

MICROORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO NO DESENVOLVIMENTO DAS RAÍZES DE ARROZ DE TERRAS ALTAS¹

GROWTH PROMOTING MICROORGANISMS IN THE DEVELOPMENT OF UPLAND RICE ROOTS

Gabriel Santos Silva²

Pedro Lucas Monteiro Tavares³

Adriano Stephan Nascente⁴

Izabely Vitória Lucas Ferreira⁵

Dennis Ricardo Cabral Cruz⁶

RESUMO

Os microrganismos multifuncionais podem afetar significativamente o desenvolvimento de raízes e brotos de arroz de terras altas, as mudas que poderão proporcionar o aumento no rendimento de grãos da cultura. O objetivo deste estudo foi determinar o efeito de microrganismos únicos e combinados no desenvolvimento da raiz e da parte aérea de mudas de arroz de terras altas. O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado com tratamentos constituído por sementes de arroz de terras altas tratadas com microrganismos multifuncionais simples e combinados (controle - tratamento sem microrganismos), *Serratia marcescens* (BRM 32114), *Azospirillum brasilense* (AbV5), *Bacillus sp.* (BRM 63573), *Trichoderma koningiopsis* (T-26) - e a combinação de todos citados. O *Bacillus sp.* foi maior (35%) no comprimento da raiz em relação ao controle. Na área de superfície das raízes o controle se destacou. No que se refere ao diâmetro, o ABV5 apresentou o valor (46%) maior que o controle. Na relação comprimento e volume todos os microrganismos foram superiores a 25,66% comparado com o controle. No volume de raiz a BRM 63573 aumentou (50%) em comparação ao controle. Pode-se concluir que microrganismos multifuncionais melhoraram comprimento da raiz, área superficial da raiz, diâmetro, relação comprimento/volume e volume da raiz, proporcionando melhor desenvolvimento radicular.

Palavras-chave: sustentabilidade; *Oryza sativa*; rizobactérias; promoção de crescimento de plantas e fungos benéficos.

¹ Artigo referente ao trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Unimais, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia, no segundo semestre de 2023.

² Engenheiro Agrônomo. Unimais. E-mail: gabrielsilva@aluno.facmais.edu.br

³ Engenheiro Agrônomo. Unimais. E-mail: pedrotavares@aluno.facmais.edu.br

⁴ Doutor em agronomia. Embrapa Arroz e Feijão. E-mail: adriano.nascente@embrapa.br

⁵ Doutoranda em agronomia. Universidade Federal de Goiás. Docente da Faculdade de Unimais. E-mail: izabelyvitorialucas@facmais.edu.br

⁶ Doutorando em agronomia. Universidade Federal de Goiás. Docente da Faculdade de Unimais. E-mail: denniscruz@facmais.edu.br

ABSTRACT

Multifunctional microorganisms can significantly affect root development and growth of upland rice, as seedlings may provide no grain yield from the crop. The objective of this study was to determine the effect of single and combined microorganisms on root and shoot development of upland rice seedlings. The experiment was set up in a completely randomized design with treatments consisting of upland rice seeds treated with simple and combined multifunctional microorganisms (control (treatment without microorganisms), *Serratia marcescens* (BRM 32114), *Azospirillum brasilense* (AbV5), *Bacillus* sp. (BRM 63573), *Trichoderma koningiopsis* (T-26) and the combination of all those reported). *Bacillus* sp. was greater (35%) in root length compared to the control. In the surface area of the roots the control is highlighted. In diameter, ABV5 presented a value (46%) higher than the control. In the length and volume ratio, all microorganisms were greater than 25.66% compared to the control. In the root volume BRM 63573 increased (50%) compared to the control. It can be concluded that multifunctional microorganisms improved root length, root surface area, diameter, length/volume ratio and root volume, providing better root development.

Keywords: sustainability, *Oryza sativa*, rhizobacteria, plant growth promotion and beneficial fungi.

1 INTRODUÇÃO

A aplicação de microrganismos benéficos tem demonstrado aprimorar o desenvolvimento das plantas por meio de mecanismos diretos e indiretos, resultando em práticas de manejo de cultivo mais sustentáveis (Cruz *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2023). Esses mecanismos são impulsionados pela produção de diversos metabólitos, como fitohormônios, enzimas hidrolíticas, sideróforos, antibióticos, carbono e nitrogênio, exercendo assim um papel significativo como promotores de crescimento (Silva *et al.*, 2022; Rezende *et al.*, 2021).

Os microrganismos multifuncionais desempenham um papel crucial ao facilitar a absorção de nutrientes solubilizados, anteriormente fixados nos minerais do solo e indisponíveis para as plantas (Sousa *et al.*, 2021). Os estudos desses microrganismos têm ganhado destaque devido à crescente busca por tecnologias sustentáveis. Essas tecnologias visam reduzir os custos de produção, aumentar a produtividade e a rentabilidade no agronegócio, além de otimizar a eficiência no uso de fertilizantes (Couto de Araújo *et al.*, 2021).

O sistema radicular é fundamental para a absorção de nutrientes e água pelas plantas, e as condições de crescimento das raízes têm um impacto direto no desenvolvimento dos brotos (White, 2009; Fernandes *et al.*, 2021). As raízes das plantas são capazes de se adaptar a mudanças nas condições de nutrientes do solo,

regulando ativamente suas atividades fisiológicas para aumentar a absorção de nutrientes (Sun *et al.*, 2020). A rizosfera, onde ocorre a interação entre as raízes das plantas, o solo, os microrganismos e o ambiente, é um ambiente rico em nutrientes que abriga uma ampla variedade de bactérias e fungos, cada um com efeitos neutros, benéficos ou prejudiciais para as plantas (Berendsen *et al.*, 2012).

Os efeitos benéficos da rizosfera incluem influenciar o crescimento das plantas em resposta aos exsudatos radiculares no ambiente dos microrganismos radiculares, fornecendo fontes de carbono para o crescimento microbiano e alterando a composição da comunidade por meio dos processos de deposição na rizosfera. Isso resulta na formação de conexões benéficas entre a planta e certos microrganismos na rizosfera (Toju *et al.*, 2018), impactando positivamente na saúde e na produtividade das plantas.

No experimento conduzido por Fernandes *et al.* (2021) para avaliar o impacto de seis microrganismos multifuncionais no desempenho de mudas de arroz de terras altas, os autores observaram que as mudas tratadas com esses microrganismos apresentaram melhorias em todos os parâmetros analisados do sistema radicular. Nesse caso, mais especificamente, as espécies de *Azospirillum* demonstraram resultados superiores em relação ao comprimento total da raiz, volume radicular e massa seca da raiz das mudas de arroz de terras altas, em comparação com o grupo de controle.

No entanto, é crucial realizar estudos que investiguem tanto os efeitos individuais quanto os efeitos combinados desses microrganismos multifuncionais no desenvolvimento radicular das mudas de arroz de terras altas.

Ademais, é importante avaliar a possível influência de microrganismos multifuncionais em outros parâmetros de desenvolvimento radicular, como diâmetro radicular e área de superfície radicular; justificando, desta forma, a importância deste estudo. O objetivo desta pesquisa foi investigar os efeitos de doses individuais e combinações de microrganismos no desenvolvimento das raízes e parte aérea de mudas de arroz de terras altas.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 A cultura do Arroz

O arroz se destaca entre os cereais mais cultivados, ocupando a segunda posição em termos de produção e área cultivada. Em 2019, sua produção atingiu 755,5 milhões de toneladas de grãos em casca, representando 28,5% do total de grãos destinados à alimentação humana. É o segundo cereal mais plantado no mundo, perdendo apenas para o milho e seguido pelo trigo. Ao contrário de outros cereais, o arroz é consumido quase exclusivamente por seres humanos e não passa por processos industriais, sendo consumido em sua forma natural, diretamente do campo (Heinemann; Silva; Pinheiro, 2021).

No Brasil, o cultivo de arroz se desenvolve principalmente em dois ecossistemas distintos: as várzeas e as terras altas. Esses sistemas abrangem todas as modalidades de cultivo de arroz no país, com enfoque especial no arroz irrigado por inundação e no arroz de terras altas. Em 2019, a produção de arroz irrigado representou aproximadamente 90,4% da produção total nacional. As áreas de cultivo de arroz de terras altas prevalecem em regiões situadas abaixo do paralelo 20° Sul (Heinemann; Silva; Pinheiro, 2021).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2015), a técnica de cultivo predominante para o arroz no Brasil é a irrigação, que implica o cultivo do cereal em presença de água durante grande parte do processo. Existem três métodos de irrigação comumente empregados nos campos de arroz: inundação contínua, subirrigação e aspersão. Entre eles, a inundação se destaca como o método mais utilizado, aplicado ao longo da maior parte do ciclo do grão. Esse sistema é amplamente adotado nas plantações localizadas no Sul do Brasil, especialmente no estado do Rio Grande do Sul.

O plantio do arroz em terras altas costuma ser realizado logo após o início das chuvas. Geralmente, essa prática ocorre em regiões beneficiadas por chuvas adequadas, ou, em alguns casos, são áreas irrigadas por sistemas de aspersão. Esse método de cultivo abarca uma grande diversidade de ambientes, desde extensas plantações mecanizadas até pequenas produções destinadas à subsistência. A pesquisa voltada para o arroz de terras altas tem se concentrado em estratégias para tornar essa cultura mais competitiva, reduzindo os riscos associados às condições climáticas desfavoráveis e aprimorando o controle de plantas daninhas (Conab, 2015).

2.2 Microrganismos multifuncionais

Os microrganismos multifuncionais são capazes de desempenhar uma variedade de funções e processos biológicos distintos. Essas atividades podem englobar a produção de enzimas, a degradação de substâncias tóxicas, a fixação de nitrogênio atmosférico, o ciclo de nutrientes, a síntese de metabólitos secundários e até mesmo o estímulo ao crescimento das plantas, entre outras funções. Sua notável versatilidade e diversidade funcional lhes conferem papéis vitais nos ecossistemas naturais, além de possibilitar sua aplicação na agricultura, na indústria biotecnológica e na recuperação ambiental (Rezende *et al.*, 2021).

De acordo com Rezende *et al.* (2021), esses microrganismos desempenham um papel crucial no desenvolvimento das raízes das plantas, aprimorando a absorção de nutrientes e água, além de contribuir significativamente na fixação de nitrogênio atmosférico, oferecendo uma fonte essencial desse nutriente para o crescimento vegetal. Na agricultura, a aplicação desses microrganismos multifuncionais apresenta diversas vantagens, incluindo a redução do uso de fertilizantes químicos e pesticidas sintéticos, que são prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana. Ao utilizar esses microrganismos, é possível minimizar a poluição do solo e da água, bem como reduzir a contaminação dos alimentos por resíduos de produtos químicos.

Além disso, a utilização desses microrganismos também resulta na melhoria da estrutura do solo, ampliando sua capacidade de reter água e nutrientes. Esse efeito promove um ambiente de crescimento mais propício para as plantas, contribuindo significativamente para o aumento da produtividade e rentabilidade na agricultura (Rezende *et al.*, 2021).

O gênero *Serratia* sp. pertencente à família Enterobacteriaceae, é conhecido por ser frequentemente encontrado como endófito na rizosfera das plantas. Esse microrganismo, quando presente no solo, tem a capacidade de estimular o crescimento das plantas hospedeiras e demonstra um alto potencial de biocontrole por meio de antibiose, por meio da qual produz substâncias como prodígiosina e pirrolnitrina. Além disso, sua habilidade de produzir enzimas líticas, como quitinases e β -1,3-glucanases, é eficaz contra fungos patogênicos presentes no solo (Kshetri; Nassem; Pandey, 2019).

Dentro dos sistemas das plantas, o *Serratia* sp. oferece diversos benefícios, como a produção de fitohormônios e sideróforos, o controle biológico de doenças e a absorção de nutrientes, especialmente de fósforo (Grimont; Grimont, 1992). Estudos sugerem que a inoculação do *Serratia* sp. pode aumentar o potencial de

fitorremediação e a tolerância ao estresse causado por metais pesados, influenciando os atributos fotossintéticos e a expressão dos genes relacionados ao estresse (El-Esawi *et al.*, 2020).

As bactérias do gênero *Bacillus* são amplamente empregadas no biocontrole de doenças de plantas. Reconhecidas por sua capacidade de formar esporos resistentes ao calor e à dessecação, essas bactérias possuem uma notável tolerância a condições adversas, como temperaturas extremas, variações de pH e baixa umidade. Essas características tornam algumas espécies de *Bacillus* extremamente úteis à agricultura, atuando como agentes de controle biológico de doenças de plantas (Souza *et al.*, 2011).

Os *Bacillus* sp. são conhecidos por desenvolver estruturas de resistência, como os endósporos, e por produzir uma ampla variedade de antibióticos. Na agricultura, esses microrganismos desempenham um papel significativo devido à capacidade de produzir enzimas que promovem a solubilização de nutrientes no solo, tornando-os mais acessíveis para a absorção pelas plantas. Isso resulta em uma maior disponibilidade de nutrientes para as plantas, contribuindo para o aumento da produtividade das culturas e reduzindo a necessidade de adubos químicos e pesticidas prejudiciais. Além disso, essa prática ajuda na preservação do equilíbrio ecológico nos sistemas agrícolas (Diaz, 2018).

As bactérias pertencentes ao gênero *Azospirillum* sp. são de grande importância, conforme discutido por Rodrigues *et al.* (2012), citado por Bulegon *et al.* (2015). Elas desempenham um papel crucial no crescimento das plantas, facilitando a nodulação, a absorção de nutrientes e a fixação biológica de nitrogênio (FBN). Essas bactérias têm a capacidade de produzir compostos que promovem o crescimento ou estimulam a produção desses compostos pelas próprias plantas. Durante a interação planta-microrganismo, foram identificados alguns desses compostos, como a auxina, ácido 3-indolacético (AIA), citocininas, ácido giberélico e outros compostos indólicos (Taiz; Zeiguer, 2009).

Os fungos do gênero *Trichoderma* sp. desempenham um papel de destaque na agricultura devido à sua capacidade de colonizar tanto a rizosfera quanto a parte aérea das plantas, promovendo, assim, o crescimento vegetal (Mayo Pietro *et al.*, 2020). Esses fungos oferecem uma ampla gama de mecanismos para o controle biológico, como parasitismo, hiperparasitismo, antibiose, competição e indução de resistência das plantas a doenças (Guimarães *et al.*, 2018). Além disso, liberam uma variedade

de metabólitos, tanto voláteis quanto não voláteis (Cadore *et al.*, 2018). Outro mecanismo essencial é a capacidade desses fungos de reconhecer, aderir, penetrar e resistir a metabólitos tóxicos, como fitoalexinas, flavonóides, agliconas, fenóis, terpenóides e outros compostos antimicrobianos produzidos pelas plantas em resposta à invasão por patógenos (Chagas Junior *et al.*, 2019).

Estudos demonstram que o fungo *Trichoderma* desempenha um papel significativo como promotor de crescimento vegetal. Sua presença está associada ao desenvolvimento e ao rendimento das culturas, além de contribuir para a nutrição das plantas e a melhoria da solubilização de fosfato, aumentando a eficiência do uso de nitrogênio. Quando combinado com outras espécies, como *Bacillus* sp. ou *Rhizobium* sp., ele induz mecanismos de defesa contra estresses tanto bióticos quanto abióticos. Especificamente, demonstra eficácia na mitigação do estresse salino e outros estresses minerais (Taiz; Zeiguer, 2009; Chagas *et al.*, 2017; Rubio *et al.*, 2017).

3 METODOLOGIA

O experimento foi conduzido na Unidade de Microbiologia Agrícola Laboratório na Fazenda Capivara, sede da Embrapa Arroz e Feijão, localizada no município de Santo Antônio de Goiás, Goiás, Brasil, em setembro de 2023.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 6 (seis) tratamentos e 6 (seis) repetições. Os tratamentos consistiram da microbiolização das sementes (processo que coloca as sementes em contato com a solução do microrganismo a ser testada) em terras altas cultivar de arroz BRS A501 CL com os microrganismos multifuncionais, o controle (tratamento sem microrganismos), *Serratia marcescens* (BRM 32114), *Azospirillum brasilense* (AbV5), *Bacillus* sp. (BRM 63573), *Trichoderma koningiopsis* (T-26) e a combinação de todos os microrganismos também foram usados. Os microrganismos multifuncionais utilizados neste experimento foram depositados na coleção de microrganismos de importância agropecuária da Embrapa Arroz e Feijão.

Para gerar as suspensões de cada microrganismo, os métodos utilizados pelos pesquisadores Nascente *et al.* (2017) foram, resumidamente, isolados de culturas de microrganismos multifuncionais cultivadas em meio sólido (ágar nutriente) e as suspensões foram preparadas em meio líquido 523 (caldo nutriente) (Kado e Heskett, 1970) em um agitador a incubadora por 24 horas a 28°C.

As sementes foram desinfetadas por imersão em sódio 7,5% hipoclorito por 7 minutos, e drenado após 3 minutos; em seguida as sementes foram embebidas em álcool 70% por 5 minutos, escorridas e depois enxaguadas com água destilada três vezes. Para que pudessem secar, as sementes de arroz de terras altas foram colocadas em uma toalha de papel contida em uma bandeja em uma sala de secagem de temperatura a 29°C antes da microbiolização.

A microbiolização foi feita com a imersão das sementes de arroz de terras altas na suspensão rizobactéria, e para o tratamento controle, as sementes foram imersas em água destilada, por 24 horas, à temperatura de 25°C, sob constante agitação, seguindo a metodologia proposta de Filippi *et al.* (2011).

As sementes foram colocadas em tubos de ensaio após secagem com a ponta de uma espátula. Cada tubo da unidade experimental, composto por dois montantes cultivados de sementes de arroz (BRS A501 CL), foram colocadas para germinar em recipientes de 50 mL, os tubos de ensaio de volume contendo 15 mL de meio ágar-água (0,8 m/v). Os tubos foram colocados em sala de germinação a 28°C com período de 12 horas fotoperíodo e removidos 15 dias após a semeadura (Nascente *et al.*, 2023).

As mudas foram retiradas dos tubos de ensaio, fotografadas com câmera e o processamento de imagem foi realizado. As imagens obtidas foram analisadas utilizando o *software* WinRHIZO 2008. Com o *software*, estes parâmetros foram determinados: Comprimento Total da Raiz (cm), Área de superfície (cm²), Diâmetro da Raiz (cm), relação comprimento e volume (cm/cm³) e Volume da Raiz (cm³).

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando a significância foi detectada, as médias foram comparadas usando o Teste de tukey ($p < 0,05$). O pacote estatístico SISVAR foi utilizado para processar esses dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se variação no comprimento total da raiz (de 21,6 a 75,6 cm), na área superficial (de 37,3 a 109,8 cm²), no diâmetro (de 1,3 a 1,9 cm), na relação comprimento e volume (de 78,4 a 183,6 cm/cm³) e o volume (variou de 0,2 a 0,6 cm³), de todas as mudas de arroz de terras altas que foram afetadas por microrganismos e diferiram do controle (sem microrganismos) (Tabela 01).

Os maiores valores para o comprimento da raiz (cm) das mudas de arroz de

terras altas foram obtidos com os tratamentos: *Bacillus sp.* (BRM 63573), controle (sem microrganismo) e *Azospirillum braziliensis* (AbV5) que foram 75,5, 55,9 37,2 cm, respectivamente e significativamente superior aos demais tratamentos (Gráfico 01). Além disso, o *Bacillus sp.* foi maior aproximadamente 35% do comparado ao controle. Nesse contexto, observa-se um aumento significativo nos processos fisiológicos das plantas tratadas em comparação com as não tratadas. Segundo Nascente *et al.* (2017), a comparação entre plantas de arroz tratadas e não tratadas revelou uma fotossíntese mais eficiente, uma maior permeabilidade dos estômatos é um processo de transpiração mais ativo, essenciais para a troca gasosa que pode contribuir de forma substancial para o crescimento das plantas de arroz (Gráfico 01).

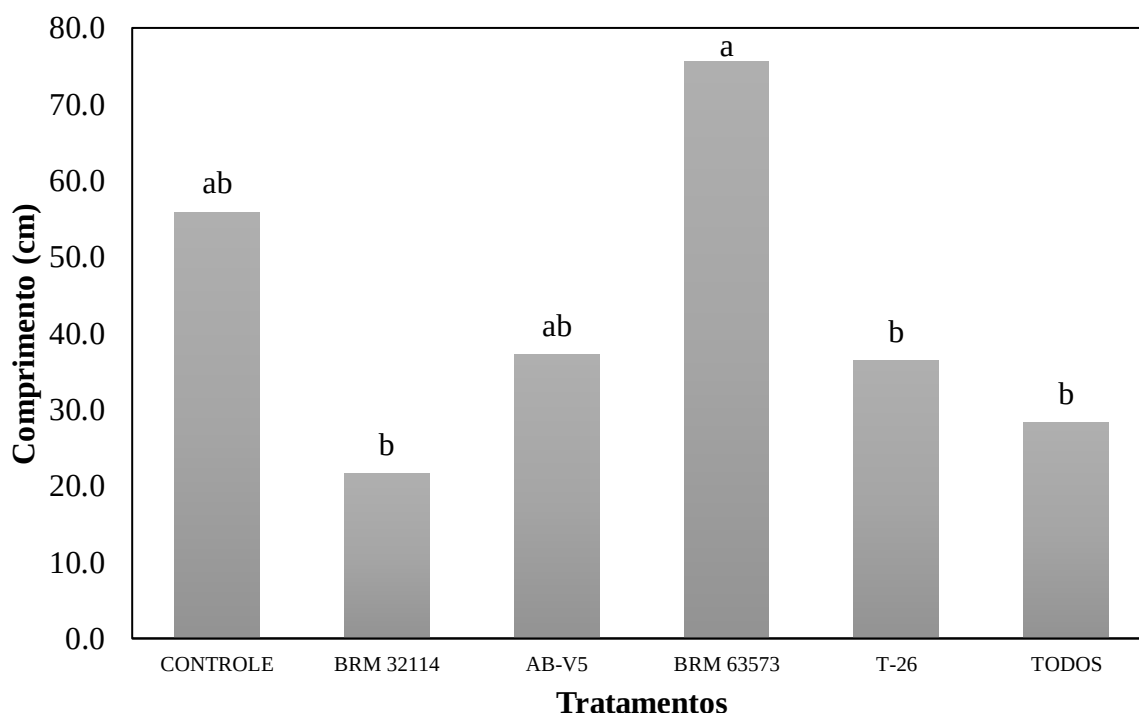
Tabela 01 – Microrganismos promotores de crescimento em todos os parâmetros analisados nas mudas de arroz de terras altas cultivar A 501 CL aos quinze dias após a semeadura, em função da aplicação de *Serratia marcescens* (BRM 32114), *Azospirillum braziliensis* (AB V5), *Bacillus sp.* (BRM 63573), *Trichoderma koningiopsis* (T-26), Controle (sem microrganismos) e com todos os microrganismos.

Tratamentos	Comprimento	Área de superfície	Diâmetro	Comp/Vol	Volume da Raiz
	cm	cm ²	cm	cm/cm ³	cm ³
CONTROLE	55,9 ab	109,8 a	1,26 a	146 a	0,42 ab
BRM 32114	21,6 b	59,4 ab	1,61 a	78 a	0,25 b
AB-V5	37,2 ab	58,6 ab	1,90 a	140 a	0,40 ab
BRM 63573	75,5 a	87,3 ab	1,76 a	120 a	0,62 a
T-26	36,4 b	57,9 ab	1,44 a	182 a	0,24 b
TODOS	28,3 b	37,3 b	1,68 a	183 a	0,17 b
ANAVA- Probabilidade do teste F					
Tratamentos (T)	0,0023*	0,0417*	0,1788 ^{NS}	0,2912 ^{NS}	0,009*
CV(%)	52,06	55,61	27,02	60,32	57,88

Médias seguidas das mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). ns Interações não significativas entre os fatores.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Gráfico 01 – Microrganismos promotores de crescimento no comprimento total de raízes de mudas de arroz de terras altas cultivar A 501 CL aos quinze dias após a semeadura, em função da aplicação de *Serratia marcescens* (BRM 32114), *Azospirillum braziliensis* (AB V5), *Bacillus sp.* (BRM 63573), *Trichoderma koningiopsis* (T-26), Controle (sem microrganismos) e com todos os microrganismos.

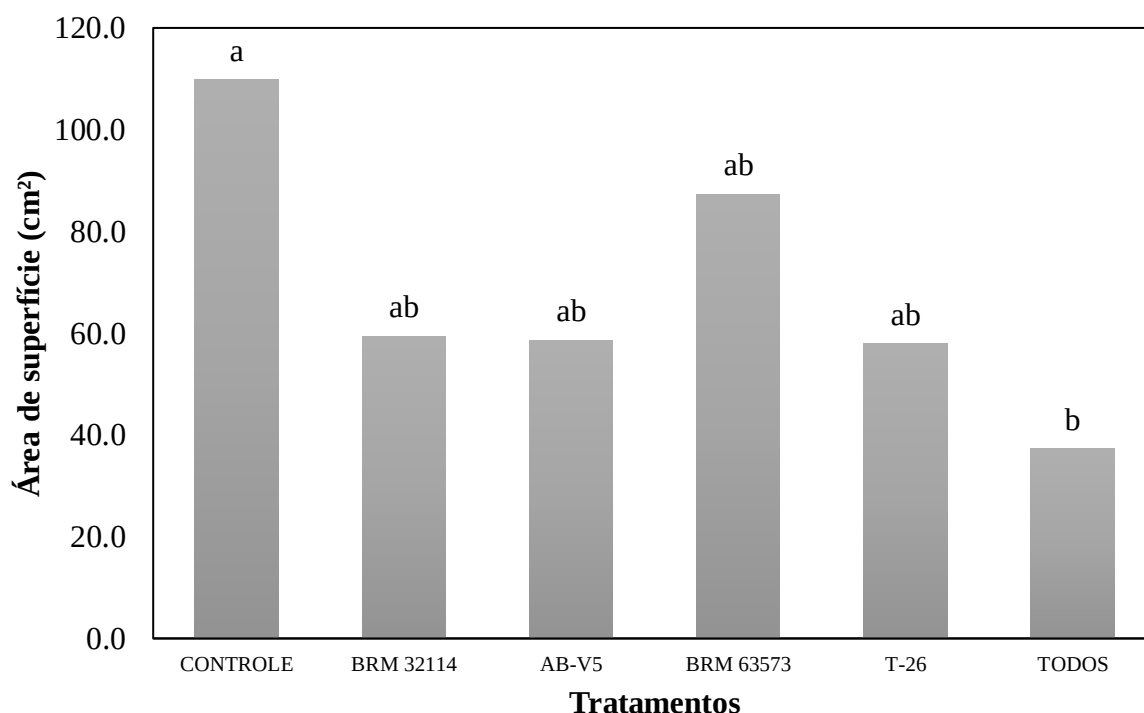


Médias seguidas das mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). ns Interações não significativas entre os fatores.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

A inoculação de forma simples ou combinada afetou significativamente a área radicular (Gráfico 02). A aplicação nas mudas de arroz de terras altas com controle (109,8 cm²), BRM 63573 (87,3 cm²), BRM 32114 (59,4 cm²), ABV5 (58,6 cm²) e T-26 (58 cm²), apresentaram a maior área radicular, comparado ao outro tratamento. Desta forma, os que foram colocados todos os microrganismos, apresentou a menor área radicular (37,3 cm²). Essas descobertas são altamente promissoras, uma vez que o desenvolvimento de raízes mais longas em plantas pode significar um acesso ampliado à água e nutrientes do solo. Isso, por sua vez, se traduz em uma melhoria na capacidade de absorção, na eficiência fotossintética e no crescimento global das plantas (Dhouib *et al.*, 2019; Caballero-Mellado, 2006; Taiz; Zeiger, 2009). Essa resposta pode levar a plantas mais robustas e com maior produtividade (Bashan; Holguin; De-Bashan, 2004; Hungria, 2011).

Gráfico 02 – Microrganismos promotores de crescimento na área de superfície de raízes de mudas de arroz de terras altas cultivar A 501 CL aos quinze dias após a semeadura, em função da aplicação de *Serratia marcescens* (BRM 32114), *Azospirillum brasilense* (AB V5), *Bacillus sp.* (BRM 63573), *Trichoderma koningiopsis* (T-26), Controle (sem microrganismos) e com todos os microrganismos.



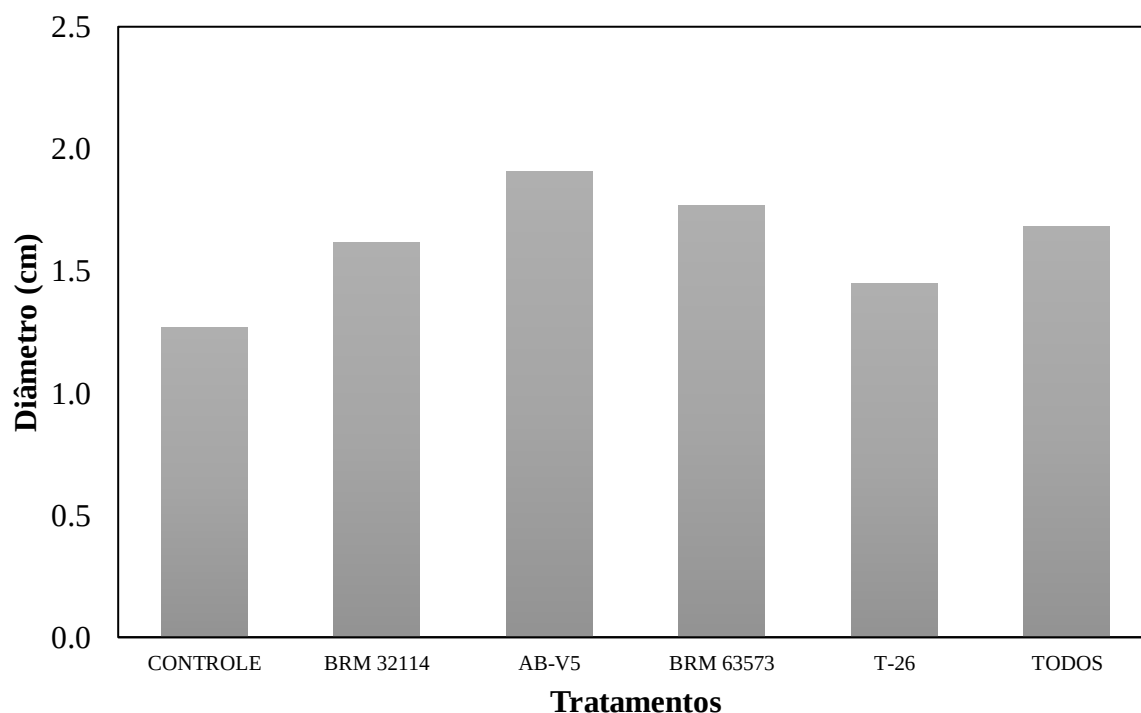
Médias seguidas das mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). ns Interações não significativas entre os fatores.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

A inoculação dos microrganismos multifuncionais não afetou significativamente o diâmetro da raiz (Gráfico 03); porém, o controle apresentou o menor valor. Isso é bastante consistente com as descobertas de Wijayanto *et al.* (2021), que afirmaram que o uso de PGPR aumentou significativamente o comprimento das raízes, o peso seco das raízes e dos caules, o desenvolvimento radicular e o teor de nitrogênio nas raízes das plantas de arroz, ou seja, esses resultados reforçam a importância do uso de PGPR para melhorar a saúde e o desempenho das plantas. A inoculação das mudas de terras altas de arroz apresentou os seguintes valores: ABV5 (1,9 cm), BRM 63573 (1,8 cm), TODOS (1,7 cm), BRM 32114 (1,6 cm), T-26 (1,4 cm) e Controle (1,3 cm). Assim, o tratamento ABV5 apresentou um valor aproximadamente 46,1% maior que o controle. Desta forma, as rizobactérias multifuncionais têm a capacidade de melhorar o desenvolvimento radicular através de vários mecanismos, incluindo a síntese de fitohormônios como o AIA (ácido indolacético) e o aumento da disponibilidade de nutrientes (Taiz; Zeiger, 2009).

Gráfico 03 – Microrganismos promotores de crescimento no diâmetro total de raízes de mudas de arroz de terras altas cultivar A 501 CL aos quinze dias após a semeadura, em função da aplicação de *Serratia marcescens* (BRM 32114), *Azospirillum brasilense* (AB V5), *Bacillus sp.* (BRM 63573), *Trichoderma koningiopsis*

(T-26), Controle (sem microrganismos) e com todos os microrganismos.

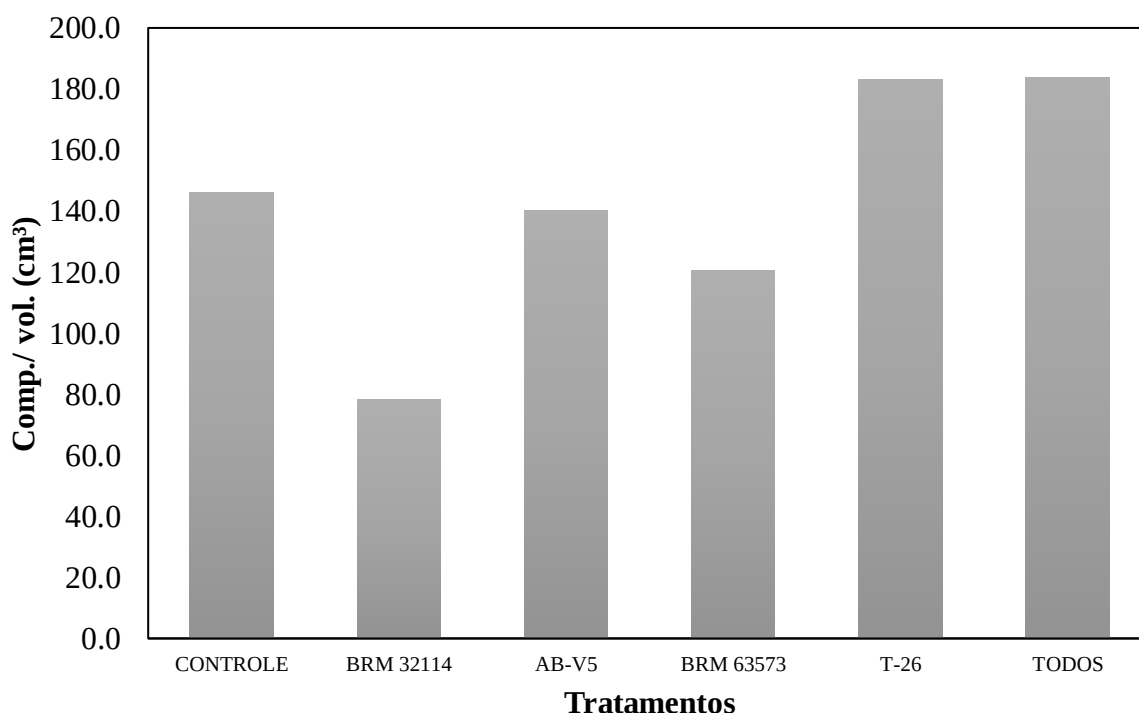


Médias seguidas das mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). ns Interações não significativas entre os fatores.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Os dados da relação comprimento com volume não foram significativos (Gráfico 04); no entanto, os valores onde apresentaram a aplicação de todos os microrganismos ($183,6 \text{ cm/cm}^3$) foi superior a 25,66% comparado com o controle. Nesse sentido, pode-se depreender que os microrganismos benéficos têm a capacidade de colonizar o sistema radicular, estimulando um maior desenvolvimento das raízes. Isso resulta em uma absorção e utilização mais eficientes dos nutrientes pelas plantas, além de aumentar a resistência a estresses abióticos, o que, por sua vez, contribui para um aumento na produtividade das culturas (Chagas *et al.*, 2016).

Gráfico 04 – Microrganismos promotores de crescimento na relação comprimento e volume de raízes de mudas de arroz de terras altas cultivar A 501 CL aos quinze dias após a semeadura, em função da aplicação de *Serratia marcescens* (BRM 32114), *Azospirillum brasilense* (AB V5), *Bacillus sp.* (BRM 63573), *Trichoderma koningiopsis* (T-26), Controle (sem microrganismos) e com todos os microrganismos.

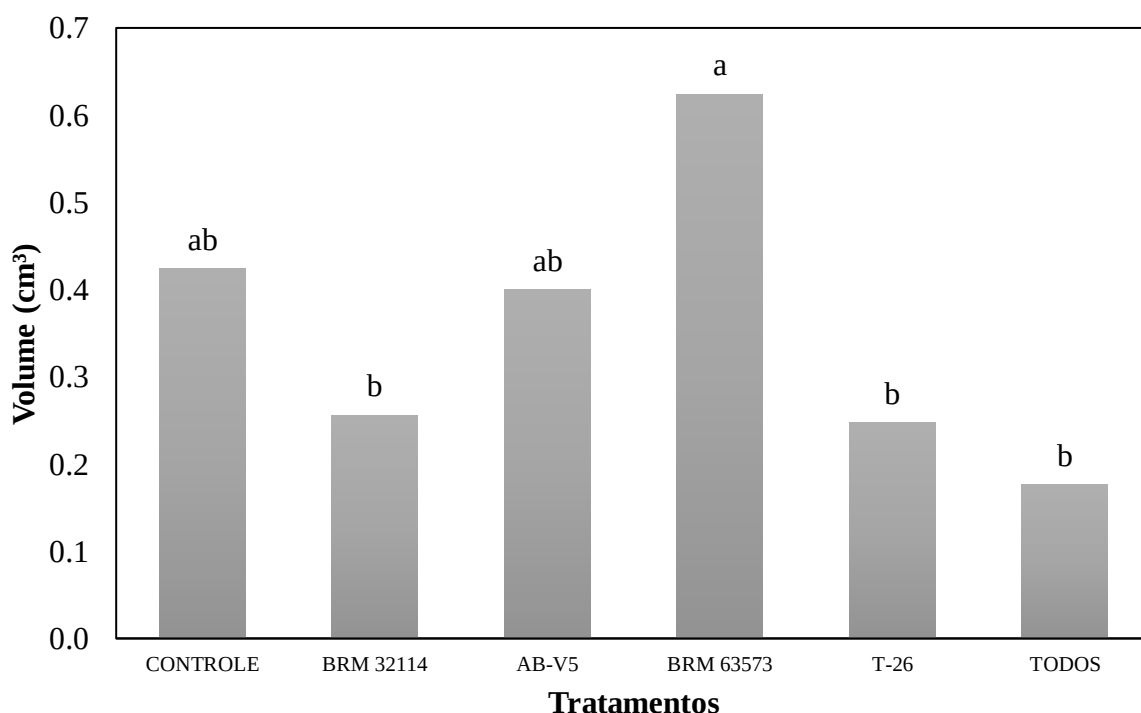


Médias seguidas das mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). ns Interações não significativas entre os fatores.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Observou-se a inoculação de mudas de arroz de terras altas nos tratamentos; controle, BRM 32114, ABV5, BRM 63573, T-26 e Todos, o que levou a um aumento significativo - maior aumento no volume radicular (Vol R), com 0,4, 0,3, 0,4, 0,6, 0,2 e 0,2 cm³, respectivamente (Gráfico 05). Portanto, o tratamento BRM 63573 apresentou o valor de 50% maior que o controle. Assim, percebe-se que a ampliação desse parâmetro pode ser atribuída à elevada produção de fitormônios pelos microrganismos envolvidos, evidenciando resultados superiores nos tratamentos com rizobactérias em relação ao controle (sem microrganismos), especialmente no desenvolvimento radicular (Chagas Júnior *et al.*, 2015).

Gráfico 05 – Microrganismos promotores de crescimento no volume de raízes de mudas de arroz de terras altas cultivar A 501 CL aos quinze dias após a semeadura, em função da aplicação de *Serratia marcescens* (BRM 32114), *Azospirillum brasilense* (AB V5), *Bacillus sp.* (BRM 63573), *Trichoderma koningiopsis* (T-26), Controle (sem microrganismos) e com todos os microrganismos.

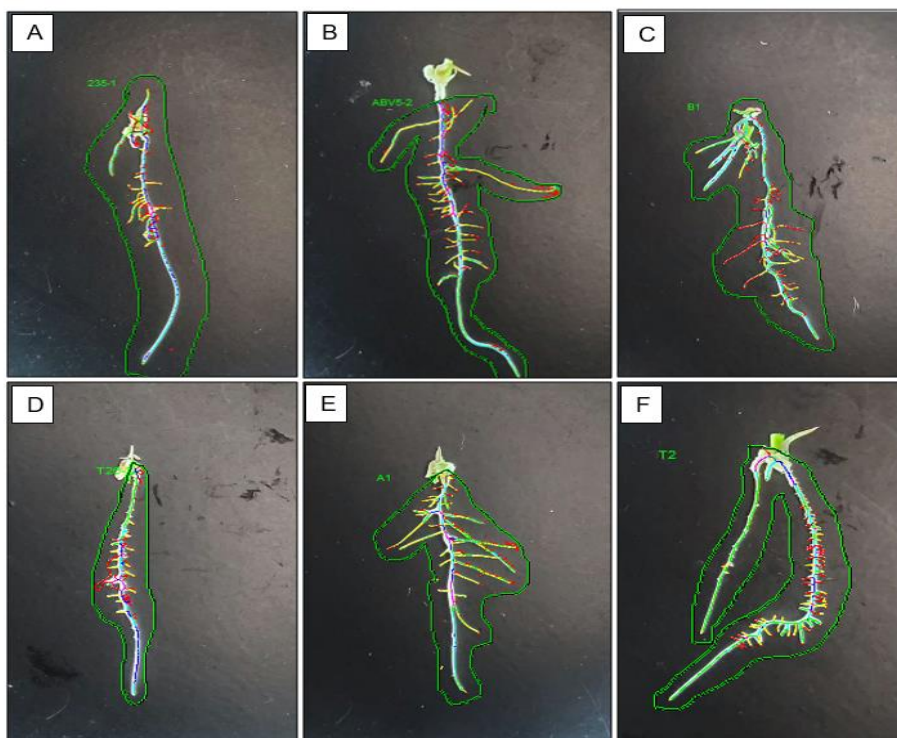


Médias seguidas das mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). ns Interações não significativas entre os fatores.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Observou-se que esses microrganismos promovem melhorias no comprimento, área de superfície, diâmetro e volume radicular do arroz de sequeiro. Com o aumento do desenvolvimento radicular, é provável que a absorção e a captação de nutrientes se intensifiquem, já que as plantas de arroz podem explorar uma área maior do solo. Isso poderia resultar em uma redução na necessidade de aplicação de fertilizantes sintéticos para o cultivo de arroz.

Figura 1- Sistema radicular de plântulas de arroz submetidas à microbiolização com microrganismos multifuncionais: (A) *Serratia marcescens* (BRM 32114), (B) *Azospirillum braziliensis* (AB V5), (C) *Bacillus sp.* (BRM 63573), (D) *Trichoderma koningiopsis* (T-26), (E) Controle (sem microrganismos) e (F) todos os microrganismos. As plântulas de milho foram fotografadas 15 dias após a semeadura com câmera fotográfica digital; as imagens foram analisadas usando o software WhinRHIZO 2008.



Fonte: Autoria própria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As plântulas de arroz tratadas com os microrganismos multifuncionais *Bacillus* sp. (BRM 63573) e *Azospirillum* sp. (BRM 63574) apresentaram incremento no comprimento da raiz, na área de superfície e no volume da raiz. O isolado *Bacillus* sp. (BRM 63573) proporcionou maiores valores nas variáveis de comprimento total e no volume comparado ao controle. A utilização de microrganismos multifuncionais é alternativa promissora para o melhor desenvolvimento radicular e aéreo de plântulas de arroz de terras altas.

REFERÊNCIAS

- BASHAN, Y.; HOLGUIN, G.; DE-BASHAN, L. E. *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). **Canadian Journal of Microbiology**, 50(8), 521-577. doi: 10.1139/w04-035, (2004).
- BERENDSEN, R. L.; PIETERSE, C.M.; BAKKER, PAHM. The rhizosphere microbiome and plant health. **Trends Plant Science** 17(8):478-86, 2012.
- BULEGON, L. G.; RAMPIM, L.; KLEIN, J.; KESTRING, D.; GUIMARÃES, V. F.; BATTISTUS, A. G.; INAGAKI, A. M. Componentes de produção e produtividade da cultura da soja submetida à inoculação de *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*. **Terra Latinoamericana, Chapingo-México**, v. 34, n. 2, p. 169-176, 2015.

CABALLERO-MELLADO, J. Microbiologia agrícola e interacciones microbianas con plantas. **Revista Latinoamericana de Microbiología**, 48(2), 154-161, 2006.

CADORE, L. S.; VEY, R. T., FRESINGHELLI; J. C. F., DOTTO; L. ETHUR, L. Z. Evaluation of initial growth of soybean using *Trichoderma* formulations. **Enciclopédia Biosfera**, 15 (27), 170-179, 2018.

CHAGAS, L. F. B.; CHAGAS JUNIOR, A. F.; SOARES, L. P.; FIDELIS, R. R. *Trichoderma* na promoção do crescimento vegetal. **Revista de Agricultura Neotropical**, 4 (3), 97-102, 2017.

CHAGAS JUNIOR, A. F.; CHAGAS, L. F. B.; CARVALHO, M. R. de; MILLER, L. de O.; COLONIA, B. S. O. Evaluation of the phosphate solubilization potential of *Trichoderma* strains (*Trichoplus* JCO) and effects on rice biomass. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition** 15(3):794-804, 2015.

CHAGAS, L. F. B.; CASTRO, H.G.; COLONIA, B. S. O.; CARVALHO FILHO, M. R.; MILLER, L. O.; CHAGAS JUNIOR, A. F. Efficiency of *Trichoderma* spp. as a growth promoter of cowpea (*Vigna unguiculata*) and analysis of phosphate solubilization and indole acetic acid synthesis. **Brazilian Journal of Botany**, v. 39, n. 2, p.437- 445, 2016.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **A cultura do arroz**. Organizador Aroldo Antonio de Oliveira Neto. Brasília: CONAB, 180 p. 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 17 ago. 2023

COUTO DE ARAUJO, F.; NASCENTE, A. S.; FILIPPI, M. C. C.; SILVA, M. A.; SOUZA, V. S.; LANNA, A. C.; Cover crops and multifunctional microorganisms can affect development of upland rice. **Australian Journal of Crop Science** 15(1):137-144, 2021.

CRUZ, D. R. C.; SILVA, M. A.; NASCENTE, A. S.; FILIPPI, M. C. C.; FERREIRA, E. P. de B. Use of multifunctional microorganisms in corn crop. **Revista Caatinga**, 36:349-361, 2023.

DHOUIB, H.; ZOUARI, I.; ABDALLAH, D. B.; BELBAHRI, L.; TAKTAK, W.; TRIKI, M. A.; TOUNSI, S. Potential of a novel endophytic *Bacillus velezensis* in tomato growth promotion and protection against *Verticillium* wilt disease. **Biological Control**, 2019.

DIAZ, P. A. E. **Bacillus spp. como promotores de crescimento na cultura do algodão**. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista - Unesp Câmpus de Jaboticabal, VII, 46 p, 2018.

EL-ESAWI, M. A (*et al.*). *Serratia marcescens* BM1 Enhances Cadmium Stress Tolerance and Phytoremediation Potential of Soybean Through Modulation of

Osmolytes, Leaf Gas Exchange, Antioxidant Machinery, and Stress-Responsive Genes Expression. **Antioxidants**, v.9, n. 43, p. 2-17, 2020.

FERNANDES, J. P. T.; NASCENTE, A.S.; FILIPPI, M. C. C.; SILVA, M. A. Upland rice seedlings performance promoted by multifunctional microorganisms. *Semina. Ciências Agrárias* 42(1):429-438, 2021.

FILIPPI, M. C. C.; SILVA, G. B.; SILVA-LOBO, V. L.; CÔRTEZ, M. V. C. B.; MORAES, A. J. G.; PRABHU, A. S. Leaf blast (*Magnaporthe oryzae*) suppression and growth promotion by rhizobacteria on aerobic rice in Brazil. **Biological Control** 58(2):160-166, 2011.

GRIMONT, F.; GRIMONT, P.A.D. The genus *Serratia*. In: BALLOWS, A. The Prokaryotes. **New York: Springer-Verlag**, v. 3, p. 2822-2848, 1992.

GUIMARÃES, G. R.; PEREIRA, F. T.; MELLO, S. C. M.; CARVALHO, D. D. C. **Employment of Trichoderma to control Cladosporium sp. and Sclerotinia sclerotiorum and bean growth promoting in Brazil.** *Caderno de Pesquisa*, 30 (2), 28-37, 2018.

HEINEMANN, A. B.; SILVA, S. C. da; PINHEIRO, Beatriz da Silveira. **Arroz.** Portal EMBRAPA, migrado na integra em 19 mi. 2021.

HUNGRIA, M. **Inoculação com Azospirillum brasilense: inovação em rendimento a baixo custo.** 2011.

KADO, C. I.; HESKETT, M. G. Selective media for Isolation of *Agrobacterium*, *Corynebacterium*, *Erwinia*, *Pseudomonas*, and *Xanthomonas*. **Phytopathology** 60(6):969-976, 1970.

KSHETRI, L.; NASSEM, F.; PANDEY, P. **Role of Serratia sp. as biocontrol agent and plant growth stimulator, with prospects of biotic stress management in plant.** *plant growth promoting rhizobacteria for sustainable stress management*, v.13, p. 169-200, 2019.

MAYO PIETRO, S.; CAMPELO, M. P.; LORENZANA, A.; RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, A.; REINOSO, B.; GUTIÉRREZ, S.; CASQUERO, P. A. Antifungal activity and bean growth promotion of *Trichoderma* strains isolated from seed vs soil. **European Journal of Plant Pathology**, 158, 817-828, 2020.

NASCENTE, A. S.; FILIPPI, M. C. C.; LANNA, A. C.; SILVA, G. B. da. **Microrganismo multifuncional Serratia sp. e doses de macronutrientes afetando o desenvolvimento da cultura do arroz de terras altas.** Santo Antônio de Goiás EMBRAPA Arroz e Feijão. 20 p. - (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Arroz e Feijão, 2020.

NASCENTE, A. S.; TEMITOPE, I. Z.; FILIPPI, M. C. C.; CRUZ, D. R. C. Beneficial microorganisms as affecting root development of upland rice. **African Journal of Microbiology**. Vol. 17(8), pp. 184-192, 2023.

NASCENTE, A.S. *et al.* Effects of beneficial microorganisms on lowland rice development. **Environmental Science and Pollution Research**, v.24, n.32, p.25233-25242, 2017.

REZENDE, C. C.; REZENDE, C. C.; SILVA, M. A.; PIRES, R. A. C.; LANNA, A. C.; FILIPPI, M. C. C.; NASCENTE, A. S. Physiological and agronomic characteristics of the common bean as affected by multifunctional microorganisms. *Seminário de Ciências Agrárias* 42(2):599-618, 2021.

REZENDE, C. C.; SILVA, M. A.; FRASCA, L. L.de M.; FILIPPI, M. C. C.; LANNA, Anna Cristina; NASCENTE, Adriano Stephan. Microrganismos multifuncionais: utilização na agricultura. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, 2021.

RODRIGUES, A. C. *et al.* Resposta da co-inoculação de bactérias promotoras de crescimento em plantas e *Bradyrhizobium* sp. em caupi. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 196-202, 2012.

RUBIO, M. B.; HERMOSA, R.; VICENTE, R.; GÓMEZ-ACOSTA, F. A.; MORCUENDE, R., MONTE; E. & BETTIOL, W. The Combination of *Trichoderma harzianum* and Chemical Fertilization Leads to the Deregulation of Phytohormone Networking, Preventing the Adaptive Responses of Tomato Plants to Salt Stress. **Frontiers in Plant Science**, 8 (294), 1- 14, 2017.

SILVA, M. A.; NASCENTE, A. S.; FILIPPI, M. C. C.; FRASCA, L. L. M.; REZENDE, C. C. Sustainable agricultural practices to improve soil quality and productivity of soybean and upland rice. **Australian Journal of Crop Science** 17(1):61-68, 2023.

SILVA, M. A.; NASCENTE, A. S.; REZENDE, C. C.; FRASCA, L. L. M.; FILIPPI, M. C. C.; LANNA, A. C.; FERREIRA, E. P. B.; CRUZ, D. R. C.; LACERDA, M. C.; FERREIRA, E. A. S. Multifunctional rhizobacteria: use in agriculture. **Research, Society and Development** 11:e3111426971, 2022.

SOUSA, I. M.; NASCENTE, A. S.; FILIPPI, M. C. C.; LANNA, A. C. *Trichoderma asperellum* and rhizobacteria improving biomass accumulation and gas exchange of lowland rice. **Colloquium Agrariae** 17:67-76, 2021.

SOUZA, W. R.; PARMA, M. M.; SANTOS, S. N.; ÁVILA, L. A.; PELLIZARI, V. H.; MELO, I. S. **Isolamento de bacillus sp. e gêneros correlatos de ecossistemas antárticos e potencial de prospecção para descoberta de antibióticos**. Campinas: 5º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica - CIIC 2011 9 a 11 de agosto de 2011.

SUN X, CHEN F, YUAN L, MI G. The physiological mechanism underlying root elongation in response to nitrogen deficiency in crop plants. **Planta** 251(4):84, 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal** (pp. 1-848). Porto Alegre, 2009.

TOJU, H.; PEAY, K. G.; YAMAMICHI, M.; NARISAWA, K.; HIRUMA, K.; NAITO, K.; FUKUDA, S.; USHIO, M.; NAKAOKA, S.; ONODA, Y. Core microbiomes for sustainable agroecosystems. **Nature Plants** 4:247-257, 2018.

WHITE PJ. **Root traits benefitting crop production in environments with limited water and nutrient availability**. Annals of Botany 124(6):883-890, 2019.

WIJAYANTO, T.; SUSANTI, Y.; RAHNI, N. M.; TUFAILA, M. REMBON, F. S. Seedling-stage screening method for tolerance of upland rice genotypes to low ph stress. International Conference on Agriculture, **Environment and Food Security** 782:1-6, 2021.