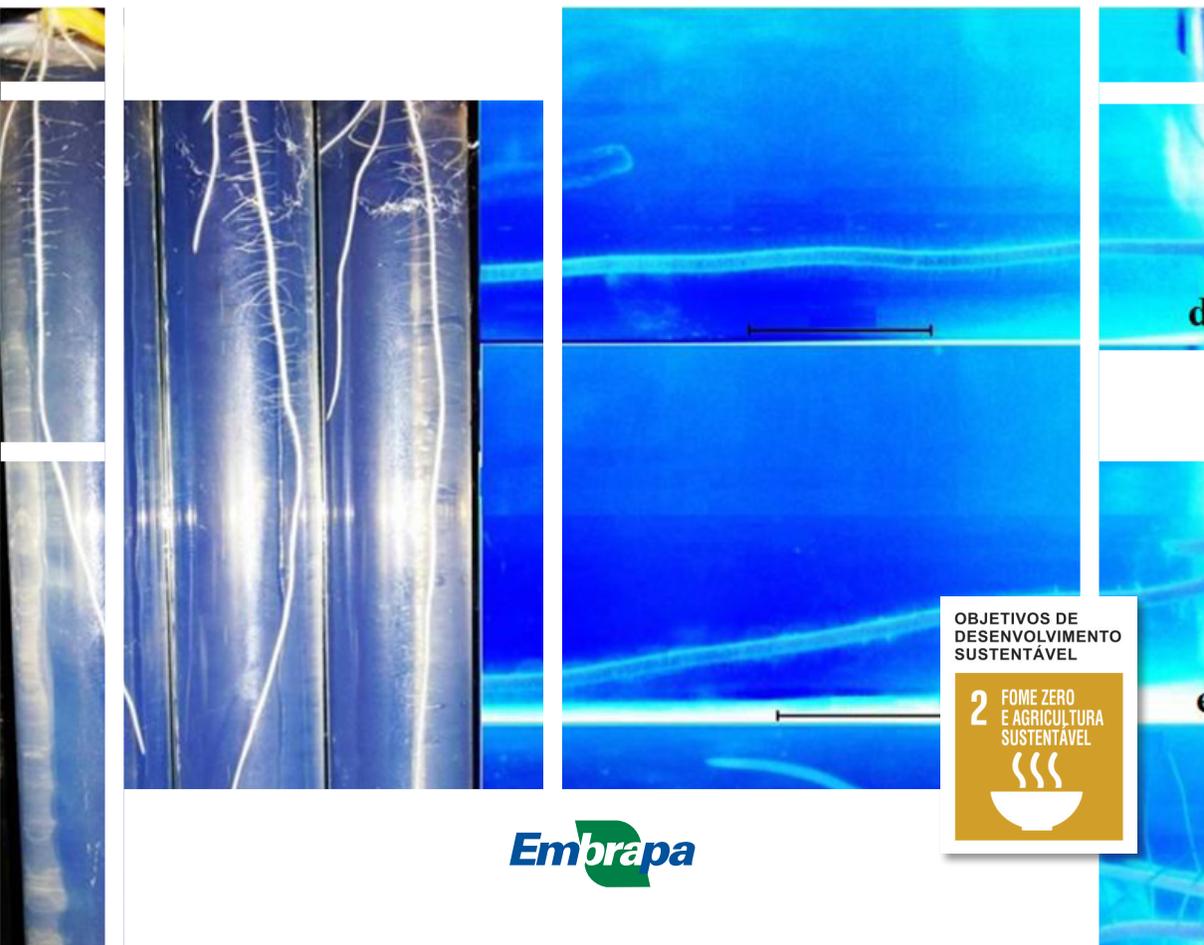


Microrganismo Multifuncional *Serratia* sp. e Doses de Macronutrientes Afetando o Desenvolvimento da Cultura do Arroz de Terras Altas



OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

2 FOME ZERO
E AGRICULTURA
SUSTENTÁVEL



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Arroz e Feijão
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
55**

**Microrganismo Multifuncional *Serratia* sp.
e Doses de Macronutrientes Afetando o
Desenvolvimento da Cultura do Arroz de Terras
Altas**

*Adriano Stephan Nascente
Marta Cristina Corsi de Filippi
Anna Cristina Lanna
Gisele Barata da Silva*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Arroz e Feijão
Rod. GO 462, Km 12, Zona Rural
Caixa Postal 179
75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO
Fone: (62) 3533-2105
Fax: (62) 3533-2100
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Comitê Local de Publicações

Presidente
Roselene de Queiroz Chaves

Secretária-Executiva
Tereza Cristina de Oliveira Borba

Membros
Alúcio Goulart Silva, Ana Lúcia Delalibera de Faria, Fábio Fernandes Nolêto, Luiz Roberto Rocha da Silva, Luciene Frões Camarano de Oliveira, Luis Fernando Stone, Márcia Gonzaga de Castro Oliveira, José Manoel Colombari Filho

Supervisão editorial
Luiz Roberto Rocha da Silva

Revisão de texto
Luiz Roberto Rocha da Silva

Normalização bibliográfica
Ana Lúcia Delalibera de Faria

Projeto gráfico da coleção
Fabiano Severino

Editoração eletrônica
Fabiano Severino

Foto da capa
Eugenio Miranda Sperandio

1ª edição
On-line (2020)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Arroz e Feijão

Microrganismo multifuncional *Serratia* sp. e doses de macronutrientes afetando o desenvolvimento da cultura do arroz de terras altas / Adriano Stephan Nascente ...[et al.]. - Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2020. 20 p. - (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9601 ; 55)

1. Arroz - Rizobactéria. 2. Arroz - *Trichoderma*. 3. Arroz - Desenvolvimento sustentável. I. Nascente, Adriano Stephan. II. Filippi, Marta Cristina Corsi de. III. Lanna, Anna Cristina. IV. Silva, Gisele Barata da. V. Embrapa Arroz e Feijão. VI. Série.

CDD 633.18891

Ana Lúcia D. de Faria (CRB 1/324)

© Embrapa, 2020

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução.....	7
Material e Métodos	8
Experimento em casa de vegetação	8
Experimento em campo.....	10
Resultados e Discussão	14
Experimento em casa de vegetação	14
Experimento em campo.....	14
Conclusão.....	18
Referências	19

Microrganismo Multifuncional *Serratia* sp. e Doses de Macronutrientes Afetando o Desenvolvimento da Cultura do Arroz de Terras Altas

Adriano Stephan Nascente¹

Marta Cristina Corsi de Filippi²

Anna Cristina Lanna³

Gisele Barata da Silva⁴

Resumo - A produção sustentável do arroz é premissa fundamental para atender à crescente demanda mundial pelo grão e à crise iminente de escassez da água. O uso de tecnologias como os microrganismos multifuncionais, antagonistas de pragas agrícolas e promotores de crescimento vegetal, pode proporcionar incrementos significativos na saúde das plantas e na produtividade de grãos. Estudos realizados pela Embrapa Arroz e Feijão e a Universidade Federal Rural da Amazônia permitiram a seleção e a identificação de rizobactérias benéficas e quatro isolados do fungo *Trichoderma asperellum*, com potencial para utilização como promotores de crescimento de plantas. Em experimentos conduzidos em casa de vegetação foi possível determinar o efeito de microrganismos multifuncionais sobre a produção de biomassa da parte aérea de plantas de arroz de terras altas, resultando na seleção da rizobactéria BRM32114 (*Serratia* sp.) para ser testada em campo. Estudos foram conduzidos, em campo, com a finalidade de identificar os efeitos da aplicação da BRM32114 associada a doses de nitrogênio, fósforo e potássio (N, P e K) no desenvolvimento das plantas de arroz de terras altas, as quais quando tratadas com BRM32114 apresentaram aumento da biomassa seca da parte aérea, maior teor de nutrientes, maior eficiência do aparato fotossintético e maior rendimento de grãos, além do benefício econô-

¹ Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

² Engenheira-agrônoma, Ph.D. em Fitopatologia e Microbiologia, pesquisadora da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

³ Química, doutora em Fisiologia Vegetal, pesquisadora da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

⁴ Engenheira-agrônoma, doutora em Fitopatologia, professora da Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA.

mico devido à redução no uso dos insumos e, conseqüentemente, nos custos de produção, e ambiental em razão da redução da poluição.

Termos para indexação: *Oryza sativa*, rizobactérias, bioagentes, *Trichoderma*, desenvolvimento sustentável.

Macronutrients Rates and Multifunctional Microorganisms in Upland Rice Crop

Abstract - Sustainable rice production is a fundamental premise for meeting the growing world grain demand and the real water use crisis. The use of technologies such as multifunctional microorganisms, that are agricultural pest antagonists and plant growth promoters, can provide significant increases in plant health and grain yield. Studies conducted by Embrapa Arroz e Feijão (Embrapa Rice and Beans) and the Federal Rural University of Amazonia allowed the selection and identification of beneficial rhizobacteria and four isolates of the fungus *Trichoderma asperellum* with potential to be used as plant growth promoters. In trials performed in a greenhouse it was possible to determine the effect of multifunctional microorganisms on shoot biomass production of upland rice plants, resulting in the selection of the rhizobacteria BRM32114 (*Serratia* sp.) to be field-tested. Finally, studies were performed, in the field, with the aim of identify the effects of the application of BRM32114 associated with nitrogen, phosphorus and potassium (N, P and K) rates on the development of upland rice plants, which when treated with BRM32114 showed increased shoot dry biomass, higher nutrient content, higher efficiency of photosynthetic apparatus and higher grain yield, with the economic benefit due to the reduction in the use of inputs and, consequently, in the cost of production, as well in the environmental due to reduced pollution.

Index terms: *Oryza sativa*, rhizobacteria, bioagents, *Trichoderma*, sustainable development.

Introdução

O arroz é alimento básico em diversos países do mundo (Kumar; Ladha, 2011). A orizicultura no Brasil é conduzida sob quatro sistemas básicos de cultivo, em dois ecossistemas, o de várzeas e o de terras altas. Nas várzeas, o cultivo pode ser conduzido em área sistematizada, com controle da lâmina de água, e em várzea úmida não sistematizada, irrigada pela água da chuva ou pela elevação do lençol freático. Em terras altas pode ser cultivado com irrigação suplementar ou somente dependente da água da chuva (Silva et al., 2010).

O interesse das comunidades científicas pelo cultivo do arroz de terras altas dependente somente da água da chuva vem crescendo, pois atende a um apelo mundial pelo uso mais eficiente da água, dada a redução gradativa na disponibilidade desse recurso (Kumar; Ladha, 2011; Nascente et al., 2013). Além disso, a fragilidade observada na produção de arroz no ecossistema de várzeas, em que o uso intensivo de insumos pode causar contaminação dos recursos hídricos, bem como emissão de gases de efeito estufa, vem sendo alvo de constantes questionamentos (GRiSP, 2013).

Adicionalmente, verifica-se que para atender à crescente demanda mundial pelo arroz, nos próximos 30 anos será necessário aumentar a produção atual (772 milhões de toneladas) em mais de 50% (GRiSP, 2013). Portanto, é necessário o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis para proporcionar incrementos significativos na produtividade de grãos da cultura, para atender a essa demanda (Nascente et al., 2017).

Os microrganismos multifuncionais com atividades benéficas, como as rizobactérias e fungos do gênero *Trichoderma*, podem interagir com as plantas por meio de mecanismos diretos e indiretos, representando alternativa estratégica para a intensificação sustentável de sistemas agrícolas (Glick et al., 1995; Bulgarelli et al., 2013; Steffen et al., 2018).

A capacidade do fungo *Trichoderma* de colonizar raízes é fator-chave para sua interferência no crescimento e na produtividade das plantas (Samuels, 2006). Portanto, é provável que plantas tratadas com microrganismos benéficos tenham maior aproveitamento da água e dos nutrientes do solo e necessitem de menor quantidade de fertilizantes do que as não tratadas. Baseados nessa hipótese, estudos realizados pela Embrapa Arroz e Feijão em

parceria com a Universidade Federal Rural da Amazônia permitiram a seleção e a identificação de rizobactérias benéficas, coletadas em campos de arroz de terras altas (Filippi et al., 2011), e quatro isolados do fungo *T. asperellum* (UFRA.T06, UFRA.T09, UFRA.T12, UFRA.T52), coletados em solo da rizosfera de reflorestamento e floresta nativa da Amazônia (Silva et al., 2012; França et al., 2015) com características promissoras de interação benéfica com as plantas de arroz de terras altas. A partir de então foram avaliados e selecionados alguns isolados de microrganismos que se destacaram ao proporcionar melhor desenvolvimento das plantas, no experimento em casa de vegetação, com o mais relevante testado em condição de campo, em combinação com doses de N, P e K. Assim, este documento objetiva apresentar os resultados alcançados nos experimentos em casa de vegetação e em campo relacionados ao desempenho fisiológico e agrônômico das plantas de arroz de terras altas tratadas com microrganismos benéficos.

Material e Métodos

Experimento em casa de vegetação

Utilizaram-se vasos com capacidade de 7 kg, totalmente preenchidos com solo proveniente da camada arável (0 m-0,20 m) de um Latossolo Vermelho Ácrico, apresentando 377 g kg⁻¹, 260 g kg⁻¹ e 363 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente. Os resultados da análise química do solo foram: pH (H₂O) = 5,8; Ca²⁺ = 11,61 mmol_c kg⁻¹; Mg²⁺ = 1,38 mmol_c kg⁻¹; Al³⁺ = 1,0 mmol_c kg⁻¹; H⁺ + Al³⁺ = 25,0 mmol_c kg⁻¹; P = 0,2 mg kg⁻¹; K⁺ = 45 mg kg⁻¹; Cu²⁺ = 2,1 mg kg⁻¹; Zn²⁺ = 0,2 mg kg⁻¹; Fe³⁺ = 14,3 mg kg⁻¹; Mn²⁺ = 6,0 mg kg⁻¹ e matéria orgânica do solo = 17,93 g kg⁻¹. Três semanas antes da semeadura do arroz o solo foi adubado 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).

Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com oito tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram de seis rizobactérias (Tabela 1) e de uma mistura de quatro isolados de *T. asperellum*, além do

tratamento controle (sem uso de microrganismo). A forma de aplicação dos tratamentos compreendeu a microbiolização de sementes, a rega da suspensão de microrganismos no solo aos sete dias após semeadura (DAS) e a pulverização da suspensão de microrganismos na planta aos 15 DAS.

Tabela 1. Código de acesso do alelo, origem geográfica, características bioquímicas e classificação taxonômica dos seis isolados de rizobactérias utilizados para o tratamento de sementes e plantas.

Código de acesso do alelo	Origem geográfica	Coloração da colônia	Caracterização bioquímica					Classificação taxonômica (Martins, 2015)
			AIA ¹	Celulase ²	Phosf ³	Sider ⁴	Biofilm ⁵	
BRM32109	GO-Brasil	Branca	-	+	+	-	+	<i>Bacillus</i> sp.
BRM32110	PA-Brasil	Branca	-	+	+	+	+	<i>Bacillus</i> sp.
BRM32111	PA-Brasil	Amarela	-	+	+	+	+	<i>Pseudomonas</i> sp.
BRM32112	GO-Brasil	Amarela	-	+	+	+	+	<i>Pseudomonas</i> sp.
BRM32113	PA-Brasil	Rosa	+	+		+	+	<i>Burkholderia</i> sp.
BRM32114	PA-Brasil	Rosa	+	+	+	+	+	<i>Serratia</i> sp.

¹Produtor de ácido indol acético. ²Produtor de celulase. ³Produtor de fosfatase. ⁴Produtor de sideróforos.

⁵Produtor de biofilme.

Microbiolização das sementes

- **Rizobactérias:** Suspensões aquosas de isolados individuais foram preparadas a partir de culturas crescidas por 24 horas, a 28 °C, em meio sólido 523 (Kado; Heskett, 1970). A concentração da suspensão de cada bactéria foi ajustada em espectrofotômetro para $A_{540}=0,5$. As sementes de arroz foram imersas nas suspensões durante 24 horas, sob agitação constante, à temperatura de 25 °C (Filippi et al., 2011). O tratamento controle foi constituído por sementes submersas em água por 24 horas, sob agitação constante, a 25 °C.
- **Pool de *T. asperellum*:** A microbiolização foi empregada com conídios viáveis, multiplicados no laboratório de microbiologia da Embrapa Arroz e Feijão. Cada isolado de *T. asperellum* foi cultivado numa placa de Petri contendo PDA (dextrose de batata e ágar), durante cinco dias. O tratamento das sementes ocorreu na proporção de 10 g de conídios de *T. Asperellum* em pó, por 1 kg de sementes de arroz. A concentração da suspensão biológica foi de 108 conídios mL⁻¹, a qual foi transferida para

um saco plástico, juntamente com as sementes, sendo agitado para homogeneizá-las, conforme metodologia proposta por França et al. (2015).

Manejo das plantas de arroz de terras altas

Foram semeadas dez sementes por vaso da linhagem de arroz AB07SEQCL441 CL, derivada da cultivar Primavera, que possui gene que lhe condiciona resistência ao herbicida Kifix, em 10 de setembro de 2015, com emergência em 15 de setembro de 2015 e, após dez dias da germinação, realizou-se o desbaste, mantendo-se três plantas por vaso. No início do perfilhamento foi realizada a adubação nitrogenada com 1 g de sulfato de amônio por vaso, a lanço. O controle de plantas daninhas foi manual, sem a realização do controle de pragas e doenças.

Produção de biomassa

Aos 84 dias após a emergência, quando 50% das plantas apresentavam florescimento pleno, o experimento foi colhido. Em cada vaso foram cortadas as plantas rentes ao solo e secas em estufa, a 65 °C, até atingirem massa constante para a determinação da massa da matéria seca.

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). O tratamento controle foi comparado aos demais pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

Experimento em campo

Os experimentos foram conduzidos na Fazenda Capivara, da Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás, GO. O clima do local é Savana Tropical, considerado Aw, de acordo com a classificação de Köppen. Há duas estações bem definidas, ocorrendo uma, normalmente, seca, de maio a setembro (outono-inverno) e uma chuvosa, de outubro a abril (primavera-vero). A precipitação pluviométrica anual varia entre 1500 mm³ e 1700 mm³, e a temperatura média anual do ar é de 22,7 °C, variando entre 14,2 °C e 34,8 °C.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Escuro distroférico (Santos et al., 2006a). Antes da instalação dos experimentos de campo, em novembro de 2015 e novembro de 2016, as análises química e física da camada de 0 m-0,20 m foram realizadas para a caracterização inicial das duas áreas experimentais (Tabela 2), de acordo com a metodologia proposta por Claessen (1997).

Tabela 2. Propriedades químicas e físicas do solo das áreas experimentais, na profundidade de 0 m-0,20 m, antes da instalação dos experimentos de campo.

Área 1 - safra 2015/2016						
Ca	Mg	H+Al	MOS ¹	P	K	pH
mmol _c dm ⁻³			g dm ⁻³	mg dm ⁻³		(H ₂ O)
18,0	13,3	24,0	32,7	9,9	101,3	5,9
Cu	Zn	Fe	Mn	Argila	Silte	Areia
Mg dm ⁻³				g kg ⁻¹		
0,8	4,6	20,5	10,1	480	226	294
Área 2 - safra 2016/2017						
Ca	Mg	H+Al	MOS ¹	P	K	pH
mmol _c dm ⁻³			g dm ⁻³	mg dm ⁻³		(H ₂ O)
10,7	10,9	31,0	42,22	12,6	97	5,5
Cu	Zn	Fe	Mn	Argila	Silte	Areia
mg dm ⁻³				g kg ⁻¹		
1,2	8,1	31,0	12,2	520	180	300

¹MOS: Matéria orgânica do solo.

As áreas 1 e 2 estavam sendo manejadas no sistema plantio direto por sete anos, tendo a cultura da soja como cultura anterior.

Delineamento experimental e tratamentos

Os três experimentos (N, P e K) foram conduzidos em condições de terras altas, ou seja, dependente de chuva e sem irrigação, utilizando a mesma cultivar de arroz do experimento em casa de vegetação, a linhagem AB07SEQCL441 CL, cujas sementes foram tratadas com BRM32114 (microbiolização). Aos sete e aos 15 DAS foi feita a pulverização da suspensão bac-

teriana do microrganismo. O preparo das suspensões foi realizado conforme descrito no experimento em casa de vegetação.

Os três experimentos foram arranjados em blocos completos casualizados em esquema fatorial 4x2, com quatro repetições, durante as safras de 2015/2016 e de 2016/2017. Cada parcela foi composta de seis linhas de 6 m, ocupando uma área de 3,5 m x 6 m. A área útil constituiu-se de 5 m centrais das quatro fileiras centrais de arroz, desconsiderando uma linha de cada lado da parcela e 0,50 m para cada lado das fileiras em cada parcela. No experimento 1 os tratamentos consistiram de quatro doses de nitrogênio (0 kg N ha⁻¹, 40 kg N ha⁻¹, 80 kg N ha⁻¹ e 120 kg N ha⁻¹); no experimento 2, de quatro doses de fósforo (0 kg P ha⁻¹, 17,5 kg P ha⁻¹, 35,0 kg P ha⁻¹ e 52,4 kg P ha⁻¹) e; no experimento 3, de quatro doses de potássio (0 kg K₂O ha⁻¹, 20 kg K₂O ha⁻¹, 40 kg K₂O ha⁻¹ e 60 kg K₂O ha⁻¹).

Manejo da cultura do arroz

A vegetação presente na área foi dessecada com a aplicação de glifosato (1,8 kg ha⁻¹ de equivalente ácido), 30 dias antes da semeadura do arroz de terras altas. A adubação nos sulcos foi calculada de acordo com as características químicas do solo (Sousa; Lobato, 2004) e a semeadura do arroz foi realizada mecanicamente com 200 sementes m⁻², nos dias 15 de dezembro de 2015 e 23 de novembro de 2016. A emergência das plantas de arroz ocorreu, em média, cinco dias após a semeadura, nos dois anos de experimentação. As práticas culturais foram realizadas de acordo com as recomendações-padrão para a cultura do arroz (Santos et al., 2006b), mantendo-se as plantas livres de ervas daninhas, doenças e insetos-praga.

Trocas gasosas

As trocas gasosas foram medidas em plantas de arroz nos estádios vegetativo (perfilhamento pleno), aos 37 e 49 DAE, nas safras 2015/2016 e 2016/2017, respectivamente, e reprodutivo (florescimento), aos 68 e 79 DAE, nas mesmas safras, utilizando um analisador de troca gasosa portátil na região infravermelha (LCpro+, da ADC BioScientific), no período entre 8h e 10h. As leituras foram realizadas em uma planta por parcela, no terço central da primeira folha completamente expandida (do topo para a base) nas plantas

de arroz. Os parâmetros medidos foram: 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 (vpm); e temperatura foliar ($^\circ\text{C}$).

Nutrientes nas folhas e nos grãos

Foram coletadas amostras das folhas-bandeira de 50 plantas, no estágio fenológico de floração plena e de 100 g de grãos, por parcela. A determinação do teor de macronutrientes e micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe e Mn) seguiu a metodologia proposta por Malavolta et al. (1997).

Produção de biomassa

A parte aérea de todas as plantas de uma fileira medindo 1 m, dentro da área útil de cada parcela, foi coletada no estágio fenológico de floração plena, lavada em água e secada em estufa a 65°C por 72h, com circulação forçada de ar, e depois pesada para a determinação da matéria seca.

Produtividade de grãos e componentes de produção

A colheita das plantas de arroz foi realizada manualmente, após a maturação fisiológica dos grãos, na área útil de cada parcela, em 30 de março de 2016 e 21 de março de 2017, nas safras 2015/2016 e 2016/2017, respectivamente. As parcelas foram avaliadas quanto ao número de panículas (m^{-1}), em 1 m de uma das linhas da área útil da parcela; quanto ao número de grãos por panícula (total em dez panículas amostradas aleatoriamente na área útil, dividido por dez); quanto à massa de mil grãos (coleta aleatória e pesagem de mil grãos de cada parcela, corrigindo-se para 13% do teor de água); e quanto ao rendimento (pesagem dos grãos colhidos em cada parcela, corrigindo-se para 13% do teor de água e convertendo-se para kg ha^{-1}).

Análise estatística

Em cada experimento, no fator qualitativo (com ou sem BRM32114), os dados foram submetidos à análise de variância e, quando o teste F se mostrou significativo, os dados foram comparados pelo teste de Tukey com $p < 0,05$.

Resultados e Discussão

Experimento em casa de vegetação

Verificou-se que o isolado BRM32114 se destacou dos demais microrganismos e proporcionou incrementos significativos na biomassa, diferindo do controle (Tabela 3). BRM32114 produz ácido indol acético (AIA), celulase e sideróforos, além de solubilizar fósforo não lábil (Tabela 1), o que pode explicar o maior ganho em biomassa das plantas de arroz de terras altas crescidas em solo contendo esse isolado. Com base nesses resultados, BRM32114 foi identificado como o microrganismo multifuncional que proporcionou maiores efeitos benéficos às plantas dessa cultura e, por isso, foi selecionado para a realização dos experimentos de campo em combinação com doses de N, P e K.

Tabela 3. Efeito de microrganismos promotores de crescimento vegetal sobre a produção de biomassa seca da parte aérea de plantas de arroz de terras altas.

Fatores (microrganismos)	Biomassa seca da parte aérea (g)
BRM32113	18,02 b ¹
BRM32111	11,24 c ^{*2}
BRM32114	21,53 a*
BRM32112	18,88 b
BRM32110	19,37 ab
BRM32109	19,30 ab
Pool de <i>T. asperellum</i>	19,04 ab
Controle	18,54

¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). ²Valores seguidos por * diferem do tratamento controle pelo teste de Dunnett.

Experimento em campo

As plantas tratadas com BRM32114 apresentaram melhores resultados para alguns componentes de eficiência no processo de troca gasosa, nos experimentos com doses de N e de P, enquanto não houve diferença significativa entre a presença e a ausência de BRM32114, para qualquer dos

indicadores, no experimento com doses de K (Tabela 4). Dentre os componentes de eficiência de troca gasosa, o que se destacou foi a condutância estomática (gs), que apresentou diferença significativa tanto no experimento com N quanto com P, a qual correlaciona-se com a capacidade fotossintética que, por sua vez, produz efeitos significativos na produção de biomassa e no rendimento das culturas (Makino, 2011). Portanto, esses resultados ratificam os dados obtidos por Nascente et al. (2017), em que BRM32114 promoveu maior atividade do aparato fotossintético e, conseqüentemente, afetou positivamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas de arroz de terras altas.

Tabela 4. Fotossíntese (A), transpiração (E), condutância estomática (gs), concentração interna de CO₂ (Ci) e temperatura foliar (Tleaf) de plantas de arroz de terras altas submetidas a diferentes doses de N, P e K e tratadas ou não com BRM32114 (*Serratia* sp.) em Santo Antônio de Goiás, GO. Média das safras 2015/2016 e 2016/2017.

Fator	A	E	gs	Ci	Tleaf
BRM32114	μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	vpm	° C
N					
Presença	25,63 a	5,89 a	1,23 a	293 b	29,71 a
Ausência	25,57 a	5,93 a	1,03 b	299 a	29,49 a
P					
Presença	25,67 a	6,00 a	1,27 a	287 a	29,92 a
Ausência	24,21 b	5,95 a	0,99 b	284 a	29,83 a
K					
Presença	25,03 a	6,00 a	1,01 a	288 a	30,00 a
Ausência	24,82 a	5,95 a	1,00 a	289 a	29,81 a

*Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Em relação ao estado nutricional, observou-se que a interação de BRM32114 com as plantas de arroz de terras altas proporcionou maior teor de N e Ca (no experimento com doses de N), K, Ca e Mg (no experimento com doses de P) e Ca, Fe e Zn (no experimento com doses de K) na parte aérea das plantas (Tabela 5). BRM32114 é uma rizobactéria produtora de AIA e sideróforos (Bandara et al., 2006; Filippi et al., 2011), que são metabólitos envolvidos no crescimento de raízes e na disponibilidade de nutrientes para o solo. De acordo com Rêgo et al. (2014), plântulas de arroz tratadas com pool

de *T. asperellum*, *Burkholderia* sp. e *Pseudomonas* sp. apresentaram alterações na arquitetura radicular, aumentando o comprimento e o volume da raiz, e esta, por sua vez, quando mais robusta, promove maior taxa de absorção de água e minerais. Assim, é possível que as plantas tratadas com essa rizobactéria apresentem raízes mais desenvolvidas, o que pode proporcionar maior absorção de água e nutrientes, pois as plantas de arroz tratadas com o microrganismo apresentaram maior atividade nas trocas gasosas, contribuindo para maior acúmulo de biomassa seca e, conseqüentemente, efeito direto nos componentes de produção e rendimento de grãos em relação às plantas não tratadas.

Tabela 5. Teor de macronutrientes e micronutrientes na parte aérea de plantas de arroz de terras altas submetidas a diferentes doses de N, P e K e tratadas ou não com BRM32114 (*Serratia* sp.), em Santo Antônio de Goiás, GO. Média das safras 2015/2016 e 2016/2017.

Fator	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
BRM32114	g kg ⁻¹			mg kg ⁻¹					
N									
Presença	22,23 a	2,70 a	18,31 a	3,21 a	2,41 a	7,15 a	134 a	80 a	45,66 a
Ausência	20,77 b	2,88 a	17,79 a	2,90 b	2,21 b	7,69 a	132 a	70 a	42,26 a
P									
Presença	21,37 a	2,79 a	16,34 a	3,26 a	2,21 a	6,60 a	112 a	70 a	35,55 a
Ausência	21,16 a	2,92 a	15,76 b	2,94 b	2,04 b	6,63 a	115 a	66 a	33,63 a
K									
Presença	20,71 b	3,18 a	20,23 a	3,48 a	2,42 a	6,86 a	130 a	75 a	43 a
Ausência	22,11 a	3,29 a	19,18 a	3,31 b	2,40 a	6,31 a	121 b	71 a	40 b

*Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

O uso de BRM32114 gerou incrementos significativos na produção de biomassa em plantas de arroz, nos experimentos com N, P e K, no número de panículas por planta, nos experimentos com P e K, no número de grãos por panícula e na massa de mil grãos, no experimento com N e, conseqüentemente, na produtividade de grãos da cultura, nos experimentos com os três nutrientes (Tabela 6). Os maiores valores proporcionados aos componentes de produção e produtividade de grãos pelo uso da rizobactéria podem ser explicados, pelo menos em parte, pelos incrementos ocorridos nas trocas

gasosas, nos teores de nutrientes e na produção de biomassa da parte aérea de plantas de arroz de terras altas.

Tabela 6. Biomassa seca da parte aérea no florescimento (BSPA), número de panículas por planta (NPP), número de grãos por panícula (NGP), massa de mil grãos (M1000) e produtividade de grãos (PG) de plantas de arroz de terras altas submetidas a diferentes doses de N, P ou K e tratadas com BRM32114 (*Serratia* sp.), em Santo Antônio de Goiás, GO. Média das safras 2015/2016 e 2016/2017.

Fator BRM32114	BSPA g m ⁻²	NPP unit	NGP unit	M1000 g	PG kg ha ⁻¹
N					
Presença	198 a	81a	138 a	23,61 a	3643 a
Ausência	184 b	83a	118 b	23,05 b	3020 b
P					
Presença	197 a	80 a	134 a	23,63 a	3691 a
Ausência	172 b	72 b	132 a	23,20 a	2990 b
K					
Presença	222 a	81 a	121 a	23,7 a	3792 a
Ausência	206 b	73 b	124 a	22,98 a	3174 b

*Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Destaca-se duas observações relevantes relacionadas ao uso de *Serratia* sp. e doses de N e de P nas plantas de arroz de terras altas: Para o N, o arroz tratado com BRM32114 proporcionou aumento de 20,3%, 16,9% e 27,6% no rendimento de grãos, nas doses de 0 kg ha⁻¹, 40 kg ha⁻¹ e 80 kg ha⁻¹, respectivamente, em comparação com as plantas controle. A exceção foi na dose de 120 kg ha⁻¹, na qual não foi observada diferença significativa (Tabela 7). Resultados similares também foram obtidos por Shaharoon et al. (2008) e Zahir et al. (2008) quando inocularam plantas de trigo e arroz com *Pseudomonas* sp. e observaram promoção do crescimento e maior produtividade das plantas com eficácia variável em diferentes níveis de fertilizante nitrogenado. Para o P, o arroz tratado com BRM32114 proporcionou aumento médio de 23% no rendimento de grãos, comparativamente às plantas controle (Tabela 6). Contudo, observa-se que as plantas tratadas com a rizobactéria mostraram rendimento similar entre o cultivo sem e com adubação fosfatada. Isso sugere que a quantidade de P no solo anterior ao plantio já era suficiente

para o crescimento e o desenvolvimento das plantas de arroz de terras altas e que a presença de BRM32114 pode provocar a mineralização do P não lábil, disponibilizando-o na solução do solo para a absorção pelas plantas, pois este é um microrganismo que solubiliza fósforo devido à secreção de ácidos orgânicos e enzimas que agem nos fosfatos insolúveis, convertendo-os em formas solúveis (Martins, 2015).

Este trabalho apresenta resultados promissores do uso de microrganismos multifuncionais nos sistemas agrícolas, entretanto, experimentos de campo estão sujeitos a diversas interações que potencializam ou reduzem seus efeitos. Assim, outros trabalhos de pesquisa devem ser realizados para confirmar ou contrastar os resultados obtidos.

Tabela 7. Interação entre doses de N e P com BRM32114 (*Serratia* sp.) na produtividade de grãos de arroz de terras altas em Santo Antônio de Goiás, GO. Safras 2015/2016 e 2016/2017.

Dose kg ha ⁻¹	Nitrogênio			Dose kg ha ⁻¹	Fósforo		
	Presença ----- kg ha ⁻¹ -----	Ausência	Diferença %		Presença ----- kg ha ⁻¹ -----	Ausência	Diferença %
0	3000 a B	2391 b B	20,3	0	3559 a A	2540 b A	40,1
40	3392 a B	2818 b B	16,9	17,5	3567 a A	3061 b A	16,5
80	3981 a A	2880 b B	27,6	35,0	3650 a A	3160 b A	15,5
120	4201 a A	3991 a A	5,0	52,4	3968 a A	3363 b A	18,0
Média	3643 a	3020 b	17,0	Média	3686 a	3031 b	23,0

*Valores seguidos pela mesma letra minúscula, na linha, ou maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Conclusão

O uso do microrganismo multifuncional BRM32114 (*Serratia* sp.), coletado da rizosfera de campos de produção de arroz de terras altas, possui potencial para aumentar a produção do grão de forma sustentável. Os resultados mostraram que o microrganismo pode trazer diversos benefícios para a planta, incluindo o aumento da biomassa e da produtividade, maior absorção de nutrientes e a eficiência do aparato fotossintético, proporcionando benefícios econômicos e ambientais, devido à redução no uso de insumos minerais sintéticos e, conseqüentemente, no custo de produção e na poluição.

Referências

- BANDARA, W. M.; SENEVIRATNE, G.; KULASOORIVA, S. A. Interactions among endophytic bacteria and fungi: effects and potentials. **Journal of Biosciences**, v. 31, n. 5, p. 645-650, Dec. 2006.
- BULGARELLI, D.; SCHLAEPPI, K.; SPAEPEN, S.; VAN THEMAATE, V. L.; SCHULZE-LEFERT, P. Structure and functions of the bacterial microbiota of plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 64, p. 807-838, 2013.
- CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPq, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPq. Documentos, 1).
- FILIPPI, M. C. C.; SILVA, G. B. da; SILVA-LOBO, V. L.; CORTES, 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, Aug. 2011.
- FRANÇA, S. K. S. de; 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, n. 1, p. 317-324, Jan. 2015.
- GLICK, B. R.; PATTEN, C. L.; HOLGUIN, G.; PENROSE, D. M. **Biochemical and genetic mechanisms used by plant growth promoting bacteria**. London: World Scientific, 1995. 276 p.
- GRiSP (Global Rice Science Partnership). **Rice almanac**: source book for one of the most important economic activities on Earth. 4th ed. Los Baños: International Rice Research Institute, 2013. 283 p.
- KADO, C. J.; HESKETT, M. G. Selective media for isolation of *Agrobacterium*, *Corynebacterium*, *Erwinia*, *Pseudomonas* and *Xanthomonas*. **Phytopathology**, v. 60, n. 6, p. 969-976, June 1970.
- KUMAR, V.; LADHA, J. K. Direct seeding of rice: recent developments and future research needs. **Advances in Agronomy**, v. 111, p. 297-413, 2011.
- MAKINO, A. Photosynthesis, grain yield, and nitrogen utilization in rice and wheat. **Plant Physiology**, v. 155, n. 1, p. 125-129, Jan. 2011.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e do Fósforo, 1997. 319 p.
- MARTINS, B. E. de M. **Caracterização de isolados bacterianos antagonistas a *Magnaporthe oryzae***. 2015. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C.; COBUCCI, T. The no-tillage system and cover crops - alternatives to increase upland rice yields. **European Journal of Agronomy**, v. 45, p. 124-131, Feb. 2013.
- NASCENTE, A. S.; FILIPPI, M. C. C. de; LANNA, A. C.; SOUZA, A. C. A. de; LOBO, V. L. da S.; 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, n. 3, p. 2956-2965, Jan. 2017.
- RÊGO, M. C. F.; ILKIU-BORGES, F.; FILIPPI, M. C. C. de; GONÇALVES, L. A.; SILVA, G. B. da. Morphoanatomical and biochemical changes in the roots of rice plants induced by plant growth-promoting microorganisms. **Journal of Botany**, Article ID 818797, 2014.

SAMUELS, G. J. *Trichoderma*: systematics, the sexual state, and ecology. **Phytopathology**, v. 96, n. 2, p. 195-206, Feb. 2006.

SANTOS, A. B. dos; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. de A. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. 2. ed. rev. ampl. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006b. 1000 p.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006a. 306 p.

SHAHAROONA, B.; NAVEED, M.; ARSHAD, M.; ZAHIR, Z. A. Fertilizer-dependent efficiency of *Pseudomonas* for improving growth, yield, and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 79, n. 1, p. 147-155, May 2008.

SILVA, J. C. da; TORRES, D. B.; LUSTOSA, D. C.; FILIPPI, M. C. C. de; SILVA, G. B. da. Rice sheath blight biocontrol and growth promotion by *Trichoderma* isolates from the Amazon. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 55, n. 4, p. 243-250, out./dez. 2012.

SILVA, V. A. C. da; SILVA, E. F. da; TABOSA, J. N. Comportamento de cultivares de arroz de terras altas na Zona da Mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 10, p. 1030-1037, out. 2010.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado**: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.

STEFFEN, G. P. K.; MALDANER, J.; MISSIO, E. L.; STEFFEN, R. B. *Trichoderma* controla fitonematóides e aumenta produtividade da soja. **Campos & Negócios**, mar. 2018. Disponível em: <<https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/201804/12095822-uso-de-trichoderma-na-agricultura.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2019.

ZAHIR, Z. A.; MUNIR, A.; ASGHAR, H. N.; SHAHAROONA, B.; ARSHAD, M. Effectiveness of rhizobacteria containing ACC-deaminase for growth promotion of pea (*Pisum sativum*) under drought conditions. **Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 18, n. 5, p. 958-963, May 2008.



Arroz e Feijão