



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO**

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DO ARROZ DE TERRAS ALTAS EM
CONDIÇÕES CONTROLADAS, PROMOVIDO POR MICRORGANISMOS
MULTIFUNCIONAIS**

JOÃO PEDRO TAVARES FERNANDES

Orientador:

Dr. Adriano Stephan Nascente

Coorientadora:

Dr^a. Marta Cristina Corsi de Filippi

Fevereiro – 2020

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES
NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o(a) autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico: ☒ **Dissertação** ☐ **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

Nome completo do(a) autor(a): João Pedro Tavares Fernandes

Título do trabalho: DESEMPENHO AGRONÔMICO DO ARROZ DE TERRAS ALTAS EM CONDIÇÕES CONTROLADAS, PROMOVIDO POR MICRORGANISMOS MULTIFUN-
CIONAIS.

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento ☐ **SIM** ☒ **NÃO¹**

Independente da concordância com a disponibilização eletrônica, é imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.


Assinatura do(a) autor(a)²

Ciente e de acordo:


Assinatura do(a) orientador(a)²

Data: 15/03/2020

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante: a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a); b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

² As assinaturas devem ser originais sendo assinadas no próprio documento. Imagens coladas não serão aceitas.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: ☒ Dissertação ☐ Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação

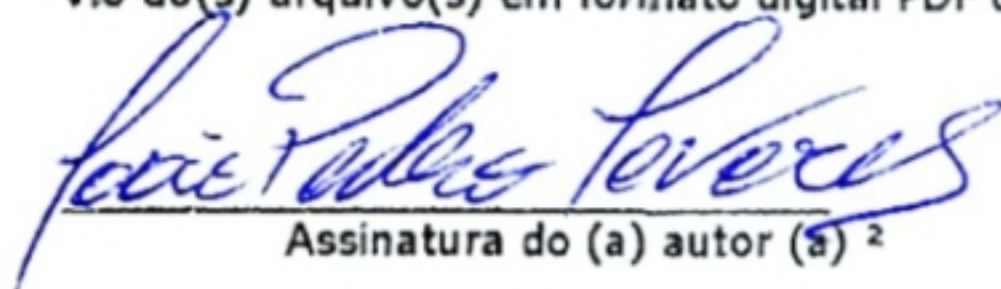
Nome completo do autor: João Pedro Tavares Fernandes

Título do trabalho: Desempenho agrônomo do arroz de terras altas em condições controladas, promovido por microrganismos multifuncionais.

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento ☒ SIM ☐ NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.



Assinatura do (a) autor (a) ²

Data: 30 / 08 / 2022

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação de curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

² A assinatura deve ser escaneada.

JOÃO PEDRO TAVARES FERNANDES

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DO ARROZ DE TERRAS ALTAS EM
CONDIÇÕES CONTROLADAS, PROMOVIDO POR MICRORGANISMOS
MULTIFUNCIONAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Área de concentração: Produção Vegetal

Orientador:

Dr. Adriano Stephan Nascente

Coorientadora:

Dr^a. Marta Cristina Corsi de Filippi

Goiânia, GO
Fevereiro - 2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Tavares Fernandes, João Pedro
DESEMPENHO AGRONÔMICO DO ARROZ DE TERRAS ALTAS
EM CONDIÇÕES CONTROLADAS, PROMOVIDO POR
MICROORGANISMOS MULTIFUNCIONAIS [manuscrito] / João Pedro
Tavares Fernandes. - 2020.
LXXV, 75 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Stephan Nascente; co-orientador Dr.
Marta Cristina Corsi de Filippi.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola
de Agronomia (EA), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Cidade
de Goiás, 2020.

Bibliografia.

Inclui siglas, mapas, fotografias, abreviaturas, símbolos, tabelas.

1. Oryza sativa. 2. Mix de microrganismos multifuncionais. 3.
rizobactérias. 4. Trichoderma. 5. sustentabilidade. I. Stephan
Nascente, Adriano, orient. II. Título.

CDU 631/635



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

ESCOLA DE AGRONOMIA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

TA Nº 07 DA SESSÃO DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE JOÃO PEDRO TAVARES FERNANDES, QUE CONFERE O TÍTULO DE MESTRE EM AGRONOMIA, NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

Aos vinte dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte (20.02.2020), às 08h30min, na sala de reuniões do escritório técnico da Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás, foram instalados os trabalhos pelo orientador e presidente da Banca Examinadora, Dr. Adriano Stephan Nascente - Embrapa Arroz e Feijão, com a participação dos demais membros: Profª. Drª. Marta Cristina Corsi de Filippi - Embrapa Arroz e Feijão, Drª. Valécia Lemes da Silva Lobo - Embrapa Arroz e Feijão e Dr. Mábio Chrisley Lacerda - Embrapa Arroz e Feijão, para a realização da sessão pública da defesa de Dissertação intitulada: "DESEMPENHO AGRONÔMICO DO ARROZ DE TERRAS ALTAS EM CONDIÇÕES CONTROLADAS PROMOVIDO POR MICRORGANISMOS MULTIFUNCIONAIS", de autoria de **João Pedro Tavares Fernandes**, discente do curso de **Mestrado**, na área de concentração em **Produção Vegetal**, do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFG. O presidente da sessão apresentou formalmente os membros da Banca Examinadora e em seguida passou a palavra ao mestrando que em quarenta minutos apresentou o seu trabalho. Após a exposição, o candidato foi arguido pelos membros da banca. Terminada a fase de arguição, procedeu-se à avaliação da defesa. De acordo com a Resolução CEPEC 1403/2016, de 10 de junho de 2016 que regulamenta os Programas de Pós-Graduação *Stricto Sensu* na UFG, a Banca Examinadora considerou a Dissertação "**APROVADA**", com as correções recomendadas, estando integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE** em Agronomia, na área de concentração em **PRODUÇÃO VEGETAL**, pela Universidade Federal de Goiás. O mestrando poderá efetuar as modificações sugeridas pela Banca Examinadora e encaminhar nova versão eletrônica da Dissertação à Secretaria do PPGA, no prazo máximo de trinta dias após a data da defesa. A Banca Examinadora recomendou a publicação de artigo(s) científico(s), oriundo(s) dessa Dissertação, em periódicos de circulação nacional e, ou, internacional, depois de acatadas as modificações sugeridas. Proclamados os resultados pelo Dr. Adriano Stephan Nascente, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos vinte dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte (20.02.2020).

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

"DESEMPENHO AGRONÔMICO DO ARROZ DE TERRAS ALTAS EM CONDIÇÕES CONTROLADAS PROMOVIDO POR MICRORGANISMOS MULTIFUNCIONAIS"



Documento assinado eletronicamente por **ADRIANO STEPHAN NASCENTE**, Usuário Externo, em 20/02/2020, às 15:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.



Documento assinado eletronicamente por **Marta Cristina Corsi de Filippi**, Usuário Externo, em 21/02/2020, às 09:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Goiás, Estrela do Cerrado, que oferece um ambiente harmonioso e cheio de ensinamentos valiosos aos seus alunos.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) que me ofereceu todo o suporte técnico e material para desenvolvimento das pesquisas. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento das pesquisas desenvolvidas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior, pela bolsa de estudo.

Em especial ao meu orientador Dr. Adriano Stephan Nascente, pela paciência, pelos inúmeros ensinamentos, compromisso e dedicação em ensinar.

À minha coorientadora Dr^a. Marta Cristina Corsi de Filippi pelas orientações no desenvolvimento das pesquisas e incentivo.

À Dr^a. Anna Cristina Lanna, pela colaboração no desenvolvimento das pesquisas.

Ao Dr. Mabio Chrisley Lacerda e Dr^a. Valacia Lemes da Silva Lobo, pelas correções e propostas de correções para melhoria do trabalho.

Aos meus pais Patrícia Tavares da Silva, João Batista Fernandes e ao meu filho Luís Gabriel Elteto Fernandes. Por estar sempre me motivando e me dando força.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

Meu muito Obrigado!

*Á uma força motriz mais poderosa que o vapor, a
eletricidade e a energia atômica: a vontade.*

Albert Einstein

SUMÁRIO

RESUMO.....	10
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO GERAL	13
1.1 REFERÊNCIAS.....	17
2 DESEMPENHO AGRONÔMICO DO ARROZ DE TERRAS ALTAS PROMOVIDO POR MICRORGANISMOS BENÉFICOS (Capítulo 1)	22
Resumo	23
Abstract.....	24
INTRODUÇÃO	25
MATERIAL E MÉTODOS	26
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
CONCLUSÕES	36
AGRADECIMENTOS	36
LITERATURA CITADA	37
3 CARACTERIZAÇÃO FISIO-AGRONÔMICA DO ARROZ DE TERRAS ALTAS INOCULADO COM MIX DE MICRORGANISMOS MULTIFUNCIONAIS (Capítulo 2).....	42
RESUMO.....	43
ABSTRACT.....	44
INTRODUÇÃO	45
MATERIAL E MÉTODOS	46
Caracterização do Local.....	46
Aplicação dos microrganismos.....	47
Preparo das soluções de microrganismos	47
Manejo da cultura	48
Variáveis	48
Trocas gasosas	48
Biomassa seca de parte aérea e raiz	49
Macronutrientes da parte aérea e raiz	49
Produtividade de grãos e componentes de produção	49
Análise estatística	50
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
CONCLUSÕES	57

AGRADECIMENTOS	57
REFERÊNCIAS.....	57
4 DESEMPENHO DE PLÂNTULAS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS PROMOVIDO POR MICRORGANISMOS MULTIFUNCIONAIS (Capítulo 3)....	61
RESUMO.....	62
ABSTRACT.....	63
INTRODUÇÃO	64
MATERIAL E MÉTODOS	65
Caracterização do Local.....	65
Tratamentos e delineamento experimental	65
Microrganismos e aplicação	66
Preparo das suspensões, desinfecção e microbiolização de sementes	66
Teste de vigor das sementes de arroz de terras altas BRS A501 CL	67
Processamento de imagens e avaliações	67
Análise estatística	67
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
CONCLUSÕES	71
REFERÊNCIAS.....	72
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75

RESUMO

FERNANDES, J. P. T. **Desempenho agrônômico do arroz de terras altas em condições controladas, promovido por microrganismos multifuncionais**. 2020. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020.¹

O arroz está entre os três cereais mais consumidos no mundo, é o alimento básico para mais de 50% da população mundial e importante fonte de carboidrato. No Brasil, o arroz de terras altas, dependente da água da chuva, é cultivado em sua maior parte nas regiões Centro-Oeste e Norte. Visando uma produção sustentável, que proporcione maior produtividade, com a utilização de menor quantidade de insumos, torna-se necessário o aprimoramento das técnicas de cultivo, atendendo assim a crescente demanda por alimentos. Nesse sentido, o uso de microrganismos multifuncionais pode ser alternativa estratégica para essa produção sustentável. Isso porque, esses microrganismos proporcionam diversos benefícios diretos e indiretos para as plantas, como a produção de hormônios, sideróforos, solubilizadores de fosfato, melhoria na absorção de nutrientes e nas trocas gasosas e bioproteção contra estresses bióticos e abióticos, fatores que resultam em maior produtividade de grãos das culturas. O uso de mix de microrganismos multifuncionais pode ter efeito benéfico maior quando comparado ao uso de desses mesmos microrganismos utilizados de forma isolada. Entretanto, ainda existem poucos trabalhos sobre o uso de mix de microrganismos multifuncionais na cultura do arroz de terras altas. O objetivo desse trabalho foi determinar o efeito do uso de microrganismos multifuncionais, isolados ou em mix no desempenho da cultura do arroz de terras altas. Para isso, foram conduzidos três experimentos, em delineamento inteiramente casualizado, onde, foram avaliadas as variáveis de produção de biomassa, trocas gasosas, teor de nutrientes acumulado na planta, componentes de produção e produtividade de grãos, comprimento radicular total, diâmetro radicular, volume de raízes e massa seca de raízes em plantas de arroz. No experimento 1, os tratamentos consistiram das rizobactérias *Bacillus* sp. (BRM 32109, BRM 32110 e 1301), *Azospirillum* sp. (1381), *Azospirillum brasilense* (Ab-V5), *Pseudomonas fluorescens* (BRM 32111), *Pseudomonas* sp. (BRM 32112), *Burkholderia pyrrocinia* (BRM 32113), *Serratia* sp. (BRM 32114) e de um pool de *Trichoderma asperellum* (UFRA. T06 + UFRA. T09 + UFRA. T12 + UFRA. T52), aplicados isoladamente ou em mix de dois, três, quatro e cinco microrganismos, totalizando 26 tratamentos. Entretanto, o mix de vários microrganismos não proporcionou incrementos significativos no desenvolvimento das plantas de arroz, devido a possível competição entre eles. Assim, foi feito o segundo experimento em que os microrganismos foram aplicados isoladamente e combinados em pares, totalizando 26 tratamentos. No terceiro experimento, foram testadas as rizobactérias *Pseudomonas fluorescens*. (BRM32111), *Burkholderia pyrrocinia* (BRM 32113), *Serratia* sp. (BRM32114), *Bacillus* sp. (1301), *Azospirillum brasilense* (Ab-V5) e *Azospirillum* sp. (1381), no desenvolvimento radicular de plântulas de arroz. Em todos os experimentos utilizou-se o tratamento controle (sem microrganismos). Com base nos experimentos, infere-se que os tratamentos mais efetivos foram: Experimento I, microrganismos Ab-V5 + *Bacillus* sp., *Bacillus* spp. + *Azospirillum* sp., pool de *Trichoderma asperellum* e *Serratia* sp. + pool de *Trichoderma asperellum*, que proporcionaram os maiores incrementos na produção de biomassa total das plantas de arroz de terras altas com valores de 26,8, 25,4, 23,3 e 21,3%, superior ao tratamento controle, respectivamente. Experimento II, os microrganismos 1301 + Ab-V5 e BRM 32114 + pool de *Trichoderma asperellum*, uma vez que proporcionaram aumento, em média, de 123 e 88% no número de panículas e de 206 e 167% na

produtividade de grão do arroz de terras altas, respectivamente, em comparação ao tratamento controle. E no experimento III o microrganismo *Azospirillum* sp. (1381) proporcionou melhor desempenho dos componentes: comprimento radicular, volume de raízes e massa seca de raízes em plântulas de arroz, correspondendo a 86,34, 111,53 e 29,41%, respectivamente superiores ao tratamento controle. Com base nos resultados obtidos, destaca-se que a utilização de microrganismos multifuncionais pode melhorar significativamente o desempenho da cultura do arroz de terras altas, com destaque para os bons resultados obtidos com a utilização do mix em pares desses microrganismos. Entretanto, apesar dos resultados positivos em condições controladas, há necessidade de novas pesquisas, avaliando os possíveis efeitos benéficos também em condições de campo.

Palavras-chaves: *Oryza sativa*, rizobactérias, *Trichoderma*, sustentabilidade.

¹Orientador: Dr. Adriano Stephan Nascente. Embrapa Arroz e Feijão.

Coorientadora: Dr^a Marta Cristina Corsi de Filippi. Embrapa Arroz e Feijão.

ABSTRACT

FERNANDES, J. P. T. **Agronomic performance of upland rice under controlled conditions, promoted by multifunctional microorganisms.** 2020. 75 f. Dissertation (Master in Agronomy: Plant Production) - School of Agronomy, Federal University of Goiás, Goiânia, 2020.¹

Rice is among the three most consumed cereals in the world, it is the staple food for more than 50% of the world population and an important source of carbohydrates. In Brazil, upland rice, dependent on rainwater, is grown mostly in the Midwest and North regions. Aiming at a sustainable production, which provides greater productivity, with the use of less quantity of inputs, it is necessary to improve cultivation techniques, thus meeting the growing demand for food. In this sense, the use of multifunctional microorganisms can be a strategic alternative for this sustainable production. This is because, these microorganisms provide several direct and indirect benefits to plants, such as the production of hormones, siderophores, phosphate solubilizers, improved nutrient absorption and gas exchange and bioprotection against biotic and abiotic stresses, factors that result in greater productivity crop grain. The use of a mix of multifunctional microorganisms can have a greater beneficial effect when compared to the use of these same microorganisms used in isolation. However, there are still few studies on the use of a mix of multifunctional microorganisms in upland rice culture. The objective of this work was to determine the effect of the use of multifunctional microorganisms, isolated or in mix on the performance of upland rice culture. For this, three experiments were conducted, in a completely randomized design, where the variables of biomass production, gas exchange, accumulated nutrient content in the plant, components of production and grain yield, total root length, root diameter, volume were evaluated roots and root dry matter in rice plants. In experiment 1, the treatments consisted of the rhizobacterias *Bacillus* sp. (BRM 32109, BRM 32110 and 1301), *Azospirillum* sp. (1381), *Azospirillum brasilense* (Ab-V5), *Pseudomonas fluorescens* (BRM 32111), *Pseudomonas* sp. (BRM 32112), *Burkholderia pyrrocinia* (BRM 32113), *Serratia* sp. (BRM 32114) and a pool of *Trichoderma asperellum* (UFRA. T06 + UFRA. T09 + UFRA. T12 + UFRA. T52), applied alone or in a mix of two, three, four and five microorganisms, totaling 26 treatments. However, the mix of various microorganisms did not provide significant increases in the

development of rice plants, due to possible competition between them. Thus, the second experiment was carried out in which the microorganisms were applied alone and combined in pairs, totaling 26 treatments. In the third experiment, the rhizobacteria *Pseudomonas fluorescens* were tested. (BRM32111), *Burkholderia pyrrocinia* (BRM 32113), *Serratia* sp. (BRM32114), *Bacillus* sp. (1301), *Azospirillum brasilense* (Ab-V5) and *Azospirillum* sp. (1381), in the root development of rice seedlings. In all experiments, the control treatment (without microorganisms) was used. Based on the experiments, it appears that the most effective treatments were: Experiment I, microorganisms Ab-V5 + *Bacillus* sp., *Bacillus* spp. + *Azospirillum* sp., Pool of *Trichoderma asperellum* and *Serratia* sp. + *Trichoderma asperellum* pool, which provided the largest increases in the total biomass production of upland rice plants with values of 26.8, 25.4, 23.3 and 21.3%, higher than the control treatment, respectively. Experiment II, the microorganisms 1301 + Ab-V5 and BRM 32114 + *Trichoderma asperellum* pool, since they provided an average increase of 123 and 88% in the number of panicles and 206 and 167% in the grain yield of rice of highlands, respectively, compared to the control treatment. And in experiment III, the microorganism *Azospirillum* sp. (1381) provided better performance of the components: root length, root volume and dry root weight in rice seedlings, corresponding to 86.34, 111.53 and 29.41%, respectively superior to the control treatment. Based on the results obtained, it is highlighted that the use of multifunctional microorganisms can significantly improve the performance of the upland rice culture, with emphasis on the good results obtained with the use of the mix in pairs of these microorganisms. However, despite the positive results in controlled conditions, further research is needed, evaluating the possible beneficial effects also in field conditions.

Key words: *Oryza sativa*, rhizobacteria, *Trichoderma*, sustainability.

¹Advisor: Dr. Adriano Stephan Nascente. Embrapa Rice and Beans.

Co-advisor: Dr^a. Marta Cristina Corsi de Filippi. Embrapa Rice and Beans.

1 INTRODUÇÃO GERAL

Composto por cerca de 8.000 espécies, as gramíneas são plantas herbáceas que apresentam flores pequenas e frutos secos chamados grãos ou “cariopses”, dependendo da espécie vegetal as cariopses podem ser nuas (trigo, milho e centeio) ou revestidas (arroz, aveia, cevada e sorgo) (Takeiti, 2020). Qualquer semente da família das gramíneas que possa ser utilizada para alimentação é denominada cereal, alimento esse, considerado a principal fonte de energia ingerida pelos seres humanos (Takeiti, 2020). Os cereais apresentam normalmente em sua composição nutricional carboidrato (67% -75,5), água (12-13%), proteína (9-13%), lipídios (2-5%), fibras (0,5-2%) e minerais (1-3%). Destaca-se, que as proteínas presentes, são consideradas de baixa qualidade biológica, devido à carência de aminoácidos essenciais, como a lisina e a metionina (Barata, 2005; Takeiti, 2020).

O arroz é a terceira cultura cerealífera do mundo, depois de milho e trigo, e apresenta grande importância por alimentar mais da metade da população mundial (Wander & Silva, 2014). Em termos globais, o continente com maior produção de arroz é a Ásia produzindo 90% do volume total, seguido pela América, África, Europa e Oceania, com produções de, 5,1, 4,2, 0,6, e 0,1% respectivamente (Silva, 2017). Em se tratando de países, os maiores produtores são a China (146 milhões de toneladas, Mt, 29,5%), Índia (112 Mt, 22,7%) e Indonésia (37,4 Mt, 7,6%), sendo que o Brasil ocupa o 11º lugar (7,14 Mt, 1,4%) na produção mundial de arroz em casca (USDA, 2019). Projeções da Conab (2019) aponta produção total brasileira de 10,47 Mt, em uma área plantada de 1,7 milhão ha⁻¹, com produtividade média de 6.286 kg ha⁻¹ na safra 2019/2020.

Em se tratando do contexto regional do Brasil, nota-se uma expressiva variação em termos de área plantada e produtividade, sendo a região Sul com 1,1 milhão ha e produtividade de 7.708 kg ha⁻¹, Norte 217,0 mil ha e produtividade de 4.275 kg ha⁻¹, Centro-Oeste 168,3 mil ha e produtividade de 3.647 kg ha⁻¹, Nordeste 152,0 mil ha e produtividade de 1.824 kg ha⁻¹ e Sudeste 12,2 mil ha e produtividade de 3.878 kg ha⁻¹. Os estados maiores produtores são Rio Grande do Sul (7,4 Mt), Santa Catarina (1,1 Mt), Tocantins (0,61 Mt) e Mato Grosso (0,44 Mt), (Conab, 2019).

Presente em todos os estados do Brasil, a cultura do arroz é cultivada em dois ecossistemas básicos, o de várzeas e o de terras altas. No ecossistema de terras altas, o arroz pode contar com irrigação suplementar ou ser totalmente dependente da água da

chuva, enquanto que no ecossistema de várzea, o cultivo ocorre com ou sem irrigação por inundação controlada (Alvarez et al., 2007; Santos, 2019). O arroz de terras altas contribui com 0,88 Mt (11% da produção brasileira) frente a uma produção do arroz irrigado por inundação de 9,59 Mt (89% da produção brasileira), arroz em casca (Conab, 2019). Entretanto, mesmo com a baixa contribuição na produção nacional, o arroz de terras altas tem papel estratégico, uma vez que o consumo de água (chuva) para a sua produção é bem inferior ao da produção irrigada, que é cultivado num ambiente extremamente frágil (várzea). Ademais, o arroz pode ser opção de rotação de cultura para a soja, em relação à rotação frequente utilizada pelo agricultor, que cultiva soja depois o milho, ano após ano, causando problemas fitossanitários.

Aumentar a produtividade e produção do grão de arroz de terras altas no mercado nacional é uma tarefa complexa. Dificuldades no manejo da cultura, como controle fitossanitário, ocorrência de veranicos, deficiência nutricional, arranque inicial e crescimento lento são exemplos de fatores negativos que dificultam o aumento dessa produtividade (Nascente et al., 2011; Filippi et al., 2012). Assim, a geração de tecnologias que proporcionem maior desenvolvimento das plantas de arroz e acarrete em maior produtividade da cultura é estratégia importante para incluir a cultura do arroz de terras altas como opção no sistema de cultivo rotacionado, em especial com a cultura da soja. Adicionalmente, considerando a perspectiva da crescente demanda por alimentos, influenciado pelo aumento populacional, torna-se necessário elevar a produtividade das culturas agrícolas (Saath & Fachinello, 2018). É crescente também a busca por alimentos saudáveis, sobretudo que sejam produzidos com menor volume de insumos, respeitando a saúde humana e o meio ambiente (Ribeiro, 2017).

Microrganismos multifuncionais podem representar alternativa sustentável para reduzir o uso de insumos e melhorar o desenvolvimento das plantas, no sistema de cultivo do arroz de terras altas (Filippi, 2011; Nascente et al, 2017; Sousa, 2019). Diversas pesquisas tem demonstrado que esses microrganismos podem promover o desenvolvimento das plantas, potencializar a absorção de nutrientes, incrementar a produção de fitomassa e a produtividade de grãos, bem como proporcionar o biocontrole de pragas e doenças, reduzindo o uso de agrotóxicos e o custo de produção (Godfray et al., 2010; Nascente et al., 2017; Devkota et al., 2019). Dentre os microrganismos que contribuem para melhorar o desempenho de plantas destacam-se, as rizobactérias promotoras de crescimento vegetal (RPCV) (Piao; et al., 1992; Gray & Smith, 2005;

Kokalis-Burelle et al., 2006; Sousa et al., 2019) e fungos do gênero *Trichoderma* spp. (Oliveira et al., 2012; Silva et al., 2012; Chagas et al., 2017).

As RPCV são bactérias de solo que colonizam as raízes e desempenham atividades benéficas como a síntese de hormônios (auxina, giberelinas e citocininas), diminui níveis de etileno causador da senescência em plantas, contribui para a solubilização de minerais como o ferro e fósforo, além de sintetizar enzimas relacionadas à resistência de plantas a pragas e a doenças (Kloepper & Schroth, 1978; Mafia et al., 2005; Bhattacharyya & Jha, 2012). Destaca-se ainda, que esses microrganismos podem melhorar o desenvolvimento das raízes favorecendo a absorção de nutrientes e o desenvolvimento das plantas (Persello-Cartieaux, 2003; Dimkpa et al., 2009; Maheshwari, 2011; Chauhan et al., 2013).

Os fungos do gênero *Trichoderma* spp. são microrganismos de vida livre que apresentam reprodução assexuada e estão presentes com maior frequência em solos de regiões de clima tropical e temperado (Harman et al., 2004). Desempenham atividades benéficas para plantas como, biocontrole de pragas, doenças e na promoção de crescimento vegetal (Weindling & Fawcett, 1936; De Marco et al., 2000; Harmann, 2000; Ait-Lahsen et al., 2001). Essa promoção de crescimento de plantas promovida pela ação de *Trichoderma* spp. está relacionada a diversos fatores, como, controle de microrganismos prejudiciais na região da rizosfera (Marchetti et al., 1992; Schirmbock et al., 1994; Punja & Utkhede, 2003), produção de hormônios e maior eficácia na absorção de nutrientes. Além disso, algumas linhagens desse fungo podem potencializar o desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Outro fator benéfico proporcionado às plantas pelo *Trichoderma* spp. está ligado ao aumento da resistência aos estresses abióticos como: deficiência hídrica, pH e temperatura (Van Loon et al., 1998; Bailey & Lumsden, 1998; Harman & Kubicek, 1998; Lu et al., 2004; Grinyer et al., 2005; Nascente et al., 2017; Sousa, 2019).

Pesquisa desenvolvida por França et al. (2015) na Universidade Federal Rural da Amazônia, selecionou um pool de *Trichoderma asperellum* composto pelos isolados UFRA. T06, UFRA. T09, UFRA. T12 e UFRA. T52. Esses isolados provenientes do bioma da floresta Amazônica foram testados na cultura do arroz, com bons resultados para promoção de crescimento vegetal (crescimento médio de 45,6% de biomassa comparação ao tratamento controle, sem microrganismo) e biocontrole de doenças (queima das bainhas e brusone foliar) (França, 2012; Souza, 2014; França, 2015).

Outros estudos desenvolvidos na Embrapa Arroz e Feijão, sobre o uso de microrganismos multifuncionais em plantas de arroz, selecionaram seis isolados de

rizobactérias promissoras para proporcionar maior desenvolvimento das plantas, sendo eles: *Bacillus* sp. (BRM32109 e BRM32110); *Pseudomonas fluorescens* (BRM32111); *Pseudomonas* sp. (BRM32112); *Burkholderia pyrrocinia* (BRM32113) e *Serratia* sp. (BRM32114), dentre as características que foram afetadas positivamente nas plantas de arroz, destaca-se os componentes de produção de biomassa, aumento em taxas fotossintéticas, absorção de nutrientes e a resistência a doenças (Silva et al., 2010; Filippi et al., 2011; França et al., 2015; Nascente et al., 2017, Sousa, 2019).

A técnica da inoculação é o processo em que o isolado, microrganismo selecionado pela pesquisa, entra em contato com a planta. Esse contato pode ser via semente, no sulco de semeadura ou pós-emergência (Mendes et al., 2010; Zilli et al., 2010). O inoculante é o produto biológico selecionado em laboratório e que é utilizado no processo de inoculação. Outra técnica que tem demonstrado bons resultados na melhora do desempenho de plantas é a coinoculação (Hungria et al., 2017). Diferente da inoculação, a coinoculação combina diferentes microrganismos multifuncionais, podem promover maiores efeitos sinérgicos em plantas (Hungria et al., 2017). Essa técnica ainda carece de estudos visto é ampla a combinações de microrganismos multifuncionais que podem ser bioformulados. Além disso, mesmo com os trabalhos já desenvolvidos, ainda existem questionamentos, como: (1) o uso de microrganismos multifuncionais, em mix, poderia proporcionar resultados ainda mais satisfatórios do que sua aplicação de forma isolada? (2) a utilização de outros microrganismos multifuncionais poderiam proporcionar resultados ainda melhores do que os já avaliados? Assim, o objetivo desse trabalho foi determinar o efeito do uso de microrganismos multifuncionais isolados ou em mix no desempenho da cultura do arroz de terras altas.

1.1 REFERÊNCIAS

- AIT-LAHSEN, H.; SOLER, A.; REY, M.; DE la CRUZ, J.; MONTE, E; LLOBELL, A. An antifungal exo- α -1,3-glucanase (AGN13.1) from the biocontrol fungus *Trichoderma harzianum*. **Applied Environmental Microbiology**, v. 67, n. 12, p. 5833-9, 2001.
- ALVAREZ, R.De C. F.; CRUSCIOL, C. A. C.; RODRIGUES, J. D.; ALVAREZ, A. C. C. Aplicação de reguladores vegetais na cultura de arroz de terras altas Aplicação de reguladores vegetais na cultura de arroz de terras altas. **Acta Sci. Agron.** Maringá, v. 29, n. 2, p. 241-249, 2007.
- BAILEY, B.A.; LUMSDEN, R.D. Direct effects of *Trichoderma* and *Gliocladium* on plant growth and resistance to pathogens. In: *Trichoderma and Gliocladium: Enzymes, Biological Control and Commercial Applications*. **Taylor and Francis**, London, p.185-204, 1998.
- BARATA, T. S. Caracterização do consumo de arroz no Brasil: um estudo na região metropolitana de Porto Alegre. **Dissertação** (Mestrado em Agronegócios) – CEPAN, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- BHATTACHARYYA, P.N.; JHA, D.K. Plant growthpromoting rhizobacteria (PGRP): emergence in agriculture. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Van Godewijkstraat, v. 28, p. 1327-1350, 2012.
- CHAGAS, L. F. B.; CHAGAS, JUNIOR A. F.; SOARES, L. P.; FIDELIS, R. R. *Trichoderma* na promoção do crescimento vegetal. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 3, 2017.
- CHAUHAN, H.; BAGYARAJ, D.J.; SHARMA, A. Plant growthpromoting bacterial endophytes from sugarcane and their potential in promoting growth of the host under field conditions. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 49, p. 43-52, 2013.
- CIARLI, T.; RÂFOLS I. The relation between research priorities and societal demands: The case of rice. **Research Policy**. v. 48, n 4, p. 949-967, 2019.
- CONAB. ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA DE GRÃOS. v. 7 - Safra 2019/20, n.2 - Segundo levantamento, novembro 2019.
- DE MARCO, J.L.; LIMA, L.H.C.; SOUSA, M.V. de.; FELIX, C.R. A *Trichoderma harzianum* chitinase destroys the cell wall of the phytopathogen *Crinipellis pernicios*, the causal agent of witches' broom disease of cocoa. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, n 16, p 383-386, 2000.
- DEVKOTA K, P.; PASUQUIN, E.; ELMIDO-MABILANGAN A.; DIKITANAN R.; SINGLETON G. R.; STUART A. M.; VITHOONJIT D.; VIDİYANGKURA L.; PUSTIKA A. B.; AFRIANI R.; LISTYOWATI C. L.; KEERTHISENA R.S.K.; KIEU N. T.; MALABAYABAS A. J.; HU R.; PAN J.; BEEBOUT S. E.J. Economic and

environmental indicators of sustainable rice cultivation: A comparison across intensive irrigated rice cropping systems in six Asian countries. **Ecological Indicators**, v. 105, p. 199-214, 2019.

DIMKPA, C.; WEINAND, T.; ASCH, F. Plant-rhizobacteria interactions alleviate abiotic stress conditions. **Plant, Cell & Environment**, Weinheim, v. 32, p. 1682-1694, 2009.

FERREIRA, C. M.; WANDER A. E.; SILVA, O. F. da. Agencia Embrapa de Informação Tecnológica. 2008. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fok5vmke02wyiv80bhgp5prthhjx4.html>. Acesso em 03-02-2020.

FILIPPI, M. C. C. de; 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**, v.58, n.2, p.160-166, 2011.

FRANÇA, S. K. S. de.; CARDOSO, A. L. F.; LUSTOSA, D. C.; RAMOS, E. M. L. S.; FILIPPI, M. C. C. de.; SILVA G. B. da. Biocontrol of sheath blight by *Trichoderma asperellum* in tropical lowland rice. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 1, p. 317-324, 2015.

FRANÇA, S. K. S. Trichoderma: estratégias de aplicação no biocontrole de queima das bainhas do arroz em várzea tropical. **Dissertação**, Belém-PA, 2012.

GRAY, E.J.; SMITH, D.L. Intracellular and extracellular PGPR: commonalities and distinctions in the plant-bacterium signaling processes. *Soil Biology and Biochemistry*, Amsterdam, v. 37, p. 395-412, 2005. IRRI. Global Rice Science Partnership (GRISP). 2010. 267 p.

GRINYER, J.; HUNT, S.; MCKAY, M.; HERBERT, B.R. & NEVALAINEN, H. Proteomic response of the biological control fungus *Trichoderma atroviride* to growth on the cell walls of *Rhizoctonia solani*. **Current Genetic**, v. 47 p. 381-388, 2005.

GODFRAY, H. C. J.; BEDDINGTON, J. R.; CRUTE, I. R.; HADDAD, L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J. F.; TOULMIN, C. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. **Science**, 327(5967), p. 812–818, (2010).. doi:10.1126/science.1185383

HARMAN, G.E. Myths and dogmas of biocontrol changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T-22. **Plant Disease**. v. 84 p. 377-93, 2000.

HARMAN, G.E.; HOWELL, C.R.; VITERBO, A.; CHET, I., LORITO, M. Trichoderma species - Opportunistic, avirulent plant symbionts. **Nature Reviews Microbiology**, v 2: p. 43–56. 2004.

HARMAN, G.E.; KUBICEK, C.P. Trichoderma and Gliocladium. **Taylor and Francis**, 1998.

INTERNATIONAL RICE RESEARCH (IRRI). Global Rice Science Partnership (GRISP), 267 p. 2010.

IRGA. Produção Mundial de Arroz Base Beneficiada. PRODUÇÃO MUNDIAL DE ARROZ (BASE BENEFICIADO), 2019/2020;

KLOEPPER, J.W.; SCHROTH, M.N. 1978. Plant growth promoting rhizobacteria on radishes. Proc. 4th Int. Conf. Plant path. Bact., Angers, p. 879–882.

KOKALIS-BURELLE, N.; KLOEPPER, J.W.; REDDY, M.S. Plant growth promoting rhizobacteria as transplant amendments and their effects on indigenous microorganisms. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 31, p. 91-100, 2006.

KHUSH, G. S. What it will take to Feed 5.0 Billion Rice consumers in 2030. **Plant Molecular Biology**, n. 59, p. 1-6, 2005.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Coinoculação da soja com bradyrhizobium e azospirillum: uma tecnologia ambientalmente sustentável e economicamente bem sucedida. Resumos expandidos da XXXVI Reunião de Pesquisa de Soja - junho de 2017 - Londrina/PR.

LUCON, C.M.M. Promoção de crescimento de plantas com o uso de Trichoderma spp. 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_1/trichoderma/index.htm>. Acesso em: 31/1/2020

LU, Z.; TOMBOLINI, R.; WOO, S.; ZEILINGER, S.; LORITO, M.; JANSSON, J.K. In vivo study of Trichoderma-pathogen-plant interactions, using constitutive and inducible green fluorescent protein reporter systems. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 70, n. 5, p. 3073-3080, 2004.

MAFIA, R.G.; ALFENAS, A.C.; FERREIRA, E.M.; ZARPELON, T.G.; SIQUEIRA, L. Crescimento de mudas e produtividade de minijardins clonais de eucalipto tratados com rizobactérias selecionadas. **Revista Árvore**, v. 29, p. 843-851, 2005.

MAHESHWARI, D.K. Bacteria in agrobiolgy: crop ecosystems. Heidelberg: **Springer**, p. 434, 2011.

MARCHETTI, R.; NIPOTI, P.; D'ERCOLE, N.; GUERZONI, M.E. Competition at atmosphere level as biocontrol mechanism in Trichoderma spp. **Petria**, v. 2, p. 137-47, 1992.

MARTINS, B. E. M. **Caracterização morfológica, bioquímica e molecular de isolados bacterianos antagonistas a Magnaporthe oryzae**. 2015. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO, 2015.

MENDES, I. de C ; JÚNIOR F. B. R.; da CUNHA M. H. 20 Perguntas e Respostas sobre Fixação Biológica da Nitrogênio. Documento 281. 2010.

NASCENTE, A. S.; KLUTHCOUSKI, J.; RABELO R. R.; de OLIVEIRA P.; COBUCCI T.; CRUSCIOL C. A. C. Produtividade do arroz de terras altas em função do manejo do solo e da época de aplicação de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1 2011.

NASCENTE, A. S.; FILIPPI, M. C. C. de; LANNA, A. C.; SOUSA, T. P.; SOUZA, A. C. A.; LOBO, V. L. S.; SILVA, G. B. Effects of beneficial microorganisms on lowland rice development. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 25233-25242, 2017.

OLIVEIRA, A. G.; CHAGAS JÚNIOR, A. F.; SANTOS, G. R.; MILLER, L. O.; CHAGAS, L. F. B. Potencial de solubilização de fosfato e produção de AIA por *Trichoderma* spp. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 3, p. 149-155, 2012.

PERSELLO-CARTIEAUX, F.; NUSSAUME, L.; ROBAGLIA, C. Tales from the underground: molecular plant-rhizobacteria interactions. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 26, p. 189-199, 2003.

PIAO, C.G.; TANG, W.H.; CHEN, Y.S. Study on the biological activity of yield-increasing bacteria. **China Journal of Microbiology**, Beijing, v. 4, p. 55-62, 1992.

PUNJA, Z. K.; UTKHEDE, R. S. Using fungi and yeasts to manage vegetable crop diseases. **Trends in Biotechnology**, v. 21, p. 400-7, 2003.

RIBEIRO, H.; JAIME, P. C.; VENTURA, D.; Alimentação e sustentabilidade. *Estud. AV.*, São Paulo, v. 31, n. 89, p. 185-198, Apr. 2017.

SAATH, K. C. de O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Rev. Econ. Sociol.** v.56, n.2, 2018.

SANTOS, A. B. dos. Agência Embrapa de informação tecnológica, 2019. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000g1wc nzza02wx5ok0ha2lipwbeel46.html>, >. Acesso em: 20 out. de 2020.

SCHIRMBOCK, M.; LORITO, M.; WANG, Y.L.; HAYES, C.K.; ARISAN-ATAC, I.; SCALA, F.; HARMAN, G.E.; KUBICEK, C. Parallel formation and synergism of hydrolytic enzymes and peptaibol antibiotics, molecular mechanisms involved in the antagonistic action of *Trichoderma harzianum* against phytopathogenic fungi. **Applied Environmental Microbiology**, 60: 4363-70, 1994.

SILVA, J. C.; TORRES, D. B.; LUSTOSA, D. C.; FILIPPI, M. C. C. de; SILVA, G. B. Rice sheath blight biocontrol and growth promotion by *Trichoderma* isolates from the Amazon. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 55, n. 4, 2012.

SILVA, O. F. da. 2017. Agencia Embrapa de Informação Tecnológica. Estatística de produção. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fe7457q102wx5eo07qw4xezy8czjj.html>. Acesso em 04 de fevereiro de 2020.

SOUSA, I. M.; NASCENTE, A. S.; FILIPPI, M. C. C de. Bactérias promotoras do crescimento radicular em plântulas de dois cultivares de arroz irrigado por inundação. **Colloquium Agrariae**, v. 15, n. 2, 2019.

SOUZA, A. C. A. **Interação entre silicato de cálcio e magnésio e bioagentes na supressão de brusone foliar**. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Fitossanidade) – Programa de Pós Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Goiânia, 2014.

TAKEITI, C. Y. Agência Embrapa de Informação Tecnológica (Agetec). Tecnologia de alimentos, cereais e grãos. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CONT000fid57plx02wyiv80z4s47384pdxjo.html
Acesso em 04-02-2020.

USDA, 2019. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/commodities/rice>. Acesso em 03-02-2020.

WANDER, A. E. A competitividade do agronegócio brasileiro de arroz. **Custos e agronegócio online**, Santo Antonio de Goiás, 2006.

WANDER, A. E.; SILVA, O. F. da. 2014. Rentabilidade da produção do arroz no Brasil. Capítulo em Livro Técnico-Científico. v. 2, p. 117-133.

WEINDLING, R., FAWCETT, W.S. Experiment in the control of Rhizoctonia damping-off of citrus seedling. **Hilgardia**, v.10, p. 1-16, 1936.

VAN LOON, L.C.; BAKKER, P. A. H. M.; PIETERSE, C. M. J. Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. **Annual Review of Phytopathology**, v. 36, p. 453-483, 1998.

ZILLI J. É.; GIANLUPPI V.; CAMPO R. J.; ROUWS J. R. C.; HUNGRIA M. Inoculação da soja com Bradyrhizobium no sulco de semeadura alternativamente à inoculação de sementes. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 34, n. 6, p. 1875-1881, 2010.

2 DESEMPENHO AGRONÔMICO DO ARROZ DE TERRAS ALTAS PROMOVIDO POR MICRORGANISMOS BENÉFICOS¹ (Capítulo 1)

João Pedro Tavares Fernandes², Adriano Stephan Nascente³, Marta Cristina Corsi de Filippi³, Anna Cristina Lanna³, Mariana Aguiar Silva², Gisele Barata da Silva⁴

¹ Capítulo elaborado e submetido o artigo científico, conforme as normas do periódico Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.

² Mestrando (a) na Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO. Brasil.

³ Pesquisador (a) na Embrapa Arroz e Feijão. Santo Antônio de Goiás, GO. Brasil.

⁴ Pesquisadora na Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, PA. Brasil.

FERNANDES, J. P. T., NASCENTE, A. S.; FILIPPI, M. C. C. de, LANNA, A. C.; SILVA, M. A., SILVA, G. B.

Desempenho agronômico do arroz de terras altas promovido por microrganismos benéficos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, Brasil.2019.

Resumo: Microrganismos benéficos podem melhorar significativamente o desenvolvimento das plantas. No entanto, ainda existem poucas informações sobre a interação entre plantas, meio ambiente e microrganismos. Objetivou-se determinar os efeitos de microrganismos multifuncionais, no desempenho da cultura do arroz de terras altas. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Os 26 tratamentos consistiram na aplicação, isoladamente ou em mix de *Bacillus* sp., *Serratia* sp., *Azospirillum* sp., *Bacillus* spp., *Azospirillum brasilense* isolado Ab-V5 e um *pool* de *Trichoderma asperellum*, adicionalmente foi incluído um tratamento controle (sem aplicação de microrganismos). Os microrganismos afetaram significativamente as trocas gasosas, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes na parte aérea e raiz do arroz de terras altas. Os microrganismos Ab-V5 + *Bacillus* sp., *Bacillus* spp. + *Azospirillum* sp., *pool* de *Trichoderma asperellum* e *Serratia* sp. + *pool* de *Trichoderma asperellum*, proporcionaram os maiores incrementos na produção de biomassa total com valores de 26,8, 25,4, 23,3 e 21,3% maiores do que no tratamento controle, respectivamente.

Palavras-chave: *Oryza sativa*, coinoculação, sustentabilidade, promotores de crescimento

Abstract: Beneficial microorganisms can significantly improve plant development. However, there is still little information on the interaction between plants, the environment and microorganisms. The objective was to determine the effects of multifunctional microorganisms on the performance of upland rice culture. The experiment was carried out in a greenhouse, in a completely randomized design, with three replications. The 26 treatments consisted of the application, alone or in a mix of *Bacillus* sp., *Serratia* sp., *Azospirillum* sp., *Bacillus* spp., *Azospirillum brasilense* isolated Ab-V5 and a pool of *Trichoderma asperellum*, additionally a control treatment (without application) microorganisms). The microorganisms significantly affected gas exchange, biomass production and accumulation of nutrients in the aerial part and root of upland rice. The microorganisms Ab-V5 + *Bacillus* sp., *Bacillus* spp. + *Azospirillum* sp., *Trichoderma asperellum* pool and *Serratia* sp. + *Trichoderma asperellum* pool, provided the largest increases in total biomass production with values of 26.8, 25.4, 23.3 and 21.3% higher than in the control treatment, respectively.

Key words: *Oryza sativa*, coinoculation, sustainability, growth promoters

INTRODUÇÃO

Os microrganismos multifuncionais contribuem para aumentar a produção, melhorar a competitividade e ainda diminuir os custos de produção das culturas agrícolas (Pomella & Ribeiro 2009, Machado et al.2011, Ahemad & kilbret 2014). Estudos realizados na Embrapa, Arroz e Feijão com seis isolados de rizobactérias BRM32109 (*Bacillus* sp.), BRM32110 (*Bacillus* sp.), BRM32111 (*Pseudomonas fluorescens*), BRM32112 (*Pseudomonas* sp.), BRM32113 (*Burkholderia pyrrocinia*), BRM32114 (*Serratia* sp.) obtiveram resultados promissores com esses microrganismos no desenvolvimento inicial de plantas de arroz (Sousa 2019). Além disso, pesquisas realizadas na Universidade Federal Rural da Amazônia, selecionaram e testaram como promotores de crescimento e agentes de biocontrole, em casa de vegetação e em condições de campo, quatro isolados que constituíram o *pool* de *Trichoderma asperellum* sendo UFRA. T06, UFRA. T09, UFRA. T12 e UFRA. T52 (França et al. 2015).

Nascente et al. (2017a) verificaram o efeito de sete microrganismos, seis isolados de rizobactérias e um *pool* de *T. asperellum* em três diferentes tipos de aplicações na cultura do arroz de terras altas e obtiveram resultados promissores em termos de trocas gasosas, biomassa seca de raiz e teor acumulado de nutrientes. Nesse sentido, ainda existem questionamentos se o uso desses microrganismos multifuncionais em mix poderiam proporcionar resultados ainda melhores do que a aplicação de microrganismos de forma isolada. Assim, o objetivo deste estudo foi determinar os efeitos de microrganismos multifuncionais, aplicados isolados ou em mix, mas trocas gasosas, na produção de biomassa seca e no acúmulo de nutrientes na parte aérea e no sistema radicular de plantas de arroz de terras altas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de maio a julho de 2018 em casa de vegetação, na Fazenda Capivara sede da Embrapa Arroz e Feijão, no estado de Goiás, município de Santo Antônio de Goiás, Brasil, cujas coordenadas geográficas são: Latitude 16° 28' 00" S, Longitude 49° 17' 00" W e Altitude de 823 m. O solo utilizado foi proveniente da camada arável (0 - 0,20 m) de um Latossolo Vermelho Ácrico (Santos et al. 2018), de textura média. Antes da instalação do experimento foi feita a análise da fertilidade do solo que apresentou as seguintes características: pH (H₂O) = 6,1; Ca²⁺ = 78,4 mmolc dm³⁻¹; Mg²⁺ = 20,9 mmolc dm³⁻¹; H+Al³⁺ = 12 mmolc dm³⁻¹; P = 35,9 mg dm³⁻¹; K⁺ = 203 mg dm³⁻¹; Cu²⁺ = 2,4 mg dm³⁻¹; Zn²⁺ = 2,9 mg dm³⁻¹; Fe³⁺ = 39 mg dm³⁻¹; Mn²⁺ = 28 mg dm³⁻¹ e Matéria orgânica = 24,7 g kg⁻¹. Essas análises seguiram os métodos propostos por Donagema et al. (2011).

Três semanas antes da semeadura do arroz terras altas, cultivar BRS A501 CL, os vasos com capacidade de 7 kg foram totalmente preenchidos com solo e fertilizados com 70 mg dm⁻³ de N (ureia), 400 mg dm⁻³ de P₂O₅ (superfosfato simples) e 200 mg dm⁻³ de K₂O (cloreto de potássio). Durante a condução do experimento a irrigação foi feita diariamente mantendo o solo saturado até a fase de florescimento pleno, período esse que ocorreu o corte das plantas e avaliação das amostras.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 26 tratamentos e três repetições. Os tratamentos consistiram na utilização de microrganismos isolados ou em mix, sendo: *Bacillus* sp. isolado BRM32110, *Serratia* sp. isolado BRM32114, *Azospirillum* sp. isolado 1381, *Bacillus* spp. isolado 1301, *A. brasilense* isolado Ab-V5 e pool de *Trichoderma asperellum* isolados (UFRA.T06 + UFRA.T09 + UFRA.T12 + UFRA.T52). Todos os microrganismos, isolados ou em mix, foram aplicados em três momentos na

cultura: 1. microbiolização de sementes antes da semeadura + 2. suspensão de microrganismo regado no solo ao 7 dias após semeadura (DAS) + 3. aplicação de suspensão de microrganismo por pulverização na parte aérea da planta aos 21 DAS. Os isolados bacterianos compõem a coleção do laboratório de microbiologia agrícola da Embrapa Arroz e Feijão (CNPAP) e o *pool* de *T. asperellum* integra a coleção de fungos da Universidade Federal Rural da Amazônia. As características bioquímicas e classificação taxonômica das rizobactérias estão disponíveis em Nascente et al. (2017a) e o *pool* de *T. asperellum* em Silva et al. (2011).

A suspensão de cada um dos microrganismos bacterianos foi preparada em meio 523 líquido (Kado & Heskett 1970), por 24 horas a 28 °C, em incubadora agitadora. A concentração da suspensão foi ajustada em espectrofotômetro a uma absorbância de 0,7 em comprimento de onda 540 nm, correspondendo a 1×10^8 unidades formadoras de colônia (UFC) por mL. As sementes de arroz foram imersas nas suspensões e, para o tratamento controle, em água, por período de 24 horas e temperatura de 28 °C sob agitação constante em câmara incubadora com agitação orbital (Shaker), seguindo metodologia proposta por Filippi et al. (2011).

A microbiolização com *pool* de *T. asperellum* ocorreu com conídios viáveis, multiplicados e preservados no laboratório de microbiologia agrícola da Embrapa Arroz e Feijão. Foram pesados 0,5 g dos conídios para cada isolado, e preparada 6,7 mL de solução de cola branca (1%) para cada 200 g de sementes de arroz, o qual foi colocado em saco plástico e agitado com os isolados, induzindo todas as sementes conforme metodologia proposta por França et al. (2015).

As sementes de arroz foram semeadas em um total de 15 sementes por vaso. A emergência das plântulas ocorreu seis dias após semeadura e o desbaste de plantas aos sete dias após a emergência (DAE), mantendo quatro plantas por vaso. Durante o perfilhamento

(28 DAE) e primórdio floral (48 DAE), foram realizadas adubações nitrogenadas (dois gramas de sulfato de amônio) e potássicas (um grama de cloreto de potássio) por vaso e a lanço. O controle de plantas daninhas foi realizado, de forma manual a cada semana, não houve necessidade de intervenção para o controle de pragas e doenças.

As trocas gasosas foram determinadas por meio do medidor portátil de gás na região do infravermelho IRGA (LCpro+, ADC BioScientific). Assim, realizou-se as seguintes avaliações: taxa fotossintética (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); taxa transpiratória (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 (C_i , $\mu\text{mol mol}^{-1}$). A eficiência instantânea de carboxilação (E_iC) foi calculada pela razão entre A e C_i [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$] (Silva et al. 2013). O período de avaliações foi entre 08h30min e 10h30min, aos 95 e 96 DAE (estádio R3), com temperatura foliar média de 33°C.

As leituras foram realizadas no terço central da primeira folha completamente expandida (do topo para base) nas plantas de arroz. Durante o período reprodutivo com 50% do total de plantas apresentando floração. A câmara de fotossíntese do IRGA manteve-se regulado com concentrações de 370 - 400 $\text{mol mol}^{-1} \text{ CO}_2$ no ar da referência, com densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) utilizada foi de 1200 $\mu\text{mol [quanta] m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. O tempo mínimo gasto foi de dois minutos, para processamento e gravação dos dados do equipamento.

Aos 98 DAE (estádio R3) a parte aérea das plantas foram cortadas rente ao solo e desidratadas em estufa a 65 °C para determinação de massa seca. Aos 99 DAE, foi executado o processo de limpeza das raízes com a utilização de água e peneiras malha fina para retenção e coleta das raízes. Em seguida, o material também foi desidratado a 65 °C para determinação da massa seca. As amostras secas da biomassa da parte aérea e do sistema radicular foram moídas e enviadas ao laboratório para determinação do teor de

macronutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio), de acordo com recomendações de Malavolta et al. (1997).

Os dados obtidos dos experimentos foram submetidos à análise de variância e, quando detectada significância, as médias foram comparadas pelo teste LSD ($p \leq 0,05$). Adicionalmente, os tratamentos foram comparados com o controle (sem uso de microrganismos) pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). Utilizou-se o pacote estatístico SAS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se que plantas tratadas com *Azospirillum* sp. + pool de *T. asperellum*, obteve maior valor em taxa fotossintética (A), entretanto não diferiu significativamente do tratamento controle (Tabela 1). Além disso, plantas tratadas com *Azospirillum* sp. + pool de *T. asperellum* obtiveram maiores valores em transpiração (E), condutância estomática (gs), concentração interna de CO₂ (Ci), porém, estatisticamente, não diferiu do tratamento controle. Em relação a variável EiC os maiores valores foram obtidos com os tratamentos, *Serratia* sp. + pool de *T. asperellum*, *Bacillus* sp. + pool de *T. asperellum* e *Bacillus* spp.+ entretanto, não diferiram significativamente do tratamento controle. Resultado diferente foi obtido em estudos desenvolvidos por Grossmann e Retzlaff (1997), Fagan et al. (2010), assim como, Nonato (2016), os quais constataram aumento significativo na taxa fotossintética(A) de plantas de trigo, soja e feijão-comum. Esses pesquisadores relatam que, diversos microrganismos multifuncionais podem beneficiar diretamente a fotossíntese, entretanto, possam também inibir, temporariamente, a respiração da planta. Em contrapartida, os dados verificados no presente estudo, estão em concordância com os resultados obtidos por Neves et al. (2002) , Alvarez et al. (2012) e Frasca (2019), os quais

não observaram aumento significativo na taxa de troca gasosa de plantas de banana, arroz de terras altas e feijoeiro-comum tratadas com microrganismos multifuncionais.

Tabela 1. Trocas gasosas de plantas de arroz de terras altas, cultivar BRS A501 CL: fotossíntese (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 (gs, $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 (Ci, $\mu\text{mol mol}^{-1}$) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)⁻¹) sob o efeito da aplicação de microrganismos isolados e em mix. As leituras foram realizadas no estágio reprodutivo, florescimento pleno 96 DAE

Tratamentos	A	E	gs	Ci	EiC
<i>Serratia</i> sp.	11,67 b	5,45 abc	0,16 bc	232 abc	0,05 bc
<i>Bacillus</i> sp.	14,41 ab	4,69 bc	0,18 bc	221 bc	0,06 abc
Pool de <i>T. asperellum</i>	14,03 ab	4,51 c	0,20 abc	235 abc	0,06 abc
<i>Azospirillum</i> sp.	15,68 a	5,24 abc	0,22 abc	225 bc	0,06 ab
Ab-V5	11,42 b	4,69 bc	0,15 c	228 bc	0,05 bc
<i>Bacillus</i> spp.	13,32 ab	5,39 abc	0,15 c	205 bc	0,06 abc
<i>Serratia</i> sp. + <i>Bacillus</i> sp.	13,19 ab	5,55 abc	0,23 abc	255 ab	0,05 bc
<i>Serratia</i> sp. + <i>Azospirillum</i> sp.	14,54 ab	4,93 abc	0,19 bc	229 bc	0,06 abc
<i>Serratia</i> sp. + pool de <i>T. asperellum</i>	15,83 a	4,86 abc	0,18 bc	210 bc	0,07 a
<i>Bacillus</i> sp. + <i>Azospirillum</i> sp.	11,22 ab	4,98 abc	0,17 bc	219 bc	0,06 abc
<i>Bacillus</i> sp. + pool de <i>T. asperellum</i>	14,91 ab	5,45 abc	0,17 bc	200 c	0,07 a
<i>Azos</i> sp. + pool de <i>T. asperellum</i>	11,44 b	6,26 a	0,28 a	282 a	0,04 c
Ab-V5 + <i>Bacillus</i> spp.	13,90 ab	6,13 ab	0,22 abc	238 bc	0,05 abc
Ab-V5 + <i>Azospirillum</i> sp.	13,95 ab	4,91 abc	0,15 c	219 bc	0,06 abc
<i>Bacillus</i> spp.+ <i>Azospirillum</i> sp.	15,79 a	5,26 abc	0,19 bc	213 bc	0,07 a
Ab-V5 + <i>Serratia</i> sp.	13,27 ab	5,50 abc	0,22 abc	232 abc	0,05 abc
<i>Bacillus</i> spp. + <i>Serratia</i> sp.	12,46 ab	5,33 abc	0,22 abc	256 ab	0,04 bc
Ab-V5 + <i>Bacillus</i> sp.	12,93 ab	4,75 bc	0,15 c	208 bc	0,06 abc
<i>Bacillus</i> spp. + <i>Bacillus</i> sp.	14,63 ab	5,79 abc	0,19 bc	222 bc	0,06 abc

Ab-V5 + <i>pool</i> de <i>T. asperellum</i>	12,97 ab	5,31 abc	0,19 bc	231 bc	0,05 abc
<i>Bacillus</i> spp. + <i>pool</i> de <i>T. asperellum</i>	14,72 ab	5,58 abc	0,24 ab	244 abc	0,06 abc
Mix 1	12,69 ab	5,08 abc	0,18 bc	236 abc	0,05 bc
Mix 2	13,39 ab	4,80 bc	0,16 bc	221 bc	0,05 abc
Mix 3	12,95 ab	4,88 abc	0,18 bc	239 abc	0,05 abc
Mix 4	13,12 ab	4,44 c	0,16 bc	218 bc	0,06 abc
Controle	13,62	5,50	0,26	255	0,05

** médias significativas ao Teste LSD para $p < 0.05$. * médias diferem do tratamento controle (sem promotores de crescimento) pelo teste de Dunnett para $p < 0.05$. Mix 1: *Serratia* sp.+ *Bacillus* sp.+ *Azospirillum* sp.; Mix 2: *Bacillus* sp. + *Azospirillum* sp. + *pool* de *T. asperellum*; Mix 3: *Serratia* sp.+ *Bacillus* sp.+ *Azospirillum* sp.+ *pool* de *T. asperellum*; Mix 4: *Serratia* sp.+ *Bacillus* sp.+ *Azospirillum* sp.+ *pool* de *T. asperellum*+ *Bacillus* spp.+ Ab-V5

Os tratamentos Ab-V5 + *Bacillus* sp., *pool* de *T. asperellum*, *Bacillus* spp.+ *Azospirillum* sp., *Serratia* sp. + *pool* de *T. asperellum*, proporcionaram os maiores valores em biomassa seca da parte aérea, respectivamente, e diferiram significativamente do tratamento controle (Tabela 2). Além disso, para a variável biomassa seca de raiz, o maior incremento foi obtido com o tratamentos *Bacillus* sp. entretanto, não diferiu significativamente do tratamento controle. Segundo Castiglioni et al. (2008) e Zhang et al., (2008), o maior incremento na produção de biomassa em plantas de arroz pode ser explicado pela ação benéfica de microrganismos multifuncionais. Isso porque, contribuem com a promoção do crescimento de plantas, atuam na mobilização e transporte de nutrientes, além de, aumentar a área de absorção das raízes, produção de fito-hormônios e de compostos orgânicos voláteis que estimulam o desenvolvimento vegetal (Castiglioni et al. 2008; Zhang et al. 2008).

Tabela 2. Produção de biomassa seca de plantas de arroz de terras altas, cultivar BRS A501 CL após aplicação de microrganismos multifuncionais isolados ou em mix. As avaliações foram realizadas no estágio reprodutivo, florescimento pleno 96 DAE

Tratamentos	Parte aérea	Raiz	Total
	-----gramas-----		
<i>Serratia</i> sp.	46,82 abc	11,43 ab	58,24 abcdef
<i>Bacillus</i> sp.	41,33 abcde	18,86 a	60,20 abcde
Pool de <i>T. asperellum</i>	56,92 a*	16,00 a	72,93 ab
<i>Azospirillum</i> sp.	34,67 ed	18,01 a	52,67 abcdefg
Ab-V5	35,73 cde	13,08 ab	48,81 bcdef
<i>Bacillus</i> spp.	46,45 abc	11,85 ab	58,30 abcdef
<i>Serratia</i> sp.+ <i>Bacillus</i> sp.	45,95 abc	13,98 ab	59,93 abcde
<i>Serratia</i> sp. + <i>Azospirillum</i> sp.	50,42 abc	13,60 ab	64,02 abcd
<i>Serratia</i> sp. + pool de <i>T. asperellum</i>	56,27 ab*	14,81 a	71,08 abc
<i>Bacillus</i> sp. + <i>Azospirillum</i> sp.	21,46 e	5,61 b	27,08 g
<i>Bacillus</i> sp. + pool de <i>T. asperellum</i>	36,45 bcde	11,71 ab	48,17 bcdefg
<i>Azospirillum</i> sp. + pool de <i>T. asperellum</i>	53,06 abc	16,03 a	69,09 abcd
Ab-V5 + <i>Bacillus</i> spp.	22,33 cde	7,59 ab	29,93 defg
Ab-V5 + <i>Azospirillum</i> sp.	24,63 de	10,36 ab	34,99 efg
<i>Bacillus</i> spp. + <i>Azospirillum</i> sp.	56,70 a*	18,27 a	74,97 a*
Ab-V5 + <i>Serratia</i> sp.	21,93 e	10,93 ab	32,86 fg
<i>Bacillus</i> spp. + <i>Serratia</i> sp.	53,70 abc	17,30 a	71,00 abc
Ab-V5 + <i>Bacillus</i> sp.	58,64 a*	17,74 a	76,38 a*
<i>Bacillus</i> spp. + <i>Bacillus</i> sp.	51,39 abc	14,48 ab	65,87 abcd
Ab-V5 + pool de <i>T. asperellum</i>	29,00 abcd	14,87 a	43,87 abcdef
<i>Bacillus</i> spp. + pool de <i>T. asperellum</i>	35,00 cde	12,06 ab	47,06 cdefg
Mix 1	24,70 de	12,69 ab	37,39 efg
Mix 2	38,99 abcde	12,36 ab	51,35 abcdefg

Mix 3	47,49 abc	17,81 a	65,30 abcd
Mix 4	43,98 abcd	11,79 ab	55,77 abcdef
Controle	39,02	16,92	55,94

** médias significativas ao Teste LSD para $p < 0.05$. * médias diferem do tratamento controle (sem promotores de crescimento) pelo teste de Dunnett para $p < 0.05$. Mix 1: *Serratia* sp.+ *Bacillus* sp.+ *Azospirillum* sp.; Mix 2: *Bacillus* sp. + *Azospirillum* sp. + pool de *T. asperellum*; Mix 3: *Serratia* sp.+ *Bacillus* sp.+ *Azospirillum* sp.+ pool de *T. asperellum*; Mix 4: *Serratia* sp.+ *Bacillus* sp.+ *Azospirillum* sp.+ pool de *T. asperellum*+ *Bacillus* spp.+ Ab-V5

Em se tratando da variável produção de biomassa seca total (parte aérea + raiz), os maiores valores acumulados foram obtidos com plantas submetidas aos tratamentos Ab-V5 + *Bacillus* sp. e *Bacillus* spp.+ *Azospirillum* sp., respectivamente, diferindo significativamente do tratamento controle (Tabela 2). Além disso, os maiores incrementos em biomassa foi observado em plantas submetidas a microrganismos multifuncionais, isso ocorre pelo fato do acréscimo na absorção e utilização de nutrientes por plantas, seguido do aumento da resistência aos estresses abióticos o que contribui para um melhor desenvolvimento de plantas (Hannan et al. 2013, Chagas et al. 2015, Chagas et al. 2016).

Em relação a variável acúmulo de N em parte aérea de plantas de arroz de terras altas, o maior valor acumulado foi obtido com plantas tratadas com *Bacillus* spp.+ *Serratia* sp., diferindo significativamente do tratamento controle (Tabela 3). Além disso, para acúmulos de P e K em parte aérea, os maiores acúmulos ocorreram com a utilização dos tratamentos *Bacillus* spp.+ *Serratia* sp. e *Azospirillum* sp. + pool de *T. asperellum*, respectivamente, entretanto, não ocorreu diferença significativa do tratamento controle. Observa-se que plantas podem ter um melhor desenvolvimento quando submetidas a microrganismos multifuncionais, isso porque, ocorre aumento na absorção de nutrientes e produção de hormônios, contribuindo para o desenvolvimento vegetal (Louzada et al. 2009, Kapri & Tewari 2010, Chagas et al. 2015).

Tabela 3. Teor de macronutrientes acumulado em biomassa de plantas de arroz de terras altas, cultivar BRS A501 CL após aplicação de microrganismos multifuncionais isolados ou em mix, avaliações realizadas no estágio reprodutivo, florescimento pleno 96 DAE

Tratamentos	N	P	K	N	P	K
	Parte aérea			Raiz		
	-----g kg ⁻¹ -----					
<i>Serratia</i> sp.	18.98 efg	1.29 bcdef	16.43 bc	8.07 cd	0.64 abc	2.59 abc
<i>Bacillus</i> sp.	19.31 efg	1.09 def	15.96 bc	11.69 abc	0.77 abc	2.31 abcde
<i>Pool</i> de <i>T. asperellum</i>	23.85 bcde	1.45 bcdef	16.29 bc	13.01 a	0.90 a	2.96 ab
<i>Azospirillum</i> sp.	21.03 cdefg	1.28 bcdef	18.08 ab	9.84 abcd	0.76 abc	2.52 abcd
Ab-V5	22.86 bcdefg	1.00 ef	15.41 bc	9.24 abcd	0.68 abc	1.80 cde
<i>Bacillus</i> spp.	18.75 fg	1.32 bcdef	16.31 bc	9.93 abcd	0.78 abc	2.24 abcde
<i>Serratia</i> sp. + <i>Bacillus</i> sp.	23.18 bcdefg	1.51 bcde	18.33 ab	8.02 cd	0.61 bc	3.12 a
<i>Serratia</i> sp. + <i>Azospirillum</i> sp.	18.22 g	1.26 bcdef	17.36 bc	8.84 abcd	0.68 abc	2.29 abcde
<i>Serratia</i> sp. + <i>pool</i> de <i>T. asp.</i>	20.95 cdefg	1.54 abcd	20.74 a	7.11 d	0.55 c	2.10 bcde
<i>Bacillus</i> sp. + <i>Azospirillum</i> sp.	20.94 cdefg	0.93 f	15.80 bc	8.45 cd	0.70 abc	1.89 cde
<i>Bacillus</i> sp. + <i>pool</i> de <i>T. asp.</i>	26.49 b	1.27 bcdef	14.60 c	9.91 abcd	0.73 abc	1.55 e
<i>Azospirillum</i> sp. + <i>pool</i> de <i>T. asp.</i>	25.05 bc	1.78 ab	20.77 a	10.17 abcd	0.74 abc	2.15 bcde
Ab-V5 + <i>Bacillus</i> spp.	20.64 cdefg	1.47 bcde	18.51 ab	10.13 abcd	0.87 ab	2.18 bcde
Ab-V5 + <i>Azospirillum</i> sp.	20.89 cdefg	1.20 def	16.33 bc	10.50 abcd	0.61 bc	1.82 cde
<i>Bacillus</i> spp. + <i>Azospirillum</i> sp.	23.81 bcde	1.25 bcdef	16.64 bc	10.52 abcd	0.67 abc	2.16 bcde
Ab-V5 + <i>Serratia</i> sp.	23.10 bcdefg	1.49 bcde	18.61ab	11.09 abcd	0.75 abc	1.81 cde
<i>Bacillus</i> spp. + <i>Serratia</i> sp.	32.70 a*	2.04 a	17.08 bc	10.03 abcd	0.76 abc	1.88 cde
Ab-V5 + <i>Bacillus</i> sp.	22.92 bcdefg	1.23 cdef	15.97 bc	10.51 abcd	0.80 abc	1.84 cde
<i>Bacillus</i> spp. + <i>Bacillus</i> sp.	22.33 bcdefg	1.40 bcdef	18.12 ab	8.68 bcd	0.83 ab	2.48 abcd
Ab-V5 + <i>pool</i> de <i>T. asperellum</i>	23.47 bcdef	1.44 bcdef	18.47 ab	8.33 cd	0.65 abc	2.36 abcde
<i>Bacillus</i> spp. + <i>pool</i> <i>T.asp.</i>	18.63 fg	1.24 cdef	16.39 bc	9.16 abcd	0.72 abc	1.64 de
Mix 1	22.33 bcdefg	1.08 def	16.37 bc	9.59 abcd	0.66 abc	2.01 cde
Mix 2	19.89 defg	1.40 bcdef	18.51 ab	9.95 abcd	0.73 abc	2.22 abcde
Mix 3	24.89 bcd	1.75 abc	17.65 abc	12.95 ab	0.73 abc	1.79 cde
Mix 4	20.06 cdefg	1.24 cdef	16.34 bc	8.37 cd	0.64 abc	1.92 cde

Controle	24.43	1.31	16.77	9.14	0.79	2.23
----------	-------	------	-------	------	------	------

** médias significativas ao Teste LSD para $p < 0.05$. * médias diferem do tratamento controle (sem promotores de crescimento) pelo teste de Dunnett para $p < 0.05$. Mix 1: *Serratia* sp.+ *Bacillus* sp.+ *Azospirillum* sp.; Mix 2: *Bacillus* sp. + *Azospirillum* sp. + pool de *T. asperellum*; Mix 3: *Serratia* sp.+ *Bacillus* sp.+ *Azospirillum* sp.+ pool de *T. asperellum*; Mix 4: *Serratia* sp.+ *Bacillus* sp.+ *Azospirillum* sp.+ pool de *T. asperellum*+ *Bacillus* spp.+ Ab-V5

Não se observou diferença estatística entre os teores de N, P e K em relação ao tratamento controle no sistema radicular das plantas de arroz (Tabela 3). Na comparação entre os tratamentos, os melhores resultados foram obtidos em plantas tratadas com o pool de *T. asperellum* para acúmulo de N e P. Além disso, o tratamento *Serratia* sp. + *Bacillus* sp. obteve o maior incremento para acúmulo k em biomassa da raiz. Destaca-se que microrganismos multifuncionais podem proporcionar incrementos significativos na absorção de nutrientes pelas plantas, isso porque, desempenham benefícios agindo como um microbioma, além de, colonizar tecidos internos das plantas, superfície de folhas e raízes (Lima 2011; Mendes 2013).

Com base nos resultados do presente trabalho pode-se inferir que os microrganismos benéficos afetaram significativamente o desenvolvimento das plantas de arroz de terras altas. Destaque para os microrganismos Ab-V5 + *Bacillus* sp., *Bacillus* spp. + *Azospirillum* sp., pool de *T. asperellum* e *Serratia* sp.+ pool de *T. asperellum*, que proporcionaram incrementos médios de 24.2% em relação ao tratamento controle, na produção de biomassa total das plantas de arroz. Os microrganismos multifuncionais podem produzir hormônios vegetais como: auxinas, citocininas e giberelinas, que proporcionam maior desenvolvimento de biomassa em plantas (Oliveira et al., 2003). O maior incremento em biomassa de vegetais pode proporcionar incrementos na absorção da água e minerais, maior tolerância a estresses bióticos e abióticos, resultando em plantas mais vigorosas e produtivas (Hungria, 2011).

Esses resultados podem ser explicados porque as plantas tratadas com Ab-V5 + *Bacillus* sp., *Bacillus* spp. + *Azospirillum* sp., pool de *T. asperellum* e *Serratia* sp. + pool de *T. asperellum* apresentaram maiores valores na taxa fotossintética (A) e eficiência de carboxilação (Eic), maior produção de biomassa da parte aérea e de raiz, N e P nas raízes. Plantas tratadas com pool de *T. asperellum* e com *Serratia* sp.+ pool de *T. asperellum* apresentaram maiores valores de condutância estomática, P e K nas raízes. Plantas tratadas com pool de *T. asperellum* apresentaram valores superiores na concentração interna de CO₂. Novos estudos devem ser executados em condições de campo para validação dos bons resultados obtidos em condições controladas.

CONCLUSÕES

1. Os microrganismos afetaram significativamente as trocas gasosas, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes na parte aérea e raiz de plantas de arroz de terras altas.
2. Os microrganismos Ab-V5 + *Bacillus* sp., *Bacillus* spp. + *Azospirillum* sp., pool de *Trichoderma asperellum* e *Serratia* sp. + pool de *Trichoderma asperellum*, proporcionaram os maiores incrementos na produção de biomassa total com valores de 26,8, 25,4, 23,3 e 21,3% maiores do que no tratamento controle, respectivamente.

AGRADECIMENTOS

À Embrapa CNPAF pelo apoio e concessão da área de estudo, em especial ao pesquisador da Embrapa Dr. Enderson Petronio de Brito Ferreira por disponibilizar parte da sua coleção de microrganismos para desenvolvimento do experimento. Aos profissionais Dr. Fábio José Gonçalves, pós-graduandas em agronomia, mestranda Mariana Aguiar Silva, mestranda Andressa Vainer Ferreira Monteiro, mestranda Adriana Mendonça

Barbosa e Engenheira Agrônoma Tatiane Fornazari de Alcântara pela ajuda na condução do estudo. A toda a equipe dos laboratórios de microbiologia agrícola e fenotipagem da Embrapa Arroz e Feijão pelo suporte na condução da pesquisa. Ao CNPq pela bolsa em produtividade de pesquisa ao segundo e terceiros autores.

LITERATURA CITADA

Ahemad, M.; Kibret, M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University - Science*, v.26, p.1-20, 2014.

Alvarez, R. C. F.; Crusciol, C. A. C.; Nascente, A. S.; Rodrigues, J. D.; Habermann, G. Gas exchange rates, plant height, yield components, and productivity of upland rice as affected by plant regulators. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.47, n.10, p.1455-1461, out. 2012.

Castiglioni, P.; Warner, D.; Bensen, R. J.; Anstrom, D. C.; Harrison, J.; Stoecker, M.; Abad, M.; Kumar, G.; Salvador, S.; D'Ordine, R.; Navarro, S.; Back, S.; Fernandes, M.; Targolli, J.; Dasgupta, S.; Bonin, C.; Luethy, M. H.; Heard, J. Bacterial RNA chaperones confer abiotic stress tolerance in plants and improved grain yield in maize under water-limited conditions. *Plant Physiology*, Bethesda, v. 147, n. 2, p. 446-455, 2008.

Chagas, L. F. B.; Chagas Junior, A. F.; 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*, v.15, p.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, p.437-445, 2016.

Donagema, G. K.; Campos, D. V. B. de.; Calderano, S. B.; Teixeira, W. G.; Viana, J. H. M. Manual de métodos de análise de solo. Embrapa Solos. 2.ed. Rio de Janeiro. 2011.

Fagan, E. B.; Dourado Neto, D.; Vivian, R.; Franco, R. B.; Yeda, M. P.; Massignam, L. F.; Oliveira, R. F. de; Martins, K. V. Efeito da aplicação de piraclostrobina na taxa fotossintética, respiração, atividade da enzima nitrato redutase e produtividade de grãos de soja. Bragantia, v.69, p.771-777, 2010.

Filippi, M. C. C. de.; Silva, G. B. da.; Silva-Lobo, V. L.; Cortes, M. M. 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, v.58, p.160-166, 2011.

França, S. K. S.; Cardoso, A. F.; Lustosa, D. C.; Ramos, E. M. L. S.; Filippi, M. C. C. de.; Silva, G. B. da. Biocontrol of sheath blight by *Trichoderma asperellum* in tropical lowland rice. Agronomy for Sustainable Development, v.35, p.317-324, 2015.

Frasca, L. L. de M.; Nascente, A. S.; Lanna, A. C.; Carvalho, M. C. S. Características fisiológicas do feijoeiro de ciclo superprecoce tratado com promotores de crescimento. Colloquium Agrariae, Presidente Prudente, v. 14, n.3, p. 51-61, 2018.

Galmés, J.; Carbó- Ribas, M.; Medrado, H.; Flexas, J. Activity in Mediterranean species is regulated by the chloroplastic CO₂ concentration under water stress. Journal of Experimental Botany, v.62, p.653-665, 2011.

Grossmann, K.; Retzlaff, G. Bioregulatory effects of the fungicidal strobilurin kresoxim methyl in wheat (*Triticum aestivum* L.). Pesticide Science, Tóquio, v.50, p.11-20, 1997.

Hannan, M.A.; Hasan, M.M.; Hossain, I. Impact of dual inoculations with *Rhizobium* and *Trichoderma* on root rot disease and plant growth parameters of grass pea under field conditions. *Persian Gulf Crop Protection*, v.2, p.1-9, 2013.

HUNGRIA, M. Inoculação com *Azospirillum brasiliense*: inovação em rendimento a baixo custo. Londrina: Embrapa Soja, 2011.

Kado, C. J.; Heskett, M. G. Selective media for isolation of *Agrobacterium*, *Corynebacterium*, *Erwinia*, *Pseudomonas* and *Xanthomonas*. *Phytopathology*, v.60, p.969-976, 1970.

Kapri, A.; Tewari, L. Phosphate solubilization potential and phosphatase activity of rhizospheric *Trichoderma* spp. *Brazilian Journal of Microbiology*, v.41, p.787-795, 2010.

Lima, F.; Nunes, L. A. P. L.; Figueiredo, M. D. V. B.; Araújo, F. F.; Lima, L. M.; Araújo, A. S. F. *Bacillus subtilis* e adubação nitrogenada na produtividade do milho. *Brazilian Journal of Agricultural Sciences*, v.6, p.657-661, 2011.

Louzada, G.A.S.; Carvalho, D. D. C.; Mello, S. C. M.; Lobo Júnior, M.; Martins, I.; Braúna, L. M. Potencial antagônico de *Trichoderma* spp. originários de diferentes agroecossistemas contra *Sclerotinia sclerotiorum* e *Fusarium solani*. *Biota Neotropica*, v.9, p.145-149, 2009.

Machado, R. G.; Sá, E. L. S.; Damasceno, R. G.; Hahn, L.; Almeida, D.; Moraes, T.; Camargo, F.A.O.; Reartes, D. S. Promoção de crescimento de *Lotus corniculatus* L. e *Avena strigosa* Schreb pela inoculação conjunta de *Trichoderma harzianum* e rizóbio. *Revista Ciência e Natura*, v.33, p.111-126, 2011.

Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. , 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 1997.

Mendes, R.; Garbeva, P.; Raaijmakers, J. M. The rhizosphere microbiome: significance of plant-beneficial, plantpathogenic and human-pathogenic microorganisms. *FEMS Microbiology Reviews*, v. 37, p. 634-663, 2013.

Nascente, A. S.; Filippi M. C. C. de.; Lanna, A. C.; Souza, A. C. de.; Silva Lobo, V. L. da.; Silva, G. B. da. Biomass, gas exchange, and nutrient contents in upland rice plants affected by application forms of microorganism growth promoters. *Environmental Science and Pollution Research*, v.24, p.2956-2965, 2017a.

Nascente, A. S.; Filippi M. C. C. de; Lanna A. C.; Souza, A. C. de.; Silva Lobo V. L. da.; Silva G. B. da. Effects of beneficial microorganisms on lowland rice development. *Environmental Science and Pollution Research*, v.24, p.25233-25242, 2017b.

Neves, L. L. de M.; Siqueira, D. L.; Cecon, P. R.; Martinez, C. A.; Salomão, L. C. C. Crescimento, trocas gasosas e potencial osmótico da bananeira-‘prata’, submetida a diferentes doses de sódio e cálcio em solução nutritiva. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v.24, n. 2, p. 524- 529, 2002.

Nonato, J. Nutrição, fisiologia e produtividade de soja inoculada com *Azospirillum* brasileiro e reguladores vegetais. 2016. 79f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) -Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava.

OLIVEIRA, A. L. M.; URQUIAGA, S.; BALDANI, J. I. Processos e mecanismos envolvidos na influência de microrganismos sobre o crescimento vegetal. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2003.

Pomella, A.W.V.; Ribeiro, R.T.S. Controle biológico com *Trichoderma* em grandes culturas - uma visão empresarial. *Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas*. Embrapa Meio Ambiente, p.239-244, 2009.

Santos, H. G. dos.; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C. dos.; Oliveira, V. A. de.; Lumbreras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A. de.; Araujo Filho, J. C. de.; Oliveira, J. B.

de.; Cunha, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5.ed. Brasília: Embrapa, 2018.

Silva, V. N. da; Guzzo, Sylvia Dias.; Lucon, C. M. M.; Harakava, R. Promoção de crescimento e indução de resistência à antracnose por *Trichoderma* spp. em pepineiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.46, p.609-1618, 2011.

Silva, M. A.; Jifon, J. L.; Santos, C. M.; Jadoski, C. J.; Silva A. G. Photosynthetic capacity and water use efficiency in sugarcane genotypes subject to water deficit during early growth phase. Brazilian Archives of Biology and Technology, v.56, p.735-748, 2013.

Sousa I. M.; Nascente A. S.; Filippi M. C. C. de. Bactérias promotoras do crescimento radicular em plântulas de dois cultivares de arroz irrigado por inundação. Colloquium Agrariae, v.15, p.140-145, 2019.

Zhang, H.; Kim, M. S.; Sun, Y.; Dowd, S. E.; Shi, H.; Pare, P. W. Soil bacteria confer plant salt tolerance by tissue-specific regulation of the sodium transporter HKT1. Molecular PlantMicrobe Interactions, Saint Paul, v. 21, n. 6, p. 737-744, 2008.

3 CARACTERIZAÇÃO FISIO-AGRONÔMICA DO ARROZ DE TERRAS ALTAS INOCULADO COM MIX DE MICRORGANISMOS MULTIFUNCIONAIS¹ (Capítulo 2)

João Pedro Tavares Fernandes², Adriano Stephan Nascente⁴, Marta Cristina Corsi de Filippi⁴, Anna Cristina Lanna⁴, Vinícius Silva Souza³, Mariana Aguiar Silva², Gisele Barata da Silva⁵

¹ Capítulo elaborado e submetido o artigo científico, conforme as normas do periódico Revista Caatinga.

² Mestrando (a) na Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO. Brasil.

³ Doutorando na Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO. Brasil.

⁴ Pesquisador (a) na Embrapa Arroz e Feijão. Santo Antônio de Goiás, GO. Brasil.

⁵ Pesquisadora na Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, PA. Brasil.

FERNANDES, J. P. T., NASCENTE, A. S.; FILIPPI, M. C. C. de., LANNA, A. C., SOUZA V. S., SILVA, M. A., SILVA, G. B.

Desempenho agrônômico do arroz de terras altas promovido por microrganismos multifuncionais. **Revista Caatinga**, Rio Grande do Norte, RN, Brasil.2019.

RESUMO - Microrganismos multifuncionais podem contribuir significativamente para melhorar o desempenho das plantas, sendo técnica viável quando se busca o desenvolvimento sustentável. Objetivou-se determinar o efeito de microrganismos multifuncionais aplicados isolados ou em mix sobre o desempenho do arroz de terras altas. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os 26 tratamentos consistiram das rizobactérias *Bacillus* sp. (BRM 32109, BRM 32110 e 1301), *Azospirillum* sp. (1381), *Azospirillum brasilense* (Ab-V5), *Pseudomonas fluorescens* (BRM 32111), *Pseudomonas* sp. (BRM 32112), *Burkholderia pyrrocinia* (BRM 32113), *Serratia* sp. (BRM 32114), e um gênero fúngico formando um pool de *Trichoderma asperellum* (T-06, T-09, T-12, e T-52), isoladamente ou em mix, mais o tratamento controle, sem aplicação de microrganismos. Os tratamentos mais efetivos foram os mixes de microrganismos 1301 + Ab-V5 e BRM 32114 + pool de *Trichoderma asperellum*, uma vez que proporcionaram aumento, em média, de 123 e 88% no número de panículas e de 206 e 167% na produtividade de grão do arroz de terras altas, respectivamente. Os mix 1301 + Ab-V5, BRM 32114 + pool de *Trichoderma asperellum*, BRM 32110 + BRM 32114, BRM 32110 + Ab-V5, 1301 + BRM 32110 e 1381 + pool de *Trichoderma asperellum*, também proporcionaram melhor desempenho morfofisiológico nas plantas de arroz (taxa fotossintética, eficiência de carboxilação, número de perfilhos, biomassa seca de parte aérea e teor de nutrientes na parte aérea e raiz das plantas). Portanto, o uso de microrganismos multifuncionais no manejo do arroz de terras altas foi eficiente em sua capacidade de melhorar a performance das plantas.

Palavras-chave: *Oryza sativa*. Inoculação. Sustentabilidade. Promotores de crescimento.

ABSTRACT - Multifunctional microorganisms can contribute significantly to improve the performance of plants, being a viable technique when seeking sustainable development. The objective was to determine the effect of multifunctional microorganisms applied alone or in mix on the performance of upland rice. The experiment was conducted in a greenhouse, in a completely randomized design, with four replications. The 26 treatments consisted of the rhizobacteria *Bacillus* sp. (BRM 32109, BRM 32110 and 1301), *Azospirillum* sp. (1381), *Azospirillum brasilense* (Ab-V5), *Pseudomonas fluorescens* (BRM 32111), *Pseudomonas* sp. (BRM 32112), *Burkholderia pyrrocinia* (BRM 32113), *Serratia* sp. (BRM 32114), and a fungal genus forming a pool of *Trichoderma asperellum* (T-06, T-09, T-12, and T-52), alone or in mix, plus the control treatment, without the application of microorganisms. The most effective treatments were mixtures of microorganisms 1301 + Ab-V5 and BRM 32114 + pool of *Trichoderma asperellum*, since they provided an average increase of 123 and 88% in the number of panicles and 206 and 167% in productivity of highland rice grain, respectively. The mixes 1301 + Ab-V5, BRM 32114 + pool of *Trichoderma asperellum*, BRM 32110 + BRM 32114, BRM 32110 + Ab-V5, 1301 + BRM 32110 and 1381 + pool of *Trichoderma asperellum*, also provided better morphophysiological performance in rice plants (photosynthetic rate, carboxylation efficiency, number of tillers, aerial dry biomass and nutrient content in the aerial part and root of plants). Therefore, the use of multifunctional microorganisms in the management of upland rice was efficient in its ability to improve plant performance.

Keywords: *Oryza sativa*. Inoculation. Sustainability. Growth promoters.

INTRODUÇÃO

O arroz de terras altas, cultivado na sua grande maioria nas regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil, é dependente da água da chuva e contribui com 1,3 milhões de toneladas (11% da produção brasileira) frente a uma produção do arroz irrigado por inundação de 11 milhões de toneladas (89% da produção brasileira) (EMBRAPA, 2019). Mesmo com essa baixa contribuição na produção total do arroz no país, o cultivo em condições de terras altas desponta como alternativa para elevação da produção nacional, além de proporcionar maior economia dos recursos hídricos em relação ao cultivo irrigado por inundação. Apesar disso, aumentar a produtividade do arroz de terras altas é um desafio para a pesquisa considerando os estresses bióticos e abióticos, como a ocorrência de doenças, períodos prolongados de veranicos, deficiência nutricional, além de problemas com o arranque inicial e o crescimento da planta, principalmente em áreas de plantio direto (FILIPPI et al., 2012).

Considerando a perspectiva de aumento populacional, e consequentemente, da maior demanda pelo grão, torna-se imprescindível o aumento da produção de forma sustentável (DEVKOTA et al., 2019; TRIPATHI et al., 2019). Nesse sentido, de microrganismos benéficos no sistema de cultivo do arroz pode representar uma opção de manejo cujo propósito é a promoção do crescimento de plantas, por meio do aumento da disponibilidade de nutrientes, da eficiência de trocas gasosas e, consequentemente, a produção de maior quantidade de fitomassa e da produtividade de grãos (GODFRAY et al., 2012; NASCENTE et al., 2017a).

Estudos realizados na Embrapa Arroz e Feijão em parceria com a Universidade Federal Rural da Amazônia mostraram a atuação multifuncional de microrganismos, especialmente, rizobactérias e isolados de *Trichoderma asperellum*, em associação com plantas de arroz. Resultados de experimento em casa de vegetação mostraram que dentre os microrganismos multifuncionais, o microrganismo isolado *Serratia* sp. foi o mais eficaz em promover aumento da taxa fotossintética, maior acúmulo de nutrientes e biomassa seca de parte aérea em plantas de arroz de terras altas do genótipo derivado da BRS Primavera CL (NASCENTE et al., 2017a). Em outro experimento, conduzido por Sperandio et al. (2017), avaliando o crescimento de plantas de arroz de terras altas, medido por meio da área foliar, comprimento e biomassa seca de parte aérea e raiz, também foi maior em

plantas inoculadas com *Serratia* sp. Enquanto, a resistência a patógenos foi induzida tanto por *Serratia* sp. quanto por *Bacillus* sp. (BRM 32110).

A partir desses resultados, surgiram questões como: (a) “o uso de microrganismos multifuncionais, em mix, poderia proporcionar resultados ainda melhores do que sua aplicação isoladamente?” (b) “outros microrganismos poderiam proporcionar resultados ainda melhores dos que os já apresentados pelos microrganismos já testados?” Assim, o objetivo deste estudo foi determinar o efeito de microrganismos multifuncionais, isolados e em mix, sobre o desempenho das plantas de arroz de terras altas, medida por meio de trocas gasosas, número de perfilhos, biomassa seca de parte aérea e raiz, acúmulo de nutrientes na parte aérea e raiz, componentes de produção e produtividade de grãos.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização do Local

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no período de setembro a dezembro de 2018, na Fazenda Capivara, sede da Embrapa Arroz e Feijão, localizada no município de Santo Antônio de Goiás, Goiás, Brasil. O solo utilizado foi proveniente da camada arável (0 - 0,20 m) de um Latossolo Vermelho Ácrico (Santos et al., 2018), de textura média. Antes da instalação do experimento foi realizada a análise da fertilidade do solo que apresentou as seguintes características: pH (H₂O) = 6,1; Ca²⁺ = 78,4 mmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 20,9 mmol_c dm⁻³; H+Al³⁺ = 12 mmol_c dm⁻³; P = 35,9 mg dm⁻³; K⁺ = 203 mg dm⁻³; Cu²⁺ = 2,4 mg dm⁻³; Zn²⁺ = 2,9 mg dm⁻³; Fe³⁺ = 39 mg dm⁻³; Mn²⁺ = 28 mg dm⁻³ e Matéria orgânica = 24,7 g kg⁻¹. Essas análises seguiram os métodos propostos por Donagema et al. (2011).

Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 26 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por suspensões de microrganismos, isolados ou em mix, mais o tratamento controle (sem microrganismos). Os microrganismos multifuncionais utilizados para a composição dos tratamentos foram: isolados de *Bacillus* sp. (BRM 32109, BRM 32110 e 1301), *Pseudomonas fluorescens* (BRM 32111), *Pseudomonas* sp. (BRM 32112), *Burkholderia pyrrocinia* (BRM 32113), *Serratia* sp.

(BRM32114), *Azospirillum* sp. (1381), *Azospirillum brasilense* (Ab-V5) e *pool* de isolados de *Trichoderma asperellum* (T-06, T-09, T-12, e T-52).

Aplicação dos microrganismos

Todos os microrganismos, isolados ou em mix, foram aplicados em três momentos na cultura: 1. Microbiolização de sementes antes da semeadura; 2. Suspensão regada no solo aos 7 dias após a semeadura (DAS); 3. Aplicação da suspensão por pulverização na parte aérea da planta aos 21 DAS. Os isolados bacterianos são parte integrante da coleção de microrganismos da Embrapa Arroz e Feijão (CNPAP) e o *pool* de isolados *T. asperellum* integra a coleção de fungos da Universidade Federal Rural da Amazônia. As características bioquímicas e classificação taxonômica das rizobactérias estão disponíveis em Nascente et al. (2017a) e o *pool* de *T. asperellum* em Silva et al. (2011).

Preparo das soluções de microrganismos

A partir de culturas com crescimento em meio sólido (ágar nutriente), suspensões com os microrganismos foram preparadas em meio líquido 523 (caldo nutriente) (KADO; HESKETT, 1970), em incubadora agitadora, por 24 horas a 28 °C. A concentração da suspensão de cada microrganismo foi ajustada em espectrofotômetro para $A_{540} = 0,5$, o que corresponde a 1×10^8 unidades formadoras de colônia (UFC) por mL. Os tratamentos em mix foram compostos com a junção de partes iguais da suspensão dos isolados dos microrganismos multifuncionais. Antes da microbiolização foi feito a desinfestação das sementes pela imersão das mesmas em álcool 70% por um minuto e hipoclorito de sódio 0,05% pelo mesmo período de tempo, seguida de secagem à temperatura ambiente a 29°C. A microbiolização ocorreu com a imersão das sementes em suspensões de células de cada bactéria e o tratamento controle, pela imersão das sementes em água, durante 24 horas a temperatura de 25 °C, sob agitação constante, de acordo com metodologia proposta por FILIPPI et al. (2011b).

A microbiolização com *pool* de *T. asperellum* utilizou conídios viáveis, multiplicados no laboratório de Microbiologia Agrícola da Embrapa Arroz e Feijão. Cada isolado de *T. asperellum* foi cultivado numa placa de Petri contendo BDA (batata, dextrose e ágar), durante cinco dias e bioformulados como descrito por Silva et al. (2012). O tratamento das sementes ocorreu com 10 g de conídios *T. Asperellum* em pó (SILVA et al., 2012), por 1 kg de sementes (FILIPPI et al., 2011b). A concentração da suspensão

biológica foi de 10^8 conídios mL^{-1} , a qual foi transferida para saco plástico, juntamente com as sementes. Os sacos foram agitados para homogeneizar as sementes, conforme metodologia proposta por (FRANÇA et al., 2015).

Aos sete DAS o solo foi regado com 100 ml de suspensão (10^8 UFC) de cada bactéria, ou com suspensão contendo o *pool* de *T. asperellum* (10^8 conídios mL^{-1}), ou ainda com água (controle). Aos 21 DAS, as plantas foram pulverizadas com 30 ml de suspensão (10^8 UFC) de bactérias, ou com o *pool* de *T. asperellum* (10^8 conídios mL^{-1}), ou ainda com água destilada (controle). O equipamento utilizado para aplicação nas plantas foi um pulverizador manual, com pressão de CO_2 , com bico tipo cônico (TX-VS2), lavado e desinfetado com álcool 70%, entre as aplicações de cada tratamento.

Manejo da cultura

Três semanas antes da semeadura do arroz terras altas, cultivar BRS A501 CL, os vasos com capacidade de 7 kg foram totalmente preenchidos com solo e fertilizados com 70 mg dm^{-3} de N (ureia), 400 mg dm^{-3} de P_2O_5 (superfosfato simples) e 200 mg dm^{-3} de K_2O (cloreto de potássio). Dez sementes de arroz microbiolizadas foram semeadas por vaso. A emergência das plantas ocorreu seis dias após semeadura e o desbaste de plantas foi realizado aos sete dias após a emergência (DAE), mantendo-se duas plantas por vaso. Durante toda a condução do experimento foi mantida irrigação adequada. Durante o perfilhamento (28 DAE) e primórdio floral (48 DAE), foram realizadas adubação nitrogenada (dois gramas de sulfato de amônio) e potássica (um grama de cloreto de potássio) a lanço, por vaso. O controle de plantas daninhas foi realizado, de forma manual, semanalmente, e não ocorreu intervenção para o controle de pragas e doenças durante a condução do experimento.

Variáveis

Trocas gasosas

Aos 96 DAE, trocas gasosas foram determinadas por meio do medidor portátil de gás na região do infravermelho IRGA (LCpro+, ADC BioScientific). Assim, realizaram-se as seguintes avaliações: taxa fotossintética (A, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); taxa transpiratória (E, $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); condutância estomática (gs, $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 (Ci , $\mu\text{mol mol}^{-1}$). A eficiência instantânea de carboxilação (EiC) foi calculada pela razão entre A e Ci [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$] conforme metodologia descrita por Silva

et al. (2013). O período de avaliações foi entre 08h30min e 10h 30min. Aos 95 e 96 DAE (estádio R3, 50% do total de plantas de arroz de terras altas em floração), a temperatura foliar média observada foi de 33°C. As leituras foram realizadas no terço central da primeira folha completamente expandida (do topo para base) nas plantas de arroz. A câmara do IRGA manteve-se regulada com concentrações de 370 – 400mol mol⁻¹ CO₂ (referência), com densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) de 1200 µmol [quanta] m⁻² s⁻¹.

Biomassa seca de parte aérea e raiz

Aos 120 DAE a parte aérea de plantas de arroz de terras altas foi cortada e acondicionada em envelopes, devidamente identificados. Para a raiz, o solo foi lavado e peneirado para separação das raízes e, em seguida, as mesmas foram acondicionadas em envelopes, devidamente identificados. Tanto a parte aérea quanto as raízes foram levadas para secagem em estufa de ventilação forçada e temperatura de 65 °C, até massa constante. Em seguida, o material de cada envelope foi pesado para determinação da biomassa seca de parte aérea e de raiz.

Macronutrientes da parte aérea e raiz

Aos 120 DAE a parte aérea e raízes das plantas de arroz de terras altas, de cada tratamento, após secagem e pesagem, foram moídas em moinho do tipo Willey para a análise e determinação dos teores de nutrientes (N, P, K), de acordo com Malavolta et al. (1997).

Produtividade de grãos e componentes de produção

Aos 120 DAE as características agronômicas: produtividade de grãos (PROD, g vaso⁻¹), número de panículas por vaso (NPV, unidade), número de grãos por panícula (NGP, unidade) e massa de 1000 grãos (1000M) foram determinadas. A produtividade de grãos foi determinada pela pesagem das amostras colhidas em cada parcela, e o teor de umidade dos grãos corrigido para 13% e convertido em g vaso⁻¹. O NPV foi determinado pelo somatório do número total de panículas por vaso. Assim como, o NGP foi obtido com a contagem do número total de grãos, dividido pelo número total de panículas por vaso. Para obtenção dos valores de 1000M, foi contado o número total de grãos e determinado

sua massa. Assim, por regra de três simples foi calculado a massa de 1000 grãos, o teor de umidade dos grãos foi corrigido para 13%.

Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e, quando detectada significância, as médias foram comparadas pelo teste LSD ($p \leq 0,05$). Utilizou-se o pacote estatístico SAS para processamento de dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plantas inoculadas e não inoculados apresentaram o mesmo padrão de trocas gasosas (Tabela 1). Observa-se que os tratamentos 1381 (*Azospirillum* sp.) + BRM 32110 (*Bacillus* sp.) e *Pseudomonas fluorescens* (BRM 32111) proporcionaram maiores valores em fotossíntese ($14,92$ e $14,89 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), no entanto, não ocorreu diferença significativa em comparação ao tratamento controle. Assim como, os maiores valores para, transpiração, condutância estomática e concentração interna de CO_2 , foi obtido com o tratamento BRM 32110 + Ab-V5, sendo, E ($6,13 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), gs ($0,270 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e Ci ($271 \mu\text{mol mol}^{-1}$) em plantas de arroz, do mesmo modo, não diferiu do tratamento controle. Além disso, o maior valor em eficiência instantânea de carboxilação (EiC) foi obtido com a utilização do tratamento 1381 + BRM 32110, apesar de não diferir significativamente do tratamento controle. A EiC é uma estimativa da atividade da enzima Rubisco. Desse modo, plantas de arroz de terras altas que apresentaram alta EiC podem desempenhar maior capacidade de superar a limitação na difusão de CO_2 através dos mesófilo e estômatos, com isso, proporcionando maior habilidade de fixar, de fato, o CO_2 (Galmés et al., 2011). Assim como EiC , a taxa fotossintética também é uma importante ferramenta na determinação da adaptação e desempenho de plantas. O aumento no crescimento de plantas pode ter efeito no acréscimo em produtividade, estando relacionado à atividade enzimática associada à fotossíntese, sendo, portanto, influenciado por fatores bióticos como microrganismos multifuncionais no meio de cultivo (Sousa, 2019).

Tabela 1. Trocas gasosas: fotossíntese (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 (gs , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 (Ci , $\mu\text{mol mol}^{-1}$) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC , $(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$) de

plantas de arroz de terras altas, cultivar BRS A501 CL, tratadas com microrganismos multifuncionais, isolados ou em mix. O experimento foi conduzido em casa de vegetação e as medidas foram realizadas nas plantas aos 96 DAE (florescimento pleno).

Tratamentos	A	E	gs	Ci	EiC
<i>Burkholderia pyrrocinia</i> (BRM 32113)	13,18 b c d e	5,83 a b c	0,185 c d e f g	236 b c d e	0,052 d e
<i>Pseudomonas</i> sp. (BRM 32112)	14,24 a b c d	5,1 d	0,190 b c d e f g	233 b c d e	0,060 a b c d
<i>Pseudomonas fluorescens</i> (BRM 32111)	14,89 a	4,94 d	0,212 b c d e	237 b c d e	0,065 a b c
<i>Serratia</i> sp. (BRM 32114)	13,12 c d e	5,13 d	0,177 a b c	227 d e f	0,067 a b
<i>Bacillus</i> sp. (BRM 32110)	12,71 d e	4,93 d	0,160 g	229 b c d e	0,055 c d e
<i>Bacillus</i> sp. (BRM 32109)	13,37 a b c d e	5,58 a b c d	0,177 d e f g	227 c d e f	0,060 a b c d
pool de <i>T. asperellum</i>	14,03 a b c d	5,55 a b c d	0,225 a b c	248 a b c	0,057 b c d
<i>Azospirillum brasilense</i> (Ab-V5)	14,52 a b c	5,23 c d	0,205 b c d e f g	234 b c d e	0,065 a b c
<i>Azospirillum</i> sp. (1381)	14,33 a b c	5,09 d	0,197 b c d e f g	236 b c d e	0,065 a b c
<i>Bacillus</i> spp. (1301)	13,94 a b c d	5,33 b d c	0,182 c d e f g	227 c d e f	0,062 a b c d
BRM 32114. + BRM 32110	13,26 a b c d	5,08 d	0,175 d e f g	228 c d e	0,057 b c d
BRM 32114 + Ab-V5	13,83 a b c d e	5,36 b c d	0,175 d e f g	218 d e f	0,062 a b c d
BRM 32114 + pool de <i>T. asperellum</i>	13,18 b c d e	4,9 d	0,162 f g	218 d e f	0,062 a b c d
BRM 32110 + Ab-V5	12,26 e	6,13 a	0,270 a	271 a	0,045 e
BRM 32110+ pool de <i>T. asperellum</i>	13,59 a b c d e	5,02 d	0,192 b c d e f g	234 b c d e	0,062 a b c d
Ab-V5 + pool de <i>T. asperellum</i>	14,45 a b c	6,02 a b	0,207 b c d e f	233 b c d e	0,065 a b c
1381 + 1301	14,71 a b	5,25 c d	0,177 d e f g	230 f	0,067 a b
1381. + Ab-V5	14,04 a b c d	5,44 a b c d	0,210 b c d e	229 b c d e	0,062 a b c d
1301 + Ab-V5	13,41 a b c d e	5,4 b c d	0,195 b c d e f g	220 d e f	0,060 a b c d
1381 + BRM 32114	13,41 a b c d e	5,26 c d	0,202 b c d e f g	240 b c d	0,057 b c d
1301 + BRM 32114	13,49 a b c d e	4,93 d	0,167 e f g	212 e f	0,065 a b c
1381 + BRM 32110	14,92 a	5,56 a b c d	0,192 b c d e f g	220 d e f	0,070 a
1301 + BRM 32110	13,73 a b c d e	5,37 b c d	0,195 b c d e f g	230 b c d e	0,060 a b c d
1381 + pool de <i>T. asperellum</i>	13,58 a b c d e	5,54 a b c d	0,215 b c d	254 a b	0,057 b c d
1301 + pool de <i>T. asperellum</i>	13,57 a b c d e	4,85 d	0,195 b c d e f g	225 c d e f	0,060 a b c d
Controle (sem microrganismos)	14,32 a b c	5,54 a b c d	0,232 a b	248 a b c	0,060 a b c d

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$). O tratamento pool de *Trichoderma asperellum* é composto pelos isolados fúngicos (T-06, T-09, T-12, T-52).

Ocorreu aumento significativo no número de perfilhos (59%, em média) nas plantas de arroz de terras altas tratadas com os mix *Bacillus* spp. + *A. brasilense* e *Serratia* sp. + pool de *T. asperellum* (Tabela 2). Observa-se que o perfilhamento na cultura do arroz é desejável, segundo Yoshida (1981) essa é uma característica que está diretamente relacionada com a produção de grãos e biomassa da planta. No presente trabalho, constata-se que os maiores incrementos de número de perfilhos ocorreram em plantas tratadas com microrganismos multifuncionais, em comparação ao tratamento controle. Além disso,

plantas que perfilharam mais tiveram maiores valores em ganho de biomassa seca, podendo influenciar positivamente no número de panículas e na produtividade.

Corroborando essa informação, o maior acúmulo de biomassa seca de parte aérea em, foi obtido com plantas de arroz de terras altas tratadas com, BRM 32114 + *Pool* de *T. asperellum*, 1301 + Ab-V5 e 1301 + BRM 32110, respectivamente, diferindo significativamente do tratamento controle. Esse resultado, corrobora com pesquisas desenvolvidas por Sousa, 2019 e Frasca, 2019. que observaram aumento de biomassa parte aérea nas culturas do arroz irrigado e feijoeiro-comum que foram submetidas a microrganismos multifuncionais.

Tabela 2. Número de perfilhos (PERF, unidade), biomassa seca de parte aérea (BSPA, g kg⁻¹), raiz (BSR, g kg⁻¹) e total (BST, g kg⁻¹) de plantas de arroz de terras altas, cultivar BRS A501 CL, tratadas com microrganismos multifuncionais, isolados ou em mix. O experimento foi conduzido em casa de vegetação e os dados coletados foram realizados nas plantas aos 120 DAE (maturação fisiológica).

Tratamentos	PERF	BSPA	BSR	BST
<i>Burkholderia pyrrrocinia</i> (BRM 32113)	11,50 d e f g h	31,32 f g h i	7,78 d e f g h	39,10 e f g h
<i>Pseudomonas</i> sp. (BRM 32112)	5,75 i	31,46 f g h i	7,64 d e f g h	39,10 e f g h
<i>Pseudomonas fluorescens</i> (BRM 32111)	14,00 b c d e f g	32,96 f g h i	7,46 d e f g h	40,42 e f g h
<i>Serratia</i> sp. (BRM 32114)	9,75 i f g h	43,78 b c d e f	4,67 f g h	48,45 b c d e
<i>Bacillus</i> sp. (BRM 32110)	8,25 i h	31,36 f g h i	7,66 d e f g h	39,02 e f g h
<i>Bacillus</i> sp. (BRM 32109)	9,50 i f g h	30,75 d e f g h	27,01 d e f g h	46,13 b c d e f g
<i>Pool</i> de <i>T. asperellum</i>	13,75 b c d e f g h	32,75 f g h i	6,19 e f g h	38,94 e f g h
<i>Azospirillum brasilense</i> (Ab-V5)	17,50 a b c	47,58 a b c d e	15,71 a	63,29 a b
<i>Azospirillum</i> sp. (1381)	10,75 e f g h i	34,34 e f g h i	7,88 d e f g h	42,22 d e f g h
<i>Bacillus</i> spp. (1301)	8,25 h i	21,60 i	3,43 h	25,03 h
BRM 32114. + BRM 32110	9,25 f g h i	22,48 i	6,68 e f g h	29,17 g h
BRM 32114 + Ab-V5	8,75 g h i	34,34 e f g h i	8,21 c d e f g h	42,54 d e f g
BRM 32114 + <i>Pool</i> de <i>T. asperellum</i>	18,00 a b	61,14 a	15,50 a	76,64 a
BRM 32110 + Ab-V5	9,00 f g h i	32,51 f g h i	8,77 c d e f	41,28 e f g h
BRM 32110+ <i>Pool</i> de <i>T. asperellum</i>	11,75 d e f g h	32,87 f g h i	8,10 d e f g h	40,97 e f g h
Ab-V5 + <i>Pool</i> de <i>T. asperellum</i>	14,00 b c d e f g	41,88 b c d e f g	8,87 c d e f	50,75 b c d e
1381 + 1301	11,00 e f g h i	26,39 h i	3,78 g h	30,18 f g h

1381. + Ab-V5	10,25 e f g h i	28,07 g h i	5,95 e f g h	34,02 e f g h
1301 + Ab-V5	21,00 a	55,78 a b	13,04 a b c	68,82 a
1381 + BRM 32114	11,00 e f g h i	37,65 d e f g h	9,91 b c d e	47,56 b c d e f
1301 + BRM 32114	11,25 e f g h i	38,21 d e f g h	6,82 e f g h	45,03 c d e f
1381 + BRM 32110	14,50 b c d e f	41,25 c d e f g	9,58 c d e f	50,83 b c d e
1301 + BRM 32110	17,75 a b c	55,19 a b c	14,64 a b	69,82 a
1381 + Pool de <i>T. asperellum</i>	15,75 a b c d e	47,83 a b c d e	11,87 a b c d	59,70 a b c d
1301 + Pool de <i>T. asperellum</i>	17,00 a b c d	49,93 a b c d	10,35 b c d e	60,28 a b c
Controle (sem microrganismos)	12,25 c d e f g h	38,61 d e f g h	8,42 c d e f g	47,03 a b c d e f

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$). O microrganismo *pool* de *Trichoderma asperellum* é composto pelos isolados fúngicos (T-06, T-09, T-12, T-52).

Em se tratando de biomassa seca de raiz, os maiores incrementos ocorreu com plantas de arroz de terras altas tratadas com o isolado *A. brasiliense*, *Serratia* sp. + *pool* de *T. asperellum* e 1301 + BRM 32110, respectivamente, diferindo significativamente do tratamento controle. Outros pesquisadores também obtiveram resultados promissores com a utilização de microrganismos multifuncionais. Em relação a variável biomassa seca total (planta inteira), foi observados maiores incrementos em plantas tratadas com os microrganismos multifuncionais BRM 32114 + *pool* de *T. asperellum*, apesar de estatisticamente não diferir do tratamento controle (Tabela 2). Observa-se, assim, que os maiores incrementos em biomassa seca e perfilhamento foram detectados nas plantas de arroz tratadas com microrganismos multifuncionais em mix. Pesquisa desenvolvida por Banayo (2012), também obteve resultado promissor com a utilização de microrganismos multifuncionais (*Azospirillum* e *Trichoderma*), segundo o pesquisador esses microrganismos influenciaram no incremento da produção de biomassa e produtividade na cultura do arroz. Assim como, o bioagente *Bacillus* sp. foi capaz de estimular o desenvolvimento e produtividade na cultura da pimenta, e o *Trichoderma* sp. proporcionou maior biomassa de raízes na cultura do pepino (YEDIDIA 2001; HERMAN 2008; REDDY 2008).

Os maiores acúmulos de N, P e K na parte aérea foram observados em plantas tratadas com BRM 32114 + BRM 32110. Esse tratamento apresentou diferença significativa apenas para acúmulos de N e P, sendo que, para nutriente k não diferiu significativamente do tratamento controle (Tabela 3).

Em termos de acúmulo de nutrientes, no sistema radicular, destaca-se que o tratamento 1301 + BRM 32110 obteve maior incremento nos nutrientes N e P (12 e 98%, respectivamente) em comparação ao tratamento controle, entretanto, ocorreu diferença significativa em relação ao tratamento controle apenas para o nutriente P. Os tratamentos contendo mix de microrganismos proporcionaram ganhos em acúmulo nutricional nas plantas de arroz, o que é positivo e pode proporcionar redução na demanda de fertilizantes sintéticos. Além disso, esses fertilizantes são onerosos, finitos, apresentam baixa eficiência de aproveitamento pelas plantas podendo causar degradação ambiental (FAGERIA, 2006; NASCENTE et al., 2017b).

O maior acúmulo de K em sistema radicular foi obtido com plantas tratadas com 1381 + *Pool* de *T. asperellum*, que diferiu significativamente do tratamento controle. Nesse sentido, a utilização de microrganismos multifuncionais pode ser uma alternativa viável na busca de uma agricultura sustentável com menor utilização de insumos sintéticos. Nascente et al. (2019) avaliou o microrganismo *Serratia* sp. e doses de nitrogênio na cultura do arroz de terras altas, o autor verificou que o microrganismo favoreceu a redução na adubação nitrogenada de 120 kg N ha⁻¹ para 80 kg N ha⁻¹ para se obter a mesma produtividade de grãos.

Tabela 3. Teor de macronutrientes (g kg⁻¹), N, P e K, na parte aérea e raiz de plantas de arroz de terras altas, cultivar BRS A501 CL, tratadas com microrganismos multifuncionais, isolados ou em mix. O experimento foi conduzido em casa de vegetação e as avaliações foram realizadas nas plantas aos 120 DAE (maturidade fisiológica).

Tratamentos	Parte aérea			Sistema radicular		
	N	P	K	N	P	K
<i>Burkholderia pyrrocinia</i> (BRM 32113)	8,44 h i j k	0,61 e f g	24,92 a b	10,47 a b c d e f	0,75 b c d e	3,86 b c
<i>Pseudomonas</i> sp. (BRM 32112)	12,53 d e f g h i	0,67 e f g	23,79 a b c d	12,41 a	0,99 b	4,61 a b
<i>Pseudomonas fluorescens</i> (BRM 32111)	12,33 d e f g h i	0,71 d e f g	24,10 a b c	11,12 a b c d	0,55 d e	2,24 d e f g h
<i>Serratia</i> sp. (BRM 32114)	16,14 b c d e	0,66 e f g	20,79 b c d e	8,98 e f g h i j	0,72 c d e	1,77 e f g h i
<i>Bacillus</i> sp. (BRM 32110)	11,92 d e f g h i	0,69 d e f g	22,18 b c d e	10,82 a b c d e f	0,81 b c d	1,59 f g h i
<i>Bacillus</i> sp. (BRM 32109)	4,10 k	0,24 g	22,00 b c d e	7,09 j	0,49 e	3,05 c d e
<i>Pool</i> de <i>T. asperellum</i>	10,54 f g h i j	0,60 e f g	19,49 c d e	11,45 a b c	0,58 d e	1,92 d e f g h i
<i>Azospirillum brasilense</i> (Ab-V5)	8,65 h i j k	0,37 f g	19,04 c d e	9,97 c d e f g h	0,88 b c	1,86 d e f g h i
<i>Azospirillum</i> sp. (1381)	16,00 b c d e f	1,25 b c d	20,86 b c d e	9,02 e f g h i	0,67 c d e	2,13 d e f g h

<i>Bacillus</i> spp. (1301)	16,76 a b c d	1,38 b c	19,16 c d e	10,09 c d e f g h	0,74 b c d e	1,43 f g h i
BRM 32114. + BRM 32110	22,23 a	2,13 a	28,09 a	8,38 g h i j	0,81 b c d	1,42 f g h i
BRM 32114 + Ab-V5	10,35 h j i g	0,62 e f g	18,63 d e	8,93 j g h i j	0,76 b c d e	1,02 h i
BRM 32114 + <i>Pool</i> de <i>T. asperellum</i>	7,94 j k i	0,39 f g	19,17 c d e	10,22 b c d e f	0,61 c d e	1,76 e f g h i
BRM 32110 + Ab-V5	20,25 a b	1,67 a b	22,24 b c d e	10,63 a b c d e f	0,62 c d e	1,32 g h i
BRM 32110+ <i>Pool</i> de <i>T. asperellum</i>	12,63 d e f g h i	0,79 d e f g	18,89 c d e	9,47 d e f g h i	0,55 d e	1,39 f g h i
Ab-V5 + <i>Pool</i> de <i>T. asperellum</i>	7,11 j k i	0,46 f g	17,65 e	7,99 i j	0,70 c d e	2,48 c d e f g
1381 + 1301	10,96 e f g h i	0,76 d e f g	21,76 b c d e	8,86 f g h i j	0,60 d e	1,42 f g h i
1381. + Ab-V5	16,19 b c d e	1,43 b	19,95 b c d e	9,94 c d e f g h i	0,61 c d e	1,87 d e f g h i
1301 + Ab-V5	3,69 k	0,24 g	21,29 b c d e	8,23 h i j	0,57 d e	0,66 i
1381 + BRM 32114	15,14 b c d e f g	1,12 b c d e	18,61 d e	10,74 a b c d e f	0,56 d e	3,21 b c d
1301 + BRM 32114	19,23 a b c	1,52 b	21,25 b c d e	9,14 d e f g h i	0,70 c d e	1,00 h i
1381 + BRM 32110	13,75 c d e f g h	0,75 d e f g	22,23 b c d e	9,98 c d e f g h	0,64 c d e	2,79 c d e f
1301 + BRM 32110	7,77 j k i	0,45 f g	22,21 b c d e	12,26 a	1,33 a	2,35 d e f g h
1381 + <i>Pool</i> de <i>T. asperellum</i>	14,47 c d e f g	0,84 c d e f	19,70 c d e	12,07 a b	0,72 b c d e	5,43 a
1301 + <i>Pool</i> de <i>T. asperellum</i>	8,30 h i j k	0,48 f g	20,73 b c d e	9,13 e f g h i	0,71 c d e	2,75 c d e f
Controle (sem microrganismos)	5,84 j k	0,37 f g	23,61 a b c d	10,91 a b c d e	0,67 c d e	0,99 i

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD ($p<0,05$). O microrganismo *pool* de *Trichoderma asperellum* é composto pelos isolados fúngicos (T-06, T-09, T-12, T-52).

Os maiores valores em número de panículas são observados nos tratamentos 1301 + Ab-V5, Ab-V5 e BRM 32114 + *pool* de *Trichoderma asperellum*, na ordem de 2,2, 1,9 e 1,9 vezes superior ao número de panículas das plantas controle, respectivamente, além de diferir significativamente do tratamento controle (Tabela 4). De maneira geral, observa-se que os tratamentos que proporcionaram maior número de perfilhos nas plantas de arroz foram os mesmos que se destacaram para o maior número de panículas. Segundo Yoshida (1981) existe correlação positiva entre número de perfilhos e número de panículas. Para número de grãos por panícula e massa de 1000 grãos os maiores valores foram obtidos nas plantas de arroz de terras altas inoculadas com 1381 e BRM 32110, respectivamente, com diferença significativa em relação ao controle. Em relação à produtividade de grãos, plantas de arroz de terras altas inoculadas com os mix 1301 + Ab-V5 e BRM 32114 + *pool* de *Trichoderma asperellum* foram as mais produtivas, apresentando aumento de 206 e 167%, comparativamente às plantas controle, além de diferir significativamente. Os microrganismos benéficos interagem com plantas proporcionando diversos efeitos morfológicos e fisiológicos positivos (MOREIRA, 2006; AVIS, 2008).

Tabela 4. Número de panículas por vaso (NPV, unidade), número de grãos por panícula (NGP, unidade), massa de 1000 grãos (1000M, g kg⁻¹) e produtividade de grãos (PROD, g vaso⁻¹) em plantas de arroz de terras altas, cultivar BRS A501 CL, tratadas com microrganismos multifuncionais, isolados ou em mix. O experimento foi conduzido em casa de vegetação e as avaliações foram realizadas nas plantas aos 120 DAE (maturidade fisiológica)

Tratamentos	NPV	NGP	1000M	PROD
<i>Burkholderia pyrrocinia</i> (BRM 32113)	9,25 d e f g h i	106 b c d e f g h i	20,99 e f g	22,32 f g h
<i>Pseudomonas</i> sp. (BRM 32112)	4,50 i	101 c d e f g h i	25,23 a b c d	11,55 h
<i>Pseudomonas fluorescens</i> (BRM 32111)	11,75 b c d e f g	61 i	17,74 g	13,91 g h
<i>Serratia</i> sp. (BRM 32114)	7,25 f g h i	131 a b c d e f g	23,54 a b c d e f	22,06 f g h
<i>Bacillus</i> sp. (BRM 32110)	6,50 g h i	97 d e f g h i	28,66 a	17,86 f g h
<i>Bacillus</i> sp. (BRM 32109)	7,75 e f g h i	138 a b c d e	24,65 a b c d e f	26,09 e f g d
<i>Pool</i> de <i>T. asperellum</i>	12,00 b c d e f	87 f g h i	20,52 f g	21,28 f g h
<i>Azospirillum brasilense</i> (Ab-V5)	16,50 a b	97 d e f g h i	25,26 a b c d	41,5 b c
<i>Azospirillum</i> sp. (1381)	9,25 d e f g h i	153 a	23,21 b c d e f	30,17 e f c d
<i>Bacillus</i> spp. (1301)	6,25 h i	147 a b	24,47 b c d e f	21,31 f g h
BRM 32114 + BRM 32110	7,50 e f g h i	74 h i	25,95 a b c d	14,71 g h
BRM 32114 + Ab-V5	7,25 f g h i	121 a b c d e f g	26,15 a b c	22,78 e f g h
BRM 32114 + <i>Pool</i> de <i>T. asperellum</i>	16,00 a b	146 a b c	23,4 b c d e f	54,11 a b
BRM 32110 + Ab-V5	7,00 f g h i	113 a b c d e f g	25,07 b c d e	18,09 f g h
BRM 32110+ <i>Pool</i> de <i>T. asperellum</i>	10,50 c d e f g h	94 e f g h i	26,46 a b	23,19 e f g h
Ab-V5 + <i>Pool</i> de <i>T. asperellum</i>	11,75 b c d e f g	132 a b c d e f	22,56 b c d e f	36,77 e c d
1381 + 1301	9,00 d e f g h i	73 h i	20,51 f g	14,36 g h
1381 + Ab-V5	7,50 e f g h i	84 g h i	22,19 c d e f	13,74 g h
1301 + Ab-V5	19,00 a	142 a b c d	24,87 a b c d e	61,99 a
1381 + BRM 32114	9,00 d e f g h i	69 h i	21,84 d e f g	13,66 g h
1301 + BRM 32114	9,25 d e f g h i	89 f g h i	24,6 a b c d e f	19,71 f g h
1381 + BRM 32110	12,75 b c d e	74 h i	24,54 a b c d e f	24,16 e f g h
1301 + BRM 32110	15,75 a b c	108 a b c d e f g h	24,59 a b c d e f	39,92 b c d
1381 + <i>Pool</i> de <i>T. asperellum</i>	13,25 b c d	88 f g h i	22,56 b c d e f	20,48 f g h
1301 + <i>Pool</i> de <i>T. asperellum</i>	12,25 b c d e f	99 d e f g h i	26,38 a b	29,22 e f c d
Controle (sem microrganismos)	8,50 d e f g h i	105 b c d e f g h i	23,04 b c d e f	20,22 f g h

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$). O microrganismo *pool* de *Trichoderma asperellum* é composto pelos isolados fúngicos (T-06, T-09, T-12, T-52).

Observa-se que para número de panículas os tratamentos mais efetivos foram 1301 + Ab-V5, Ab-V5 e BRM 32114 + *pool* de *Trichoderma asperellum*, respectivamente. Para número de grãos por panícula e massa de 1000 grãos os tratamentos que obtiveram maiores valores foram 1381 e BRM 32110, respectivamente. Assim como, produtividade de grãos,

plantas de arroz de terras altas inoculadas com os mix 1301 + Ab-V5 e BRM 32114 + *pool* de *Trichoderma asperellum* obtiveram melhor desempenho. Com isso, constata-se que a utilização de microrganismos multifuncionais contribui para um melhor desempenho de plantas de arroz de terras altas. Novos estudos devem ser conduzidos em condições de campo para validar os resultados obtidos em condições controladas.

CONCLUSÕES

Mix de microrganismos multifuncionais são mais efetivos em potencializar os efeitos benéficos do que microrganismos aplicados isoladamente às plantas de arroz de terras altas; Os melhores tratamentos foram 1301 + Ab-V5 e BRM 32114 + *pool* de *Trichoderma asperellum* para os parâmetros: produtividade de grãos, número de perfilhos, biomassa seca de parte aérea, raiz e total. E, para teor de macronutrientes na parte aérea e raiz, BRM 32110 + BRM 32114, BRM 32110 + Ab-V5, 1301 + BRM 32110 e 1381 + *pool* de *Trichoderma asperellum*.

AGRADECIMENTOS

À Embrapa CNPAF pelo apoio e concessão da área de estudo, em especial ao pesquisador da Embrapa Dr. Enderson Petrônio de Brito Ferreira por disponibilizar parte da sua coleção de microrganismos para desenvolvimento do experimento. Aos profissionais que ajudar na condução do experimento, Dr. Fábio José Gonçalves, Ms. Marina Teixeira Arriel, Adriana Mendonça Barbosa, Antônio da Conceição Teixeira, Nelson Tavares de Barros Junior e Ms. João Antônio Mendonça, pela ajuda na condução do ensaio. A toda a equipe dos laboratórios de microbiologia agrícola e fenotipagem da Embrapa Arroz e Feijão. Ao CNPq pela bolsa em produtividade de pesquisa ao segundo e terceiros autores. Ao CNPq (processo número 406507/2018-0) e à FAPEG (processo número 201410267001713) pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

AVIS, T. J. et al. Multifaceted beneficial effects of rhizosphere microorganisms on plant health and productivity. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 40, p. 1733-1740, 2008

BANAYO N. P. M. et al. Evaluation of Biofertilizers in Irrigated Rice: Effects on Grain Yield at Different Fertilizer Rates. **Agriculture**, v.2, n. 2, p. 73-86, 2012.

DEVKOTA, K. P. et al. Economic and environmental indicators of sustainable rice cultivation: A comparison across intensive irrigated rice cropping systems in six Asian countries. **Ecological Indicators**, v. 105, p. 199-214, 2019.

DONAGEMA, G. K. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Revista Atual, 1997.

EMBRAPA. **Dados de conjuntura da produção de arroz no Brasil (1986-2017)**. Disponível em: www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/docs/arroz/dadosConjunturais_arroz_brasil.htm>. Acesso em: 08 out. de 2019.

FAGERIA, N. K. **A cultura do arroz no Brasil**. 2. ed. Arroz e Feijão: Santo Antônio de Goiás. 2006. p. 387,

FILIPPI, M. C. C. de. et al. Indução de resistência e promoção de crescimento em arroz por agentes biológicos. v. 46, n. 12, p. 1609-1618, 2011a.

FILIPPI, M. C. C. de. et al. Leaf blast (*Magnaporthe oryzae*) suppression and growth promotion by rhizobacteria on aerobic rice in Brazil. **Biological Control**, v. 58, p. 160–166, 2011b.

FRANÇA, S. K. S. et al. Biocontrol of sheath blight by *Trichoderma asperellum* in tropical lowland rice. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 1, p. 317-324, 2015.

GALMÉS, J.; RIBAS-CARBÓ, M.; MEDRANO, H.; FLEXAS, J. Rubisco activity in Mediterranean species is regulated by the chloroplastic CO₂ concentration under water stress. **Journal of experimental Botany**, v. 62, n. 2, p. 653-665, 2011.

GODFRAY, H. C. J. et al. The Challenge of food Security. **Science**, v. 327, n. 12, p. 812-818, 2012.

HERMAN, M. A. B.; NAULTB, B. A.; SMART, C. D. Effects of plant growth-promoting rhizobacteria on bell pepper production and green peach aphid infestations in New York. **Crop Protection**, v. 27, n. 6, p. 996–1002, 2008.

KADO, C. J.; HESKETT, M. G. Selective media for isolation of *Agrobacterium*, *Corynebacterium*, *Erwinia*, *Pseudomonas* and *Xanthomonas*. **Phytopathology**, v.60, p.969-976, 1970.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. , 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 1997.

MOREIRA, F. M. de S. e SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. Ed. Atual. e ampl. – Lavras: Editora UFLA, 729 p. 2006.

NASCENTE, A. S. et al. Biomass, gas exchange, and nutrient contents in upland rice plants affected by application forms of microorganism growth promoters. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 3, p. 2956-2965, 2017a.

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, 2017b.

NASCENTE, A. S. et al. N Fertilizer Dose-Dependent Efficiency of *Serratia* spp. for Improving Growth and Yield of Upland Rice (*Oryza sativa* L.). **International Journal of Plant Production**, v. 13, n. 3, p. 2017-226, 2019.

REDDY, L.N.; GILLER, K.E. How effective are effective micro-organisms? **LEISA Magazine**, v. 24, n. 2, p. 18–19. 2008.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SILVA, J. C et al. Biocontrol of sheath blight on rice and growth promotion by *Trichoderma* isolates from the Amazon. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 55, n.4, p. 243-250, 2012.

SILVA, M. A. et al. Photosynthetic capacity and water use efficiency in sugarcane genotypes subject to water deficit during early growth phase. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 56, p. 735-748, 2013.

SILVA, V. N. da. et al. Promoção de crescimento e indução de resistência à antracnose por *Trichoderma* spp. em pepineiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 12, p.1609-1618, 2011.

SPERANDIO, E. M. et al. Evaluation of rhizobacteria in upland rice in Brazil: growth promotion and interaction of induced defense responses against leaf blast. **Acta Physiologiae Plantarum**,v.39, n. 259, p. 1-11, 2017.

TRIPATHI, A. D. et al. **The Role of Functional Food Security in Global Health**. Chapter 1 Estimates for World Population and Global Food Availability for Global Health.Elsevier. 2019.

YEDIDIA, I. et al. Effect of *Trichoderma harzianum* on microelement concentrations and increased growth of cucumber plants. **Plant Soil**, v. 235, n. 2, p. 235–242, 2001.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños: IRRI, p. 269, 1981.

**4 DESEMPENHO DE PLÂNTULAS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS
PROMOVIDO POR MICRORGANISMOS MULTIFUNCIONAIS¹ (Capítulo 3)**

João Pedro Tavares Fernandes², Adriano Stephan Nascente⁴, Marta Cristina Corsi de
Filippi⁴, Mariana Aguiar Silva²,

¹ Capítulo elaborado e submetido o artigo, conforme as normas do periódico Pesquisa Agropecuária Tropical

² Mestrando (a) na Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO. Brasil.

³ Doutorando na Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO. Brasil.

⁴ Pesquisador (a) na Embrapa Arroz e Feijão. Santo Antônio de Goiás, GO. Brasil.

RESUMO – Microrganismos multifuncionais podem contribuir para o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Esse maior desenvolvimento radicular pode proporcionar maior absorção de nutrientes e resistência a estresse hídrico acarretando em maior produtividade de grãos na cultura do arroz de terras altas. Entretanto, estudos sobre o uso de microrganismos multifuncionais no desenvolvimento radicular de plantas de arroz são escassos. Objetivou-se determinar o efeito da inoculação de sementes com rizobactérias no desenvolvimento radicular de plântulas do arroz de terras altas. O experimento foi conduzido em laboratório de microbiologia agrícola da Embrapa Arroz e Feijão, e utilizou-se delineamento experimental inteiramente casualizado, com oito repetições. Os tratamentos consistiram da inoculação de sementes de arroz com as rizobactérias 1. *Pseudomonas fluorescens* (BRM32111), 2. *Burkholderia pyrocinia* (BRM 32113), 3. *Serratia* sp. (BRM32114), 4. *Bacillus* sp. (1301), 5. *Azospirillum brasilense* (Ab-V5) e 6. *Azospirillum* sp. (1381), mais 7. tratamento controle (sem inoculação de microrganismos). O tratamento com a utilização do microrganismo *Azospirillum* sp. (1381) proporcionou melhor desempenho dos componentes: comprimento radicular, volume de raízes e massa seca total de raízes, correspondendo a 86,34, 111,53 e 29,41%, respectivamente, comparados ao tratamento controle. Portanto, o uso destes microrganismos multifuncionais foi eficiente em sua capacidade de proporcionar incrementos significativos no desenvolvimento radicular de plântulas de arroz.

PALAVRAS-CHAVE: *Oryza sativa*, rizobactérias, desenvolvimento radicular, sustentabilidade.

ABSTRACT – Multifunctional microorganisms can contribute to the growth and development of the root system of plants. This greater root development can provide greater nutrient absorption and resistance to water stress, leading to higher grain yield in upland rice crops. However, studies on the use of multifunctional microorganisms in the root development of rice plants are scarce. The objective was to determine the effect of seed inoculation with rhizobacteria on the root development of upland rice seedlings. The experiment was conducted in an agricultural microbiology laboratory at Embrapa Rice and Beans, and a completely randomized design was used, with eight replications. The treatments consisted of the inoculation of rice seeds with the rhizobacteria 1. *Pseudomonas fluorescens* (BRM32111), 2. *Burkholderia pyrrocinia* (BRM 32113), 3. *Serratia* sp. (BRM32114), 4. *Bacillus* sp. (1301), 5. *Azospirillum brasilense* (Ab-V5) and 6. *Azospirillum* sp. (1381), plus 7. control treatment (without inoculation of microorganisms). Treatment using the microorganism *Azospirillum* sp. (1381) provided better performance of the components: root length, root volume and total dry mass of roots, corresponding to 86.34, 111.53 and 29.41%, respectively, compared to the control treatment. Therefore, the use of these multifunctional microorganisms was efficient in their ability to provide significant increases in the root development of rice seedlings.

KEYWORDS: *Oryza sativa*, rhizobacterias, root development, sustainability.

INTRODUÇÃO

Considerando a perspectiva de aumento populacional e consequentemente da maior demanda por alimentos, torna-se imprescindível o incremento da produção e produtividade das culturas agrícolas de forma sustentável, como o arroz de terras altas (Devkota et al. 2019; Tripathi et al. 2019). Entretanto, aumentar a produtividade do arroz de terras altas é um desafio para a pesquisa considerando os estresses bióticos e abióticos, como a ocorrência de doenças, períodos prolongados de veranicos, deficiência nutricional, além de problemas com o arranque inicial e o crescimento da planta, principalmente em áreas de plantio direto (Filippi et al. 2017). Nesse contexto, o uso de microrganismos multifuncionais, no sistema de cultivo do arroz de terras altas, representam opção de manejo cujo propósito seria a promoção do crescimento de plantas, por meio do maior desenvolvimento do sistema radicular, aumento da absorção de nutrientes, aumento da eficiência de trocas gasosas e, consequentemente, aumento da produção de fitomassa e produtividade de grãos (Godfray et al. 2012, Nascente et al. 2017a, Devkota et al. 2019).

Dentre os microrganismos que contribuem para melhorar o desempenho de plantas destacam-se, as rizobactérias promotoras de crescimento vegetal (RPCV) (Piao et al. 1992, Gray & Smith 2005, Kokalis-Burelle et al. 2006, Sousa et al. 2019) . As RPCV são bactérias de solo que colonizam as raízes e, como o nome diz, possuem capacidade de promover o crescimento de plantas (Kloepper & Schroth 1978). Essas RPCV desempenham atividades benéficas como a síntese de hormônios (auxina, giberelinas e citocininas), contribui para a solubilização de minerais, além de sintetizar enzimas relacionadas à resistência de plantas a pragas e a doenças (Mafia et al. 2005, Bhattacharyya & Jha 2012).

Adicionalmente, verifica-se, que há a necessidade da utilização de tecnologias de manejo da cultura que possam atenuar os problemas advindos do stress hídrico, visto que, a

região onde se cultiva o arroz de terras altas tem alta probabilidade de ocorrência de veranicos durante o desenvolvimento da cultura, que comprometem a produtividade de grãos. Nesse contexto, as RPCV podem ser alternativas no manejo da cultura, uma vez que podem proporcionar maior desenvolvimento das raízes, que com isso iria explorar maior volume de solo, e pode favorecer a maior absorção de água e nutrientes (Persello-Cartieaux 2003, Dimkpa et al. 2009; Maheshwari 2011, Chauhan et al. 2013).

Entretanto, existem poucos trabalhos relacionados ao uso de microrganismos multifuncionais no desenvolvimento radicular de plantas de arroz. Dessa forma, o presente trabalho teve como hipótese que a microbiolização de sementes de arroz de terras altas com microrganismos multifuncionais irá proporcionar maior desenvolvimento radicular em comparação com sementes não tratadas. Portanto, com esse estudo objetivou-se determinar o efeito da inoculação de sementes com rizobactérias no desenvolvimento radicular de plântulas do arroz de terras altas.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização do Local

O experimento foi conduzido no laboratório de microbiologia agrícola, em novembro de 2019, na Fazenda Capivara, sede da Embrapa Arroz e Feijão, localizada no município de Santo Antônio de Goiás, Goiás, Brasil.

Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental foi do tipo inteiramente casualizado com sete tratamentos e oito repetições. Os tratamentos foram constituídos pela inoculação de sementes de arroz com os microrganismos multifuncionais: *Pseudomonas fluorescens* (BRM 32111), *Burkholderia pyrrocinia* (BRM 32113), *Serratia* sp. (BRM 32114),

Azospirillum sp. (1381), *Azospirillum brasilense* (Ab-V5) e *Bacillus* sp. (1301), e o tratamento controle (sem microrganismos).

Microrganismos e aplicação

Todos os microrganismos foram aplicados na semente no momento da microbiolização (processo que coloca a semente em contato com solução da rizobactéria a ser testada). As rizobactérias promotoras de crescimento vegetal (RPCV) utilizadas no experimento estão depositadas na coleção de microrganismos de importância agrícola da Embrapa Arroz e Feijão (CNPAP). As características bioquímicas e classificação taxonômica dos microrganismos multifuncionais utilizados nesta pesquisa estão disponíveis em Nascente et al. (2017).

Preparo das suspensões, desinfecção e microbiolização de sementes

A partir de isolados de culturas de microrganismos multifuncionais com crescimento em meio sólido (ágar nutriente), suspensões foram preparadas em meio líquido 523 (caldo nutriente) (Kado; Heskett 1970), em incubadora agitadora, por 24 horas a 28 °C. A concentração da suspensão de células de isolados bacterianos foi ajustada em espectrofotômetro para $A_{540} = 0,5$, o que corresponde a 1×10^8 unidades formadoras de colônia (UFC) por mL. Além disso, antes da microbiolização foi feito a desinfestação das sementes com imersão das mesmas em álcool 70% por um minuto e também em hipoclorito de sódio 0,05% pelo mesmo período de tempo, seguido por secagem à temperatura ambiente a 29°C. A microbiolização ocorreu com a imersão das sementes em suspensão de células de rizobactéria e o tratamento controle, com imersão das sementes em água destilada, durante 24 horas a temperatura de 25 °C, sob agitação constante, de acordo com metodologia proposta por Filippi et al. (2011).

Teste de vigor das sementes de arroz de terras altas BRS A501 CL

Antes da semeadura em meio sólido (ágar-água) foi analisado vigor e germinação das sementes seguindo a metodologia de Brasil (2009). Foi verificado valores de 98 e 100%, respectivamente.

Unidade experimental

Cada parcela ou unidade experimental foi composta por uma semente de arroz cultivar BRS A501 CL, colocada para germinar em tubo de ensaio de 50 mL de volume contendo 15 mL de meio de ágar-água (0,8 m/v). Os tubos foram colocados em câmara de germinação a 28 °C, com fotoperíodo de 12 horas e retirados aos dez dias após semeadura seguindo metodologia proposta por Sperandio et al. (2017).

Processamento de imagens e avaliações

As plântulas foram retiradas dos tubos de ensaio e fotografadas com máquina digital. As imagens obtidas foram analisadas por meio do software WinRHIZO 2012b. Foram determinados os parâmetros: Comprimento Radicular Total (CompR, cm), Diâmetro Radicular (DiamR, mm), Volume de Raízes (VolR, cm³).

Biomassa seca do sistema radicular

A biomassa seca das plântulas de arroz foi determinada após desidratação em câmara de ar forçado a 65 °C até massa constante e conferência de valores em balança de precisão.

Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e, quando detectada significância, as médias foram comparadas pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). Utilizou-se o pacote estatístico SASM-agri para processamento de dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos com microrganismos multifuncionais proporcionaram valores superiores nos diferentes parâmetros avaliados em comparação ao tratamento controle (Tabela 1). Observou-se maior incremento no comprimento radicular das plântulas de arroz no tratamento *Azospirillum* sp. (1381), que foi 86,34% superior ao tratamento controle. Resultado semelhante foi encontrado em experimento conduzido por Sousa et al (2019), em que sementes microbiolizadas com rizobactérias proporcionaram maior comprimento radicular em plântulas de arroz irrigado, em comparação com plântulas do tratamento controle. Nesse contexto, nota-se que as RPCV podem incrementar a produção de fitohormônios proporcionando maior desenvolvimento radicular e implicando em vários efeitos benéficos nas plantas como maior absorção da água e minerais, podendo acarretar em plantas com maior vigor e consequentemente mais produtivas (Hungria 2011, Nascente et al. 2017).

Tabela 1. Comprimento radicular total (CompR), diâmetro radicular (DiamR), volume de raízes (VolR, cm³) e massa seca de raízes (MassaS) de plântulas de arroz de terras altas cultivar BRS A501 CI em função do tratamento com rizobactérias promotoras de crescimento vegetal. Avaliação realizada aos 10 dias após semeadura.

Tratamentos	CompR	DiamR	VolR	MassaS
	(cm)	(mm)	(cm ³)	(gramas)
<i>Burkholderia pyrrocinia</i> (BRM 32113)	25,09 b	0,40 a	0,033 b	0,0208 ab
<i>Pseudomonas fluorescens</i> (BRM3211)	23,73 b	0,43 a	0,036 b	0,0214 ab

<i>Serratia</i> sp. (BRM32114)	23,27 b	0,43 a	0,035 b	0,0201 ab
<i>Bacillus</i> sp. (1301)	25,02 b	0,45 a	0,038 b	0,0188 ab
<i>Azospirillum brasilense</i> (Ab-V5)	25,04 b	0,45 a	0,043 ab	0,0198 ab
<i>Azospirillum</i> sp. (1381)	40,68 a	0,41 a	0,055 a	0,0222 a
Controle	21,83 b	0,39 a	0,028 b	0,0174 b

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Os maiores valores em diâmetro radicular das plântulas de arroz foram obtidos com os tratamentos *Bacillus* sp. (1301) e *Azospirillum brasilense* (Ab-V5), sendo 13,33 % superior ao tratamento controle, porém não diferenciando deste (Tabela 1). Além disso, nota-se que em relação ao volume de raízes o maior valor foi encontrado com a utilização do tratamento *Azospirillum* sp. (1381), 111,53% superior ao tratamento controle. Assim como foi verificado maior valor no comprimento radicular, o volume de raízes também mostrou relação entre estes dois parâmetros. O maior incremento em gramas de massa seca de raízes foi verificado com a utilização do tratamento *Azospirillum* sp. sendo 29,41 superior ao tratamento controle, diferindo do mesmo. O maior incremento observado nos parâmetros avaliados pode ser explicado pela maior produção de fitohormônios influenciado pelos microrganismos, uma vez os tratamentos contendo rizobactérias proporcionaram maior desenvolvimento radicular comparado ao tratamento controle (sem utilização de microrganismos) (Louzada et al. 2009, Kapri & Tewari 2010, Chagas et al. 2015). Esses fitohormônios agem nas regiões meristemáticas das plantas, promovendo assim, o crescimento e alongamento celular, e por consequência maior absorção da água e minerais, resultando em plantas mais vigorosas e produtivas (Hungria 2011, Nascente et al. 2017). Esse maior desenvolvimento radicular também pode ser observado nas imagens do sistema radicular das plântulas de arroz nos tratamentos com o uso das RPCV em comparação com o tratamento controle (Figura 1).

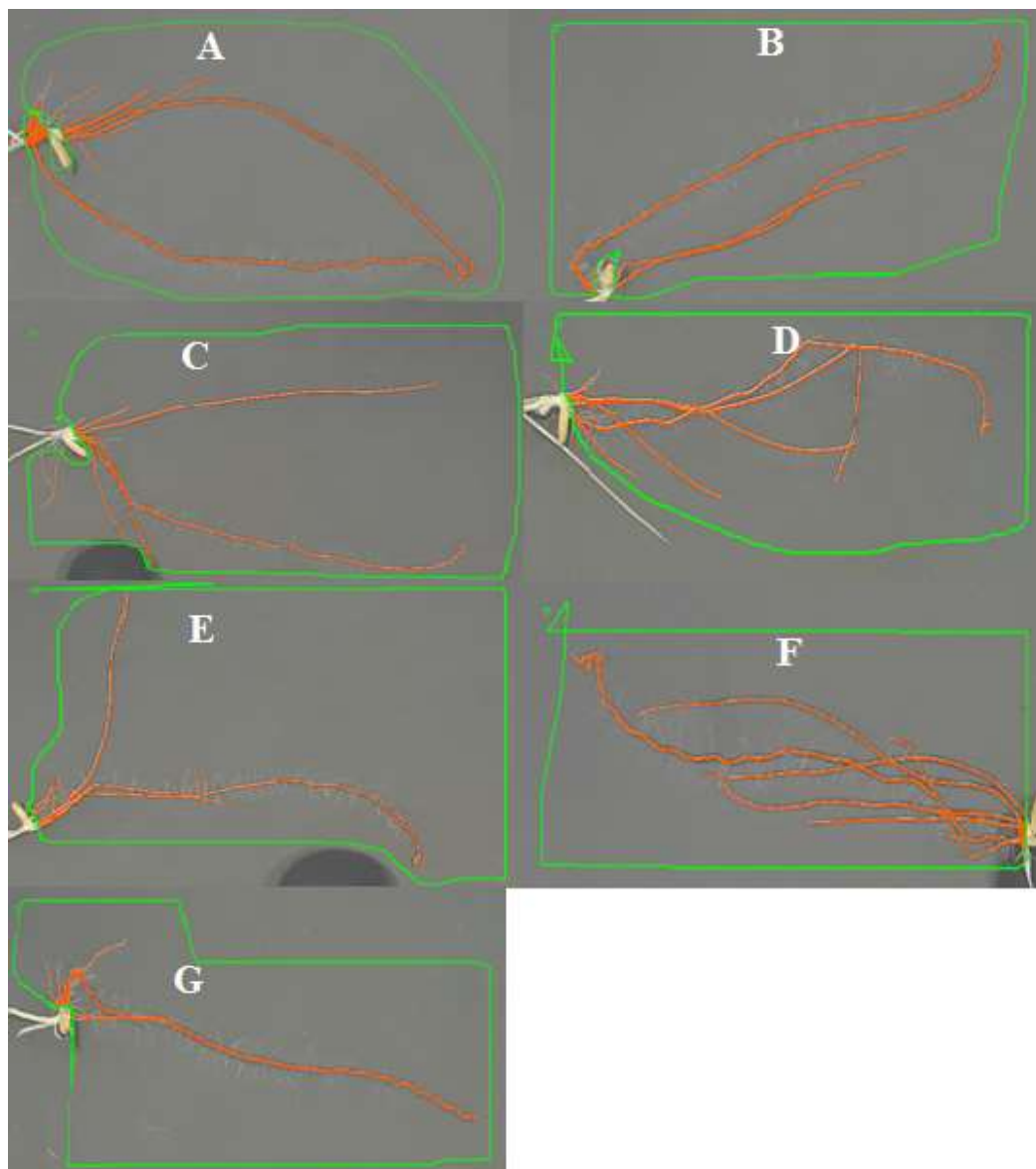


Figura 1. Sistema radicular de plântulas de arroz de terras altas submetidas à microbiolização com RPCV, sendo, A. *Burkholderia pyrrocinia* (BRM 32113), B. *Pseudomonas fluorescens* (BRM32111), C. *Serratia* sp. (BRM32114), D. *Bacillus* sp. (1301), E. *Azospirillum brasilense* (Ab-V5), F. *Azospirillum* sp. (1381) e G. Controle (Sem microbiolização). As plântulas de arroz foram fotografadas aos dez dias após a semeadura com máquina digital, as imagens foram analisadas com a utilização do software WhinRHIZO 2012b.

Vale ressaltar que o tratamento de sementes de arroz de terras altas com *Azospirillum* sp. (1381) proporcionou os maiores valores no sistema radicular das plântulas da cultura em todos os parâmetros avaliados, não diferindo apenas no parâmetro diâmetro radicular (DiamR) (Tabela 1 e Figura 1). Esses resultados mostram a grande eficiência dessa bactéria em proporcionar incrementos significativos no desenvolvimento radicular

das plântulas de arroz. As bactérias do gênero *Azospirillum*, são consideradas bactérias promotoras de crescimento e sintetizam hormônios como a auxina, que estimula o crescimento de parte aérea e raízes de várias culturas, incluindo arroz (Radwan et al., 2004).

CONCLUSÕES

Plântulas de arroz de terras altas tratadas com microrganismos multifuncionais apresentaram incrementos em todos os parâmetros avaliados em comparação ao tratamento controle, mas nem todos diferiram do tratamento controle. O microrganismo *Azospirillum* sp. (1381) diferiu do tratamento controle nos parâmetros de comprimento radicular total, volume de raízes e massa seca de raízes em plântulas de arroz de terras altas.

REFERÊNCIAS

- BHATTACHARYYA, P.N.; JHA, D.K. Plant growthpromoting rhizobacteria (PGRP): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, v. 28, n. 4, p. 1327-1350, 2012.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análises de sementes. Brasília: MAPA/ACS, 2009. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise_sementes.pdf
- CHAGAS, L. F. B.; CHAGAS JUNIOR, A. F.; 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*, v.15, n. 3, p.794-804, 2015.
- DEVKOTA, K. P.; PASUQUIN, E.; ELMIDO-MABILANGAN, A.; DIKITANAN, R.; SINGLETON, G. R.; STUART, A. M.; VITHOONJITB, D.; VIDİYANGKURAC, L.; PUSTIKAD, A. B.; AFRIANID, L. R.; LIA, C.; KEERTHISENAE, R.S.K.; KIEUF, N. T.; MALABAYABASA, A. J.; HUG, R.; PANH J.; BEEBOUT, S. E. J. Economic and environmental indicators of sustainable rice cultivation: A comparison across intensive irrigated rice cropping systems in six Asian countries. *Ecological Indicators*, v. 105, p. 199-214, 2019.
- DIMKPA, C.; WEINAND, T.; ASCH, F. Plant-rhizobacteria interactions alleviate abiotic stress conditions. *Plant, Cell & Environment*, v. 32, n. 12, p. 1682-1694, 2009.
- FILIPPI, M. C. C. de; 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*, v.58, n.2, p.160-166, 2011.
- FILIPPI, M. C. C de. Evaluation of rhizobacteria in uplant rice in Brazil: growth promotion and interaction of induced defense responses against leaf blast (*Magnaporthe oryzae*). *Acta Physiologiae Plantarum*, v.39, n.1, p.258-270, 2017.
- GODFRAY H. C. J.; BEDDINGTON J. R.; CRUTE I. R.; HADDAD L.; LAWRENCE D.; MUIR J. F.; PRETTY J.; ROBINSON S.; THOMAS S. M.; TOULMIN C. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, v. 327, n. 12, p. 812-818, 2012.
- GRAY, E.J.; SMITH, D.L. Intracellular and extracellular PGPR: commonalities and distinctions in the plant-bacterium signaling processes. *Soil Biology and Biochemistry*, Amsterdam, v. 37, p. 395-412, 2005. IRRI. Global Rice Science Partnership (GRISP). 2010. 267 p.
- KADO, C. J.; HESKETT, M. G. Selective media for isolation of *Agrobacterium*, *Corynebacterium*, *Erwinia*, *Pseudomonas* and *Xanthomonas*. *Phytopathology*, v.60, n. , p.969-976, 1970.

KAPRI, A.; TEWARI, L. Phosphate solubilization potential and phosphatase activity of rhizospheric *Trichoderma* spp. *Brazilian Journal of Microbiology*, v.41, n. , p.787-795, 2010.

HUNGRIA, M. Inoculação com *Azospirillum* brasiliense: inovação em rendimento a baixo custo. 1. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2011.

KLOEPPER, J.W.; SCHROTH, M.N. 1978. Plant growth promoting rhizobacteria on radishes. Proc. 4th Int. Conf. Plant path. Bact., Angers, p. 879–882.

KOKALIS-BURELLE, N.; KLOEPPER, J.W.; REDDY, M.S. Plant growth promoting rhizobacteria as transplant amendments and their effects on indigenous microorganisms. *Applied Soil Ecology*, v. 31, n. , p. 91-100, 2006.

LOUZADA, G.A.S.; CARVALHO, D. D. C.; MELLO, S. C. M.; LOBO JÚNIOR, M.; MARTINS, I.; BRAÚNA, L. M. Potencial antagônico de *Trichoderma* spp. originários de diferentes agroecossistemas contra *Sclerotinia sclerotiorum* e *Fusarium solani*. *Biota Neotropica*, v.9, n. , p.145-149, 2009.

MATSUMURA A. T. S.; PAZ I. C. P.; GUIMARÃES A. M.; SILVA M. E.; OTT A. P.; DUARTE V. Efeito de três formulações de *Bacillus amyloliquefaciens* ICBB200 sobre o crescimento de plantas de alface (*Lactuca sativa* L.) em cinco condições edafoclimáticas. *Scientia Agraria Paranaense*, v. 15, n. 2, abr./jun., p. 146-152, 2016.

NASCENTE, A. S. et al. Biomass, gas exchange, and nutrient contents in upland rice plants affected by application forms of microorganism growth promoters. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 24, n. 3, p. 2956-2965, 2017

MAHESHWARI, D.K. Bacteria in agrobiolology: crop ecosystems. *Heidelberg: Springer*, p. 434, 2011. DOI 10.1007/978-3-642-21061-7.

MAFIA, R.G.; ALFENAS, A.C.; FERREIRA, E.M.; ZARPELON, T.G.; SIQUEIRA, L. Crescimento de mudas e produtividade de minijardins clonais de eucalipto tratados com rizobactérias selecionadas. *Revista Árvore*, v. 29, n. 6 , p. 843-851, 2005.

OKON, Y.; VANDERLEYDEN, J. Root-associated *Azospirillum* species can stimulate plants, *Applied and Environmental Microbiology*, New York, v.63, n.7, p.366-370, 1997.

PERSELLO-CARTIEAUX, F.; NUSSAUME, L.; ROBAGLIA, C. Tales from the underground: molecular plant-rhizobacteria interactions. *Plant, Cell and Environmnet*, v. 26, p. 189-199, 2003.

RADWAN, T. E. E.; MOHAMED, Z. K.; REIS, V. M. Efeito da inoculação de *Azospirillum* e *Herbaspirillum* na produção de compostos indólicos em plântulas de milho e arroz. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n. 10, p.987-994, 2004.

SASM - AGRI: Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scoft-Knott, Tukey e Duncan. *Revista Brasileira de Agrocomputação*, v.1, n. 2, p.18-24. 2001.

SOUSA, I. M.; NASCENTE, A. S.; FILIPPI, M. C. C. *Colloquium Agrariae*, v. 15, n.2, p. 140-145, 2019.

SPERANDIO, E. M.; VALE, H. M. M.; REIS, M. S.; CORTES, M. V. C. B.; LANNA, A. C.; FILIPPI, M. C. C. de. Evaluation of rhizobacteria in uplant rice in Brazil: growth promotion and interaction of induced defense responses against leaf blast (*Magnaporthe oryzae*). *Acta Physiologiae Plantarum*, v.39, n.1, p.258-270, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11738-017-2547-x>

TRIPATHI A. D.; MISHRA R.; MAURYA K. K.; SINGH R. B.; WILSON D. W. The Role of Functional Food Security in Global Health. Chapter 1. Estimates for World Population and Global Food Availability for Global Health. *Elsevier*. 2019.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desse trabalho foi determinar o efeito do uso de microrganismos multifuncionais isolados ou em mix no desempenho da cultura do arroz de terras altas. Para isso foram conduzidos três experimentos, onde, avaliaram-se os parâmetros de produção de biomassa, trocas gasosas, teor de nutrientes acumulado na planta, componentes de produção e produtividade de grãos, comprimento total, diâmetro, volume e massa seca de raízes de plantas de arroz. No primeiro experimento, constatou-se que a aplicação de mix de microrganismos com mais de duas espécies, não proporcionou incrementos significativo das plantas de arroz. Assim, optou-se por realizar outro experimento com a aplicação de microrganismos em pares. O resultado foi superior ao da aplicação desses microrganismos isolados ou em mix com grande número de microrganismos. Com base nisso, pode-se inferir que o mix com os microrganismos testados nos experimentos em número superior a dois pode ocorrer competição entre eles e não proporcionar os benefícios desejados. Com base nos dois primeiros experimentos, surgiu a ideia de determinar o efeito dos microrganismos isolados no desenvolvimento do sistema radicular de plântulas de arroz, característica importante, uma vez que sistema radicular mais desenvolvido pode proporcionar maior resistência a seca, bem como maior absorção de nutrientes com reflexo positivo na produtividade de grãos do arroz. Assim, os resultados obtidos nessa pesquisa permitem inferir que a utilização de microrganismos multifuncionais no arroz de terras altas é uma estratégia positiva para o melhor desempenho da cultura. Com destaque para a utilização de microrganismos multifuncionais em mix dois a dois, que foi eficiente em potencializar o desempenho de plantas de arroz de terras altas, sendo, portanto uma tecnologia promissora. Porém, a interação entre microrganismos e plantas também é influenciada pelos fatores ambientais e pela especificidade entre microrganismos e plantas. Portanto, é necessário o desenvolvimento de novos estudos, avaliando, os efeitos desses microrganismos multifuncionais em diferentes condições ambientais de cultivo em campo assim como, em diferentes genótipos de plantas de arroz. O estudo de mecanismos de ação desses microrganismos dentro das plantas é outra vertente que deve ser explorada para melhor entender os efeitos de seu uso nas culturas agrícolas.