da sua inoculação em aumento da produtividade de soja, através do aumento da biomassa da planta.

Estes resultados estão de acordo com outros trabalhos, como Chagas et al. (2019) que testou o isolado de *T. asperellum* UFT-201 em ensaios com soja, onde houve aumento considerável de biomassa. Este aumento pode estar relacionado à síntese de ácido indol acético (AIA) e solubilização de fosfatos (Chagas et al., 2015; Chagas et al., 2017).

Além disso, a amônia que as cepas de *Trichoderma* podem produzir, influencia diretamente no crescimento das plantas, pois o ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) sintetizado nos tecidos vegetais pela ACC-sintase é liberado das raízes das plantas e absorvido pelos microrganismos ao redor. Portanto, *Trichoderma* pode hidrolisar ACC em amônia. Além disso, o resultado da produção de amônia se sustenta com os resultados obtidos por Mohiddin et al. (2017).

Todas as variáveis morfofisiológicas do milho foram avaliadas pelo método multivariado de análise de componentes principais (PCA) com a finalidade de diferenciar os tratamentos com base em todas as informações coletadas. Foram utilizados apenas PC1 e PC2 com 62,6% da variação total dos dados, para facilitar a interpretação do gráfico em duas dimensões do efeito de doses de *Trichoderma* na cultura do milho (Figura 2).

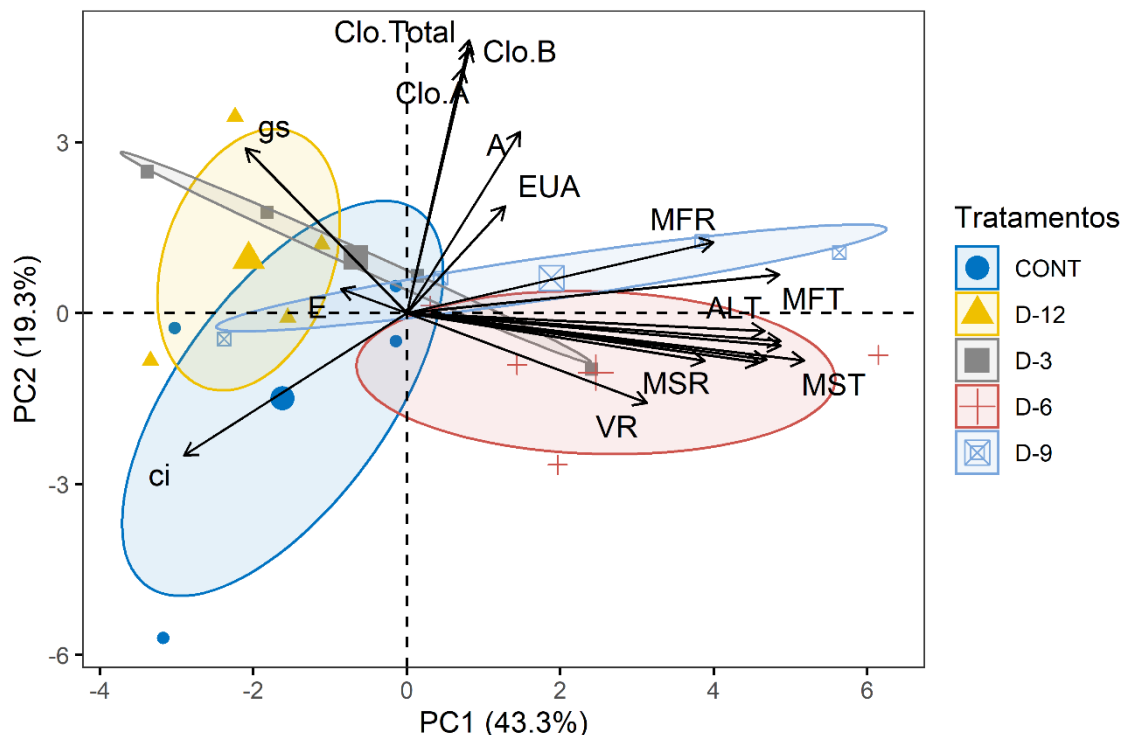


Figura 2 - Biplot do primeiro e segundo componentes gerados a partir das variáveis respostas de plantas de milho (*Zea mays*) sob doses de *Trichoderma asperellum* UFT-201 via semente aos 45 dias após a semeadura. PC1: primeiro componente; PC2: segundo componente; MFR: massa fresca da raiz; MFT: massa fresca total; MSF: massa seca foliar; MFF: massa fresca foliar; ALT: altura; VR: volume de raiz; MFC: massa fresca do caule; MST: massa seca total; MSR; massa seca da raiz; MSC: massa seca do caule; Ci: concentração de carbono interno; E: taxa de transpiração; gs: condutância estomática; A: taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>; EUA: eficiência do uso da água; Clo.Total: clorofila total; Clo.A: clorofila A; Clo.B: clorofila B; CONT: controle; D-3, D-6, D-9, D-12: doses 3, 6, 9 e 12 g kg<sup>-1</sup> de sementes, respectivamente.

Devido a variabilidade dos dados, não ocorreu discriminação do controle pelas elipses a 95% de

confiança, porém, D-6 e D-9 apresentaram maior distância euclidiana do controle (~4,1), já D-3 e D-

12 (~2,6) foram agrupadas como semelhantes ao controle. As variáveis mais sensíveis de forma positiva foram: A, EUA MFR, MFT e os índices de clorofilas (Clo.A, Clo.B e Clo.Total) e de forma negativa apenas o *Ci*. O controle ficou posicionado inversamente as variáveis mais positivas e correlacionado diretamente com o *Ci*, esse resultado sugere que plantas de milho inoculadas apresentaram maior eficiência fotossintética e por isso acumularam mais biomassa.

El-Hasan e Buchenauer (2009), utilizando metabólitos secundários de *Trichoderma*, observaram que houve aumento na atividade de peroxidases, polifenol oxidases e  $\beta$ -1,3- glucanase

tanto na parte aérea quanto radicular. Esses compostos atuam diretamente na regulação do estresse oxidativo, responsáveis por aumentar a homeostase do metabolismo vegetal reduzindo os compostos oxidam de desestruturaram as células (Taiz e Zeiger, 2017).

Na cultura do arroz, todas as variáveis apresentaram diferenças significativas somente aos 45 DAS (Figura 3). A altura com ajuste quadrático ( $R^2= 0,75$ ,  $p = 0,025$ ), e MET em  $6,4 \text{ g kg}^{-1}$ , com um aumento de 11,9% (49,4 cm) em relação ao controle, que obteve apenas 43,5 cm de altura (Figura 3-A).

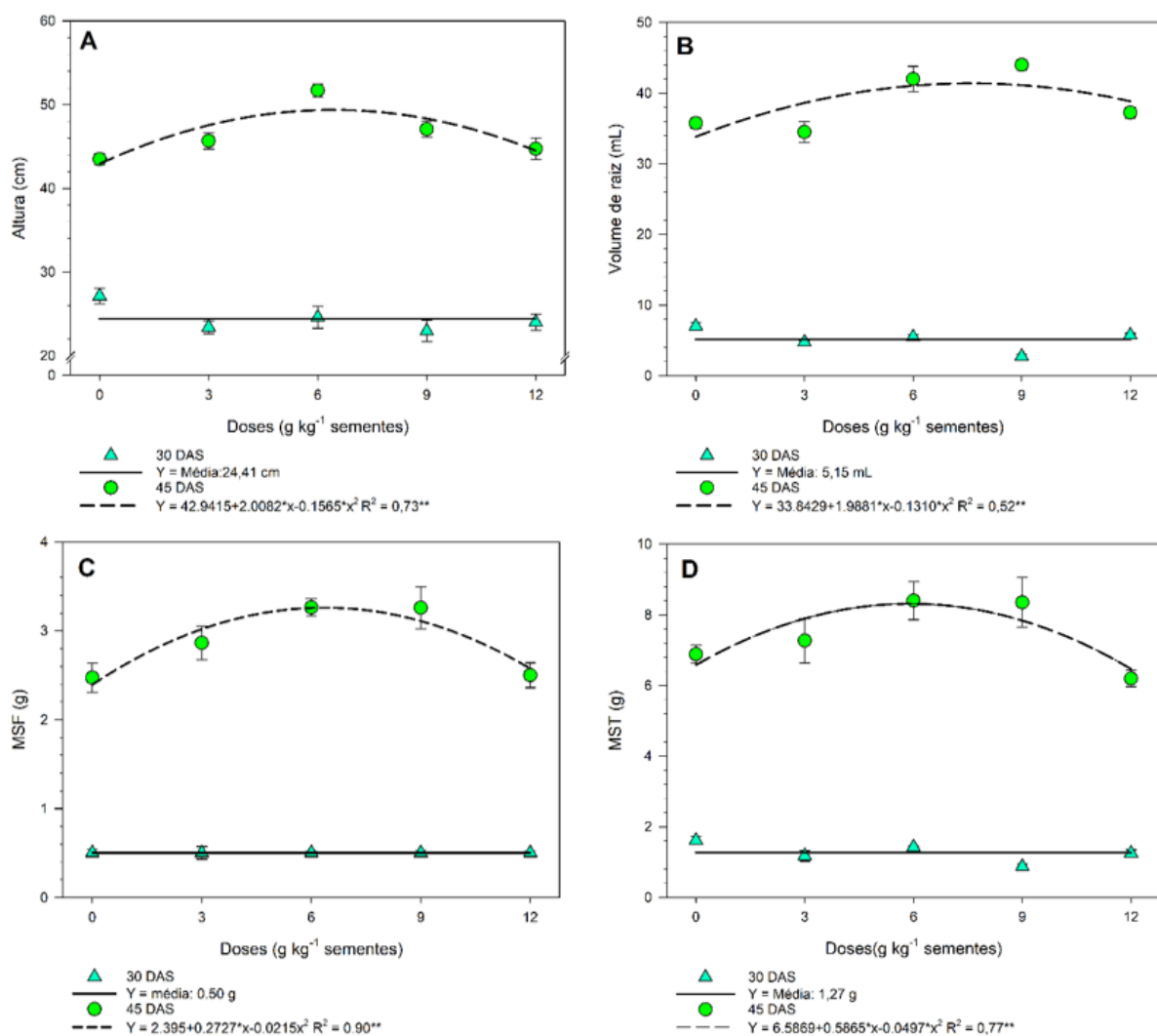


Figura 3 - Altura (A) e volume de raiz (B), massa seca das folhas (C) e total (D) de plantas de arroz (*Oryza sativa*) sob doses de *Trichoderma asperellum* UFT-201 via sementes após 30 e 45 dias de semeadura.

Para o volume de raiz, houve ajuste quadrático ( $R^2= 0,52$ ,  $p = 0,024$ ), onde a melhor dose  $7,6 \text{ g kg}^{-1}$  incrementou 13,6% (41,4 mL) em relação ao controle que teve volume menor de 35,8 mL

(Figura 3-B). Utilizando uma cepa nativa de *Trichoderma* sp. na concentração de  $1 \times 10^8$  UFC  $\text{mL}^{-1}$ , Vegara et al. (2020) observaram incrementos entre 19 e 35% do comprimento e volume das

raízes (1,60 mL do melhor tratamento contra 0,57 mL do controle) em plantas de arroz da variedade SLF11. Kurrey et al. (2018) utilizando *Trichoderma* com hidrogel, também observou resultados positivos na cultura do arroz, mostrando crescimento e desenvolvimento de raízes e produtividade.

A MSF, aos 30 dias foi de 0,5 g (Figura 3-C). Já aos 45 DAS, onde ocorreu resposta significativa das doses (quadrática,  $R^2 = 0,90$ ,  $p = 0,04$ ), o MET foi de  $6,34 \text{ g kg}^{-1}$  de sementes, com aumento de 22,09% em relação ao controle. A MST, com ajuste quadrático ( $R^2 = 0,77$ ) teve melhor resultado de 8,3 g com MET  $5,9 \text{ g kg}^{-1}$  de semente, e um aumento de 17,3%, um aumento considerável em relação ao controle (6,9 g) (Figura 3-D).

De acordo com Hoyos Carvajal et al. (2009) testando cepas de *Trichoderma*, houve a produção de hormônios de crescimento como AIA ou análogos, mecanismo pelo qual há a produção de crescimento vegetal. A interação do *Trichoderma* com plantas de arroz ocorre uma comunicação multicelular da parte aérea com raiz que produz

auxinas, metabólitos voláteis e não voláteis, que promove a ramificação radicular da planta (Meyer et al., 2019).

Silva et al. (2012) caracterizou isolados de *Trichoderma*, e concluiu sobre a produção de fosfatase, celulase e AIA, em condições de laboratório. Levou esses isolados para casa de vegetação e conseguiu aumento considerável de 61% e 33% em biomassa da parte aérea e da parte radicular, respectivamente, comprovando o potencial do fungo como promotor de crescimento vegetal.

O PC1 e PC2 obtidos pela técnica multivariada, representam 69% da variação dos dados analisados. Conforme as elipses do Biplot, apenas D-12 não diferiu do controle, D-6 e D-9 apresentaram maiores distância euclidiana do controle, ~4,8 e ~4,3, respectivamente, quando comparados com D-3 (~3,0) e D-12 (~2,8). As variáveis mais sensíveis de forma positiva foram: A, EUA, E, Clo.A, MFC, MST e MSR. Não houve variáveis agrupadas como negativas.

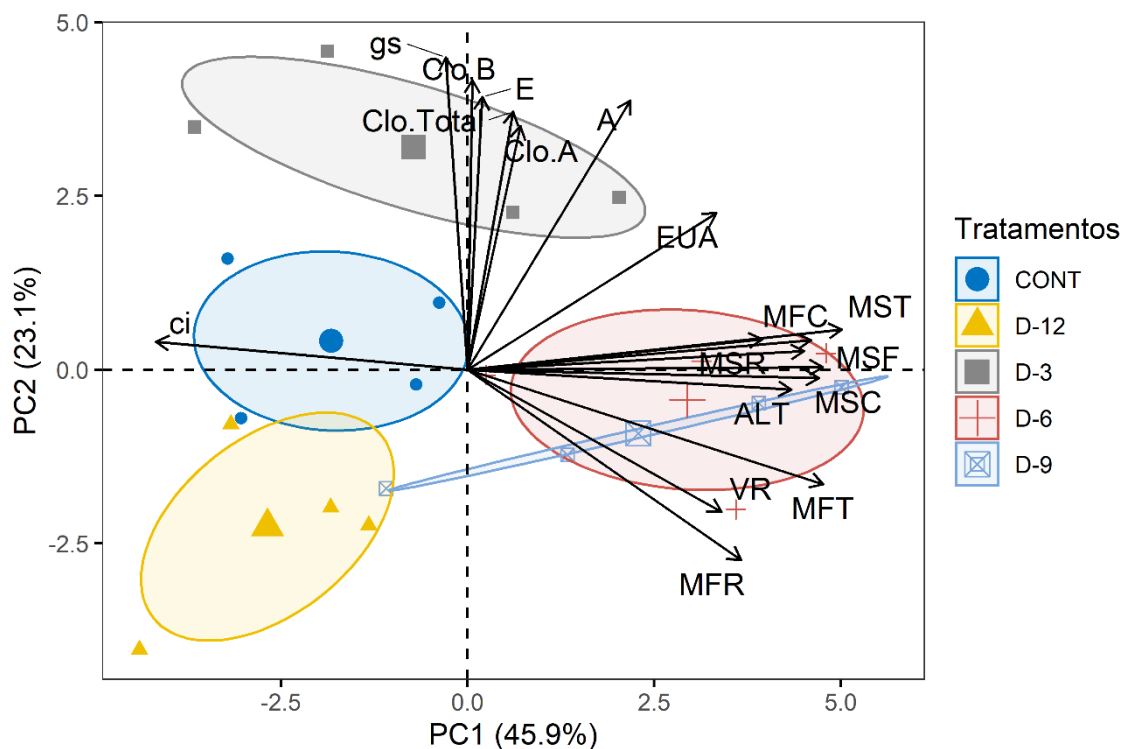


Figura 4 - Biplot do primeiro e segundo componentes gerados a partir das variáveis respostas de plantas de arroz (*Oryza sativa*) sob doses de *Trichoderma asperellum* UFT-201 via semente aos 45 dias após a semeadura. PC1: primeiro componente; PC2: segundo componente; MFR: massa fresca da raiz; MFT: massa fresca total; MSF: massa seca foliar; MFF: massa fresca foliar; ALT: altura; VR: volume de raiz; MFC: massa fresca do caule; MST: massa seca total; MSR; massa seca da raiz; MSC: massa seca do caule; Ci: concentração de carbono interno; E: taxa de transpiração; gs: condutância estomática; A: taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$ ; EUA: eficiência do uso da água; Clo.Total: clorofila total; Clo.A: clorofila A; Clo.B: clorofila B; CONT: controle; D-3, D-6, D-9, D-12: doses 3, 6, 9 e 12  $\text{g kg}^{-1}$  de sementes, respectivamente

Na cultura do arroz, D-12 apresentou efeitos

negativos quanto aos acúmulos de biomassas e as

características fisiologias da cultura, não diferindo do controle. Esse resultado sugere que altas doses do inoculante exigem muita energia fotossintética da planta, onde os microrganismos podem tornar-se forte drenos de carbono nos primeiros estágios de desenvolvimento da cultura.

O aumento do sistema radicular da planta pode estar relacionado ao aumento na translocação de íons via estimulação da enzima ATPase e da bomba de prótons (Mantelin e Touraine, 2004).

O fungo *Trichoderma* spp. promove modificações nas raízes das plantas, resultando em respostas fisiológicas positivas, que podem estar associadas ao a mudanças na sinalização das vias dos fitohormônios, como por exemplo o ácido indol-3-acético (AIA), resultando em aumentos da área de superfície, do número de raízes e de pelos absorventes (Rêgo et al., 2014; Meyer et al., 2019). O conhecimento sobre as propriedades do *Trichoderma*, contendo a atividade metabólica e também a interação com as plantas e outros microrganismos, pode garantir seu uso eficaz na agricultura (Tyśkiewicz et al., 2022).

## CONCLUSÕES

O fungo *Trichoderma asperellum* UFT-201 inoculado via semente aumentou o volume radicular e a biomassa das plantas de milho e arroz na dose de 6 g kg<sup>-1</sup> de sementes. O ganho em biomassa das culturas está relacionado com alterações fisiológicas nas culturas promovido pela inoculação e doses acima de 12 g kg<sup>-1</sup> de sementes pode reduzir o desenvolvimento inicial das culturas, principalmente para arroz.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdenaceur R, Farida B-T, Mourad D, Rima H, Zahia O, Fatma S-H. Effective biofertilizer *Trichoderma* spp. isolates with enzymatic activity and metabolites enhancing plant growth. *International Microbiology*, v.25, n.4, p.817-829, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10123-022-00263-8>
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, p.711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Campos T, Canéchio Filho V. Principais culturas - II. 2. ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 401p. 1973.
- Chagas LFB, Chagas Junior AF, Carvalho MR, Miller LO, Colonia BSO. Evaluation of the phosphate solubilization potential of *Trichoderma strains* (Trichoplus JCO) and effects on rice biomass. *Journal of soil science and plant nutrition*, v.15, n.3, p.794-804, 2015. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162015005000054>
- Chagas LFB, Chagas Junior AF, Castro HG. Phosphate solubilization capacity and indole acetic acid production by *Trichoderma strains* for biomass increase on basil and mint plants. *Brazilian journal of agriculture-Revista de agricultura*, v.92, n.2, p.176-185, 2017. <https://doi.org/10.37856/bja.v92i2.3221>
- Chagas LFB, Chagas Junior AF, Soares LP, Fidelis RR. *Trichoderma* na promoção do crescimento vegetal. *Journal of neotropical agriculture*, v.4, n.3, p.97-102, 2017. <https://doi.org/10.32404/rean.v4i3.1529>
- CONAB (2020) Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2020/2021. Disponível em: <<file:///C:/Users/pc/Downloads/GraosZagostoZcompleteZ2020.pdf>>. Acesso em: setembro de 2022.
- Contreras-Cornejo HA, Macías-Rodríguez L, Herrera-Estrella A, López-Bucio J. The 4-phosphopantetheinyl transferase of *Trichoderma virens* plays a role in plant protection against *Botrytis cinerea* through volatile organic compound emission. *Plant and soil*, v.379, n.1-2, p.261-274, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2069-x>
- Oliveira AG, Chagas Junior AF, Santos GR, Miller LO, Chagas LFB. Potencial de solubilização de fosfato e produção de AIA por *Trichoderma* spp. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.7, n.3, p.26, 2012.
- Druzhinina IS, Chenthamara K, Zhang J, Atanasova L, Yang D, Miao Y, Rahimi MJ, Grujic M, Cai Feng Pourmehdi S, Salim KA, Pretzer C, Kopchinskiy AG, Henrissat B, Kuo A, Hundley H, Wang M, Aerts A, Salamov A, Lipzen A, LaButti K, Barry K, Grigoriev IV, Shen Q, Kubicek CP. Massive lateral transfer of genes encoding plant cell wall-degrading enzymes to the mycoparasitic fungus *Trichoderma* from its plant-associated hosts. *PLoS genetics*, v.14, n.4, e1007322, 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1007322>
- El-Hasan A, Buchenauer H. Actions of 6-pentyl-alpha-pyrene in controlling seedling blight incited by *Fusarium moniliforme* and inducing defense responses in maize. *Journal of Phytopathology*, v.157, n.11-12, p.697-707, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2009.01565.x>
- FALKER. Manual do medidor eletrônico de teor de clorofila. Disponível em: <<http://www.falker.com.br/produto-clorofilog-medidor-clorofila.php>>. Acesso em: julho de 2020.
- Ferreira EB, Cavalcanti PP, Nogueira DA. Pacote experimental designs (portuguese). Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/ExpDes.pt/ExpDes.pt.pdf>>. Acesso em: 18 de setembro de 2022.
- Gonçalves AH, Chagas LFB, Scheidt GN, Carvalho Filho MR, Miller LO, Chagas Junior AF. *Trichoderma asperellum* UFT-201 on biocontrol, growth promotion and soybean productivity at field conditions. *International Journal of Current Research*, v.9, n.3, p.1-5, 2017.
- Gonçalves AH, Chagas LFB, Santos GR, Fidelis RR, Carvalho Filho MR, Miller LO, Chagas AF. *Trichoderma efficiency* in the maintenance and productivity of soybean plants in producing savanna regions, Tocantins, Brazil. *Revista de Ciências Agrárias*, v.41, n.1, p.175-181, 2018. <https://doi.org/10.19084/RCA17079>
- Hair JF, Black WC, Babin BJ, Anderson RE, Tatham RL. Análise multivariada de dados. 6. ed. Porto Alegre: Bookman editora, 688p. 2009.



- Harman GE, Howell CR, Viterbo A, Chet I, Lorito M. *Trichoderma* species - opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, v.2, n.1, p.43-56, 2004. <https://doi.org/10.1038/nrmicro797>
- Hermosa R, Rubio B, Cardoza RE, Nicolas C, Monte E, Gutierrez S. The contribution of *Trichoderma* to balancing the costs of plant growth and defense. *International Microbiology*, v.16, n.2, p.69-80, 2013. <https://doi.org/10.2436/20.1501.01.181>
- Hirakuri MH, Lazzarotto JJ. Evolução e perspectivas de desempenho econômico associadas com a produção de soja nos contextos mundial e brasileiro. Londrina: Embrapa-Soja. 2011.
- Hoyos-Carvajal L, Orduz S, Bissett J. Genetic and metabolic biodiversity of *Trichoderma* from Colombia and adjacent neotropical regions. *Fungal Genetics and Biology*, v.46, n.9, p.615-631, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2009.04.006>
- Husson F, Josse J, Lê S, Rennes d'A, Mazet J. Multivariate exploratory data analysis and data mining. Disponível em: <<http://factominer.free.fr>>. Acesso em: outubro de 2022.
- Kumar S. *Trichoderma*: Uma arma biológica para o gerenciamento de doenças de plantas e promoção da sustentabilidade. *International Journal of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine*. v.32, n.1, p.106-121, 2013.
- Kurrey D, Singh RK, Rajput RS. Effect of Hydrogel and *Trichoderma* on root growth and water productivity in rice varieties under Rainfed Conditions. *Research Journal of Agricultural Sciences*, v.9, p.210-212, 2018.
- Lopes RB. A indústria no Controle Biológico: Produção e Comercialização de Microrganismos no Brasil. In: Bettli W, Morandi MAB (Org.). *Biocontrole de Doenças de Plantas: uso e perspectivas*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009. p.15-28.
- Lucon CMM. Promoção de crescimento de plantas com o uso de *Trichoderma* spp. São Paulo: Instituto Biológico/Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Sanidade Vegetal, 2009.
- Machado DFM, Parzianello, FR, Silva ACF, Antonioli ZI. *Trichoderma* no Brasil: O fungo e o bioagente. *Revista de Ciências Agrárias*, v.35, n.1, p.274-288, 2012. <https://doi.org/10.19084/rca.16182>
- Mantelin S, Touraine B. Plant growth-promoting bacteria and nitrate availability: impacts on root development and nitrate uptake. *Journal of Experimental Botany*, v.55, n.394, p.27-34, 2004. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh010>
- Meyer MC, Mazaró SM, Silva JC. *Trichoderma*: uso na agricultura. Brasília, DF: Embrapa, 536p. 2019.
- Michereff SJ, Domingos EGTA, Menezes M. Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 388p. 2005.
- Mohiddin FA, Bashir I, Padder AS, Hamid B. Evaluation of different substrates for mass multiplication of *Trichoderma* species. *Journal Pharmacogn Phytochem*, v.6, n.6, p.563-569, 2017.
- Pacheco KR, Viscardi BSM, Vasconcelos TMM, Moreira GAM, Vale HMM, Blum LEB. Efficacy of *Trichoderma asperellum*, *T. harzianum*, *T. longibrachiatum* and *T. reesei* against *Sclerotium rolfsii*. *Bioscience Journal*, v.32, n.2, p.412-421, 2016. <https://doi.org/10.14393/BJ-v32n2a2016-32732>
- Paes MCD. Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Embrapa Milho e Sorgo. 6p. 2006. (Circular Técnica).
- Panth M, Hassler SC, Baysal-Gurel F. Methods for management of soilborne diseases in crop production. *Agriculture*, v.10, n.1, p.1-21, 2020. <https://doi.org/10.3390/agriculture10010016>
- Pinto AP, Lançanova JAC, Lugão SMB, Roque AP, Santos Abrahã JJ, Silva J, Mizubuti IY. Avaliação de doze cultivares de milho (*Zea mays* L.) para silagem. *Semina: Ciências Agrárias*, v.31, n.4, p.1071-1078, 2010. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2010v31n4p1071>
- Rêgo MCF, Ilkiu-Borges F, Filippi MCC, Gonçalves LA, Silva GB. Morphoanatomical and biochemical changes in the roots of rice plants induced by plant growth-promoting microorganisms. *Journal of Botany*, v.2014, n.4, p.1-11, 2014. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/818797>
- Ribas PP, Rech R, Matsumura ATdS, Sand STVD. Potencial in vitro para solubilização de fosfato por *Trichoderma* spp. *Revista Brasileira de Biociências*, v.14, n.2, p.70-75, 2016.
- Venables WN, Ripley BD. Support functions and datasets for venables and ripley's MASS. Disponível em: <<http://www.stats.ox.ac.uk/pub/MASS4/>>. Acesso em: setembro de 2022.
- Silva JC, Torres DB, Lustosa DC, Filippi MCC, Silva GB. Rice sheath blight biocontrol and growth promotion by *Trichoderma isolates* from the Amazon. *Revista de Ciências Agrárias*, v.55, n.4, p.243-250, 2012. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2012.078>
- Silva TI, Galdino AGS, Santana LD, Câmara FT, Alves ACL, Silva JS. Ensaio comparativo entre dois cultivares de milho submetidos a diferentes arranjos de plantas. *Acta Iguazu*, v.6, n.1, p.14-22, 2017. <https://doi.org/10.48075/actaiguazu.v6i1.16550>
- Storck CR. Variação na composição química em grãos de arroz submetidos a diferentes beneficiamentos. Ano de obtenção: 2004. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Curso de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS.
- Team RCR. A language and environment for statistical computing. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>. Acesso em: maio de 2020.
- Teixeira PC, Donagemma GK, Fontana A, Teixeira WG. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 577p. 2017.
- Tosello GA. Milhos especiais e seu valor nutritivo. In: Viegas GP, Paterniane E (Org.). *Melhoramento e produção do milho*. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.375-409.
- Tyśkiewicz R, Nowak A, Ozimek E, Jaroszek-Scisel J. *Trichoderma*: The current status of its application in agriculture for the biocontrol of fungal phytopathogens and stimulation of plant growth. *International Journal of Molecular Sciences*, v.23, n.4, p.1-28, 2022. <https://doi.org/10.3390/ijms23042329>

- Vergara JAC, Garcia AT, Vera EAE, Pazmiño DEZ. Respuestas morfofisiológicas de la raíz del arroz (*Oryza sativa* L.) variedad SFL 11 en fase de semillero a la aplicación de cepa nativa de *Trichoderma* sp. y lixiviados de vermicompost bovino. La Técnica: Revista de las Agrociencias, n.23, p.13-24, 2020. [https://doi.org/10.33936/la\\_tecnica.v0i23](https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i23)
- Vinale F, Sivasithamparam K, Ghisalberti EL, Marra R, Barbeti MJ, Li H, Lorito M. A novel role for *Trichoderma secondary* metabolites in the interactions with plants. Physiological and Molecular Plant Pathology, v.72, n.3, p.80-86, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2008.05.005>
- Waghunde RR, Rahul MS, Ambalal NS. *Trichoderma*: A significant fungus for agriculture and environment. African Journal of Agricultural Research, v.11, n.22, p.1952-1965, 2016. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.10584>
- Walter M, Marchezan E, Avila LA. Arroz: composição e características nutricionais. Ciência Rural, v.38, n.4, p.1184-1192.
- Wickham H, Chang W, Henry L, Pedersen TL, Takahashi K, Wilke C, Dunnington D. Create elegant data visualisations using the grammar of graphics. R. package version, v.2, n.1, 2016.
- Zhang S, Li Q, Ma K, Chen L. Temperature-dependent gas exchange and stomatal/non-stomatal limitation to CO<sub>2</sub> assimilation of *Quercus liaotungensis* under midday high irradiance. Photosynthetica, v.39, n.3, p.383-388, 2001. <https://doi.org/10.1023/A:1015130326683>