



UFG

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

**MICROORGANISMOS INDUTORES DE CRESCIMENTO NO
DESEMPENHO DE PLANTAS DE ARROZ IRRIGADO
TROPICAL**

ISRAEL MENDES SOUSA

Orientador:

Dr. Adriano Stephan Nascente

Coorientadora:

**Dra. Marta Cristina Corsi de
Filippi**

Fevereiro – 2019

**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:

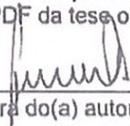
Nome completo do(a) autor(a): ISRAEL MENDES SOUSA

Título do trabalho: MICROORGANISMOS INDUTORES DE CRESCIMENTO
NO DESEMPENHO DE PLANTAS DE ARROZ IRRIGADAS TROPICAL

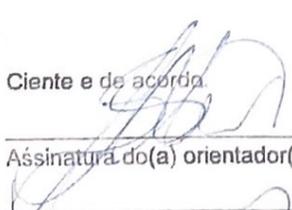
3. Informações de acesso ao documento:

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: 06/07/2022

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.

ISRAEL MENDES SOUSA

**MICROORGANISMOS INDUTORES DE CRESCIMENTO NO DESEMPENHO DE
PLANTAS DE ARROZ IRRIGADO TROPICAL**

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:

**Dra. Marta Cristina Corsi de
Filippi**

Goiânia, GO - Brasil

2019

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

Sousa, Israel Mendes
MICROORGANISMOS INDUTORES DE CRESCIMENTO NO
DESEMPENHO DE PLANTAS DE ARROZ IRRIGADO TROPICAL
[manuscrito] / Israel Mendes Sousa. - 2019.
LXXXI, 81 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Stephan Nascente; co-orientador
Dra. Marta Cristina Corsi de Filippi.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola
de Agronomia e Engenharia de Alimentos (EAEA), Programa de Pós
Graduação em Agronomia, Goiânia, 2019.

Bibliografia.

Inclui fotografias, tabelas.

1. *Oryza sativa* L.. 2. Bioagentes. 3. Rizobactérias promotoras de
crescimento vegetal. 4. *Trichoderma asperellum*. 5. Desenvolvimento
sustentável. I. Nascente, Dr. Adriano Stephan, orient. II. Título.

CDU 631/635



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos vinte e oito dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e dezenove (28.02.2019), às 08h30min, na sala de reuniões do Escritório Técnico, na Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás, reuniu-se a Banca Examinadora, composta pelos membros: Dr. Adriano Stephan Nascente - Orientador e Presidente da Banca, Dr^a. Marta Cristina Corsi de Filippi - Co-orientadora, Dr^a. Valácia Lemes da Silva Lôbo e Dr. Mábio Chrisley Lacerda, para a realização da sessão pública da defesa de Dissertação intitulada: **"Microrganismos indutores de crescimento no desempenho de plantas de arroz irrigado tropical"**, de autoria de **Israel Mendes Sousa**, discente do curso de **Mestrado**, na área de concentração em **Produção Vegetal**, do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFV. A sessão foi aberta pelo presidente, que fez a apresentação formal dos membros da Banca e deu início às atividades relativas a defesa da Dissertação. 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 Resolução CEPEC 1403/2016, de 10 de junho de 2016 que regulamenta os Programas de Pós-Graduação *Stricto Sensu* na UFV, 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 artigos científicos, oriundos dessa Dissertação, em periódicos de circulação nacional e, ou, internacional, depois de acatadas as modificações sugeridas. Para finalizar, o Presidente agradeceu os membros examinadores, congratulou-se com o mestrando e encerrou a sessão às 11h00min, para constar, eu Welinton Barbosa Mota, secretário do PPGA, lavrei a presente Ata que depois de lida e aprovada, será assinada pelos membros da Banca Examinadora, em quatro vias de igual teor.

Dr. Adriano Stephan Nascente
Presidente da Banca – Embrapa Arroz e Feijão

Dr^a. Marta Cristina Corsi de Filippi
Co-orientadora – Embrapa Arroz e Feijão

Dr^a. Valácia Lemes da Silva Lôbo
Membro – Embrapa Arroz e Feijão

Dr. Mábio Chrisley Lacerda
Membro – Embrapa Arroz e Feijão

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me dar saúde, força e sabedoria;

À Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, pelo apoio institucional de funcionários, técnicos administrativos e professores para a realização do curso de Mestrado;

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, em especial ao Laboratório de Microbiologia Agrícola, pelo apoio institucional, técnico e científico; aos técnicos Antônio Caiado e Nelson Tavares, e ao Dr. Alan Carlos Alves de Souza que estiveram comigo conduzindo os experimentos que deram origem a este trabalho;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de Mestrado;

Ao Dr. Adriano Stephan Nascente, pelos seus ensinamentos, pela paciência, oportunidade e dedicação constante em me orientar na execução desta obra;

À minha coorientadora Dra. Marta Cristina Corsi de Filippi e a Dra. Anna Cristina Lanna, que muito contribuíram com suas orientações e sugestões para finalização deste trabalho;

Aos meus pais Clever Mendes de Souza e Cleusa de Sousa Resende Mendes, pelo apoio, amor e carinho que sempre tiveram por mim;

Ao amigo Marcos Paulo dos Santos, por compartilhar seus conhecimentos sobre a vida de mestrando e pelos momentos de descontração que me ajudaram a passar por essa jornada;

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte e contribuíram para realização desta pesquisa.

DEDICO

Aos meus pais Clever e Cleusa,
Minha irmã Leticia Mirian e
Sobrinha Ana Luisa

“Escolha um trabalho que você ama e você não terá que trabalhar um dia sequer na vida”
– Confúcio

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
1 INTRODUÇÃO GERAL	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 A CULTURA DO ARROZ	14
2.2 MICRORGANISMOS BENÉFICOS	18
2.2.1 Rizobactérias promotoras de crescimento vegetal	19
2.2.2 <i>Trichoderma</i> spp. e o crescimento vegetal	22
2.3 TROCAS GASOSAS	25
2.4 NUTRIÇÃO DE PLANTAS	27
2.5 REFERÊNCIAS	30
3 BIOMASS PRODUCTION AND GAS EXCHANGE OF LOWLAND RICE TREATED WITH BENEFICIAL MICROORGANISMS (Capítulo 1)	37
ABSTRACT	37
INTRODUCTION	38
MATERIAL AND METHODS	40
RESULTS AND DISCUSSION	43
CONCLUSIONS	49
REFERENCES	49
AKNOWLEDGEMENTS	54
FINANCIAL SUPPORT	54
FULL DISCLOSURE	54
4 DESEMPENHO AGRONÔMICO DE PLANTAS DE ARROZ IRRIGADO PROMOVIDO POR MICRORGANISMOS BENÉFICOS (Capítulo 2)	55
RESUMO	55
ABSTRACT	56
INTRODUÇÃO	56
MATERIAL E MÉTODOS	57
Experimento I - Efeito de microrganismos benéficos sobre o desempenho de plantas de arroz irrigado tropical	57
Caracterização do ambiente	57

Delineamento experimental e tratamentos	58
Microbiolização das sementes	58
Manejo das plantas de arroz	59
Avaliações	59
Experimento II - Efeito de microrganismos benéficos sobre o sistema radicular de plântulas de arroz irrigado tropical.....	60
Condições experimentais	60
Análise estatística	61
RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
Experimento I - Efeito de microrganismos benéficos sobre o desempenho de plantas de arroz irrigado tropical.....	61
Trocas gasosas	61
Produção de biomassa	63
Nutrientes na parte aérea	64
Experimento II - Efeito de microrganismos benéficos sobre o sistema radicular de plântulas de arroz irrigado tropical.....	66
CONCLUSÕES	67
REFERÊNCIAS	68
5 BACTÉRIAS PROMOTORAS DO CRESCIMENTO RADICULAR EM PLÂNTULAS DE DOIS CULTIVARES DE ARROZ IRRIGADO POR INUNDAÇÃO (Capítulo 3)	71
RESUMO.....	71
ABSTRACT	72
INTRODUÇÃO.....	73
MATERIAL E MÉTODOS	74
RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
CONCLUSÕES.....	78
REFERÊNCIAS	79
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	81

RESUMO

SOUSA, I. M. **Microrganismos indutores de crescimento no desempenho de plantas de arroz irrigado tropical**. 2019. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019.¹

O arroz é alimento básico para metade da população mundial. É fonte rica em carboidratos, portanto, representa importante fonte de energia para a manutenção do metabolismo humano, principalmente em países subdesenvolvidos e em desenvolvimento. Devido ao aumento populacional em países consumidores de arroz, estima-se que até 2030 deve haver um aumento de aproximadamente 20% na produção de arroz para suprir a demanda por esse alimento. Rizobactérias promotoras de crescimento vegetal (RPCV) e fungos do gênero *Trichoderma* spp. são microrganismos benéficos, que, associados a espécies vegetais podem induzir o crescimento e conseqüentemente aumentar a produção de culturas. Portanto, o uso de microrganismos indutores de crescimento vegetal representa importante alternativa para melhorar a produção de espécies vegetais e, garantir a segurança alimentar de maneira sustentável. O objetivo do trabalho foi determinar o efeito de tipos e formas de aplicação de microrganismos benéficos no desempenho agrônomico de plantas de arroz irrigado tropical. Experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado (DIC), onde, avaliou-se produção de biomassa, características fisiológicas por meio de trocas gasosas e teor de nutrientes de plantas e, comprimento radicular de plântulas de arroz irrigado tropical. Os tratamentos consistiram de seis isolados de rizobactérias: BRM32109 e BRM32110 (*Bacillus* sp.); BRM32111 (*Pseudomonas fluorescens*); BRM32112 (*Pseudomonas* sp.); BRM32113 (*Burkholderia pyrrocinia*) e BRM32114 (*Serratia* sp.) e, um *pool* com quatro isolados de *Trichoderma asperellum* (UFRA.T06 + UFRA.T09 + UFRA.T12 + UFRA.T52). Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de médias LSD ($p \leq 0,05$). Para comparação dos tratamentos com microrganismo e plantas controle os dados foram submetidos ao teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). Com base nos resultados, pode-se inferir que o uso de microrganismos benéficos em plantas de arroz irrigado tropical pode representar alternativa para melhorar o rendimento da cultura. De maneira geral, a aplicação dos microrganismos benéficos melhorou o desempenho das plantas de arroz irrigado tropical em comparação com plantas controle, por meio de maior produção de biomassa, incremento em trocas gasosas, absorção de nutrientes e comprimento radicular de plântulas. Porém, nos diferentes experimentos o comportamento dos microrganismos diferiu. Sabe-se que a interação entre microrganismos e plantas é dependente de algumas especificidades, como, espécie/cultivar vegetal, tipo de solo, condições ambientais e concentração dos microrganismos na região de colonização. Portanto, apesar dos resultados positivos, há necessidade de outras investigações do efeito e principalmente interação desses microrganismos benéficos em diferentes cultivares de arroz irrigado e em ensaios em condições de campo.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L.; Bioagentes; Rizobactérias promotoras de crescimento vegetal; *Trichoderma asperellum*; Desenvolvimento sustentável.

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

Coorientadora: Dra. Marta Cristina Corsi de Filippi. Embrapa Arroz e Feijão.

ABSTRACT

SOUSA, I. M. **Growth inductor microorganisms in the performance of tropical lowland rice plants**. 2019. 81 f. Dissertation (Master in Agronomy: Plant Production) - School of Agronomy, Federal University of Goiás, Goiânia, 2019.¹

Rice is a staple food for the half of world population. It is rich source of carbohydrates, thus, represent important source of energy for the maintenance of human metabolism, mainly in underdeveloped and developing countries. Due to the population increases in rice consuming countries, it is estimated that by 2030 there should be an approximately 20% increase in rice production for supply the demand for this food. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and fungi of genera *Trichoderma* spp. are beneficial microorganisms, which, associated to plant species can induce the growth and hence increase crops production. Therefore, the use of plant growth inducing microorganisms represents an important alternative to improve vegetable species production and, ensure food security in a sustainable way. The aim of this work was to determinate the effect of kinds and forms of application of microorganisms in the agronomic performance of tropical lowland rice plants. Experiments were carried out in the completely randomized design (CRD), where, it was evaluated biomass production, physiological characteristics through gas exchanges, nutrient content in plants and, seedling root length of tropical lowland rice. The treatments were of six rhizobacteria isolates: BRM32109 e BRM32110 (*Bacillus* sp.); BRM32111 (*Pseudomonas fluorescens*); BRM32112 (*Pseudomonas* sp.); BRM32113 (*Burkholderia pyrrocinia*) e BRM32114 (*Serratia* sp.) and, one pool with four *Trichoderma asperellum* isolates (UFRA.T06 + UFRA.T09 + UFRA.T12 + UFRA.T52). Data were submitted of variance analyses and to means LSD's test ($p \leq 0.05$). To compare treatments with microorganism and control plants the data were submitted to Dunnett's test ($p \leq 0.05$). Based on results, it can be inferred that the use of beneficial microorganisms in tropical lowland rice plants may represent alternative to improve the crop yield. Overall, the application of beneficial microorganisms improved the performance of tropical lowland rice plants compared to control plants, through of higher biomass, gas exchange improvement, uptake nutrients and seedling root length. However, in the different experiments the behavior of microorganisms differed. It is know that the interaction between microorganisms and plants is dependent on some specifications, such as, vegetable specie/cultivar, soil kind, environmental conditions and concentration of microorganisms on the colonization region. Thus, beside of positive results, there is a need for further investigations of effect and mainly interaction of these different beneficial microorganisms in different lowland rice cultivars in field trials.

Key-words: *Oryza sativa* L.; Bioagents; Plant growth promoting rhizobacteria; *Trichoderma asperellum*; Sustainable development.

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

Coorientadora: Dra. Marta Cristina Corsi de Filippi. Embrapa Arroz e Feijão.

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os sistemas de produção de espécies vegetais são fortemente afetados pelo aumento populacional e, conseqüentemente, aumento na demanda por produção de alimentos. Atualmente, estes sistemas sofrem restrições como, menor disponibilidade de água para irrigação, degradação de solos, diminuição da disponibilidade de novas áreas agrícolas para abertura e mudanças climáticas. Além disso, o aumento na demanda por produção de alimentos leva ao uso indiscriminado de insumos sintéticos, como, fertilizantes inorgânicos e agrotóxicos, que, causam prejuízos à saúde humana e ao meio ambiente. Estima-se que no mundo haja quase um bilhão de pessoas que sofrem de fome e má-nutrição (Frison et al., 2012). Esse problema é causado não só por questões sociais, como distribuição desigual de alimentos, mas, também, pela produção deficiente de culturas básicas que mantém a segurança alimentar em países subdesenvolvidos. Além disso, produzir alimento em quantidade suficiente torna-se mais crucial, considerando estimava de que a população global cresça para cerca de 8,3 bilhões até 2030, dos quais, cerca de 90% emana de países subdesenvolvidos e em desenvolvimento (Rabara et al., 2018).

O arroz é considerado a base alimentar de metade da população mundial (IRRI, 2010). É rico em carboidratos, o que o caracteriza como fonte essencial para o metabolismo humano. Contribui com aproximadamente 21, 14 e 2% do consumo diário de energia, proteína e gordura, respectivamente, de quase quatro bilhões de pessoas em todo o mundo (Kennedy & Burlingame, 2003). Portanto, é socioeconomicamente um dos mais importantes grãos cultivados no Brasil e no mundo (Borém & Rangel, 2015). Entre os continentes, a Ásia é o maior produtor de arroz, com aproximadamente 90,5% do total produzido, seguido por, Américas com 5,2%; África 3,6%; Europa 0,6% e Oceania 0,1% (Wander et al., 2007). Segundo dados divulgados pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2018), em 2016 foram produzidos 740,9 milhões de toneladas de arroz em todo o mundo. Essa produção correspondeu a quarta posição no *ranking* de colheita de espécies vegetais, ficando atrás somente das culturas de cana-de-açúcar, milho e trigo.

A rizicultura no Brasil é conduzida sob dois ecossistemas básicos de cultivo: várzeas e terras altas. Em terras altas pode ser cultivado com irrigação suplementar ou

somente dependente da água da chuva (Silva et al., 2010). No ecossistema de várzeas, a cultura pode ser conduzida com ou sem controle de irrigação. A área total plantada com arroz é de aproximadamente 1,97 milhão de hectares, com produção de 12 milhões de toneladas. O arroz irrigado é cultivado principalmente nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Tocantins. A área cultivada nesse sistema representa em torno de 73% da área total plantada no Brasil e apresenta rendimento médio de 7.513 kg ha⁻¹ (Conab, 2018).

Mesmo sendo mais produtivo, arroz cultivado em ecossistema irrigado é considerado um sistema frágil. Demanda maior tecnologia de mecanização, é mais dispendioso em quantidade de uso de água, agrotóxicos e nutrientes que supram os altos rendimentos obtidos, superando estresses bióticos e abióticos. Por exemplo, um maior aporte de nitrogênio no cultivo de arroz irrigado, pode levar a problemas de lixiviação, que, por sua vez, causam prejuízos de ordem financeira e ambientais pelo o excesso desse nutriente nos lençol freático (Fageria et al., 2014).

Devido ao aumento crescente da população mundial, uma das principais preocupações que recaem sobre a produção de alimentos é o uso intensivo de insumos como fertilizantes sintéticos e agrotóxicos, os quais impactam negativamente a saúde humana e ao meio ambiente (Compant et al., 2005). Dessa forma, é necessário buscar alternativas para aumentar a produção de culturas como a do arroz, de forma econômica e sustentável para atender as demandas globais (Nascente et al., 2017). Nesse cenário, o uso de tecnologia de produtos de origem microbiana como inoculante surge como alternativa aos produtos químicos, para assegurar nenhum ou menor efeito negativo ao meio ambiente (Gholamalizadeh et al., 2017)

A rizosfera compreende a região de poucos milímetros de contato entre o solo e raízes de plantas. Sabe-se que nessa camada, naturalmente há presença de vários microrganismos patogênicos e não patogênicos como, fungos, bactérias, vírus, nematoides, etc. Esses que não causam patogenicidade podem interagir com as plantas de forma benéfica, como por exemplo, as rizobactérias promotoras de crescimento vegetal (RPCV). O uso de RPCV como inoculante de plantas pode ser alternativa importante e sustentável para aumentar a produção de espécies vegetais. Segundo Graças et al. (2015) algumas espécies de rizobactérias podem produzir hormônios vegetais que estão relacionados diretamente com o crescimento vegetal (auxinas, giberelinas e citocininas), além de sintetizarem sideróforos, antibióticos e substâncias que reduzem a atividade dos patógenos. Outro exemplo de microrganismos que possuem capacidade de colonizar raízes de espécies

vegetais induzindo seu crescimento, de modo similar as RPCV, são os fungos do gênero *Trichoderma* spp. (Sousa et al., 2018).

Estudos avaliando a interação entre algumas espécies de microrganismos benéficos (RPCV e fungos do gênero *Trichoderma* spp.) e plantas de arroz, resultando em melhor desempenho das plantas, tem sido relatado por diversos autores (Alvarez et al., 2012; Nascente et al., 2017; Gholamalizadeh et al., 2017; Sousa et al., 2018). Porém, segundo Mendes et al. (2018) espécies de microrganismos agem de maneira diferenciada em diferentes espécies vegetais e/ou até mesmo em diferentes cultivares da mesma espécie. Portanto, torna-se necessário avançar nos estudos sobre a interação de microrganismos benéficos em diferentes cultivares.

Dado o exposto, vimos que a rizicultura gera demanda de realização de novas pesquisas agrônomicas, que, de alguma forma assegurem e melhorem a produção sustentável desta cultura. Portanto, objetivou-se com esse estudo, determinar o efeito de tipos e formas de aplicação de microrganismos benéficos, previamente identificados como indutores de crescimento vegetal, no desempenho agrônomico de plantas de arroz irrigado tropical.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A CULTURA DO ARROZ

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma gramínea anual pertencente à família das Poaceas, adaptada ao ambiente aquático. Originário da Ásia Meridional, o arroz atravessou fronteiras e alcançou o mundo. Seu cultivo é realizado em países de climas tropicais e subtropicais, e seu desenvolvimento compreende um ciclo completo, que vai desde a germinação até a maturação dos grãos. Há grande diversificação ecológica em *O. sativa*. As duas principais raças ecogeográficas ou subespécies que foram formadas são: *indica*, adaptada aos trópicos; e *japonica*, adaptada a regiões temperadas e tropicais de terras altas (Abreu & Oliveira, 2015). Essa formação se deu como resultado de isolamento e seleção, as quais buscavam adequações às preferências socioculturais. Portanto, diversidade em caracteres morfológicos, especialmente tamanho, forma e cor do grão e, propriedades do endosperma, dentro das subespécies foram adicionadas (Maclean et al., 2002)

Não é possível diferenciar o ecossistema (várzea ou terras altas) ao qual a planta de arroz está adaptada somente pelos critérios morfológicos e/ou fisiológicos (Pinheiro, 2006). Porém, sabe-se que o arroz cultivado sob sistema de sequeiro (terras altas) evoluiu do arroz irrigado. Isso se deve a pressão de seleção realizada pelo homem com a migração de áreas baixas para locais mais elevados. Com isso, alterações e adaptações entre variedades se deram principalmente na disposição do sistema radicular. A relação entre raiz-parte aérea das plantas foi adaptada em condições de menor disponibilidade hídrica.

Cultivares de arroz cultivadas no Brasil são pertencentes à subespécie *indica*, sendo que, seleções locais de materiais se deu a partir de coleções de linhagens semi-anãs do grupo *indica* introduzidas dos programas de melhoramento do *International Rice Research Institute* (IRRI), localizado nas Filipinas e do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Colômbia e, de resultado do cruzamento entre os referidos materiais (Pinheiro, 2006). Os materiais oriundos da subespécie *indica* possuem colmos espessos, baixa estatura, alta capacidade de perfilhamento, folhas curtas e eretas com baixo ângulo de inserção e ciclo tardio. Em relação aos grãos, eles são longos, estreitos e levemente planos (Evans et al., 1984).

Segundo Abreu & Oliveira (2015), o ciclo de plantas de arroz variam conforme a genética e a influência do ambiente, e geralmente está entre 100 e 210 dias. O estudo do desenvolvimento periódico de espécies vegetais, de acordo com a relação às condições do ambiente pode ser definido como fenologia. Counce et al. (2000) desenvolveram uma escala de desenvolvimento fenológico para a cultura do arroz (Tabela 1). Nessa escala, a cultura é dividida em três estádios de desenvolvimento, plântula, fase vegetativa e fase reprodutiva, sendo suas subdivisões apresentadas pelas letras S, V e R respectivamente. Em alguns casos, dependendo do genótipo, as fases vegetativa e reprodutiva podem sobrepor-se (Figura 1). O conhecimento dos estádios fenológicos de uma cultura, servem para orientar produtores e pesquisadores, quanto à realização de práticas de manejo, e comparação entre estudos realizados em diferentes locais.

Tabela 1. Escala de desenvolvimento fenológico da cultura do arroz dividida em três estádios.

Fases de desenvolvimento	Estádio	Marcador morfofisiológico
Plântula	S ₀	Semente seca
	S ₂	Emergência do coleóptilo e radícula.
	S ₃	Emergência do prófílo a partir do coleóptilo.
Fase vegetativa	V ₁	Formação do colar da 1ª folha no colmo principal.
	V ₃	Formação do colar da 3ª folha no colmo principal. Perfilhamento
	V _n	Formação da última folha (folha-bandeira) no colmo.
Fase reprodutiva	R ₀	Início do desenvolvimento da panícula.
	R ₁	Diferenciação da panícula.
	R ₂	Formação do colar da folha bandeira. Emborrachamento.
	R ₃	Emissão (excursão) da panícula na bainha; ponta da panícula acima do colar da folha bandeira.
	R ₄	Antese: uma ou mais flores da panícula em antese.
	R ₅	Expansão do grão em comprimento e largura.
	R ₆	Expansão do grão em espessura.
	R ₇	Desidratação do grão.
	R ₈	Maturação do grão: ao menos um grão do colmo principal apresenta-se com casca marrom (grãos secos).
R ₉	Completa maturidade da panícula; todos os grãos apresentam-se com casca marrom.	

Fonte: Adaptado de Counce et al. (2000).

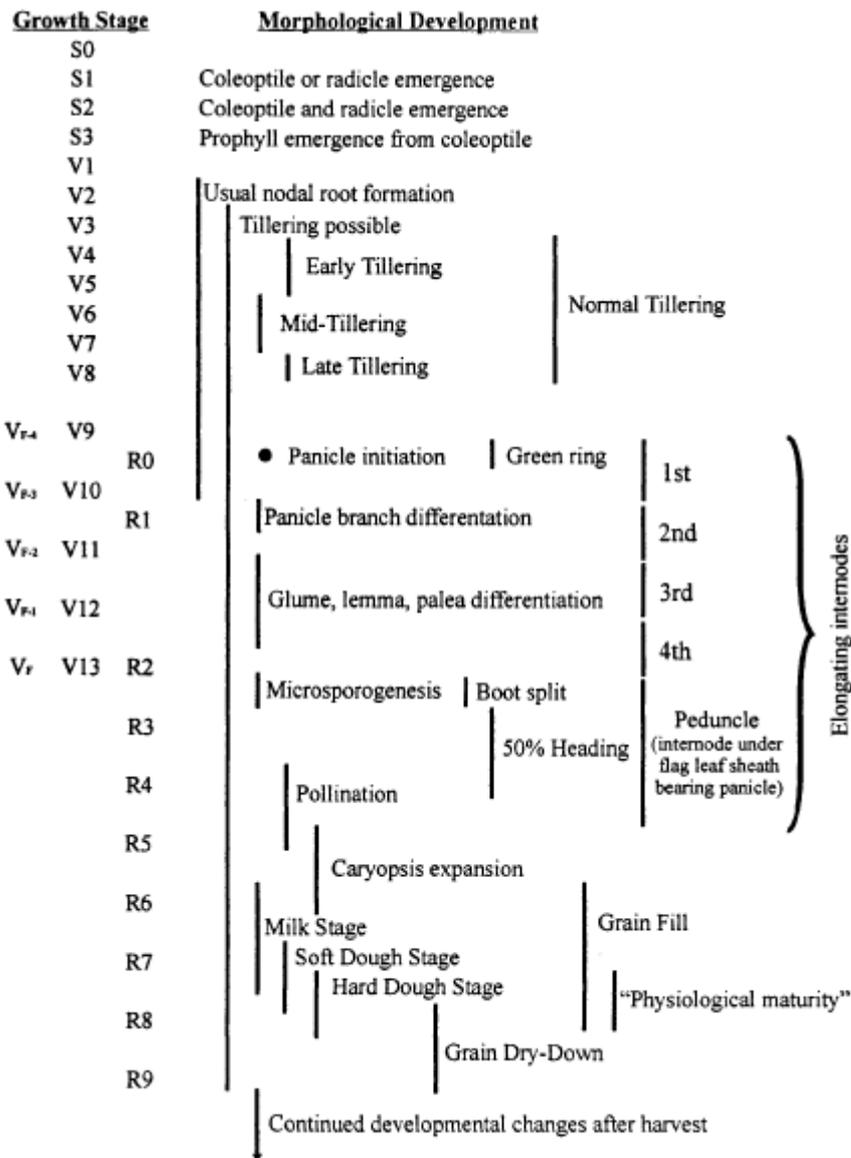


Figura 1: Fenologia e marcadores morfológicos dos respectivos estádios. Adaptado de Counce et al. (2000).

Barata (2005) descreveu o arroz como sendo fonte rica em carboidratos, o que o caracteriza como importante fonte de energia para o metabolismo humano, além disso, é também fonte de proteínas, sais minerais e vitaminas do complexo B, como a B1 (tiamina), B2 (riboflavina) e B3 (niacina). Portanto, por ser fonte primária de alimento para mais da metade da população mundial, principalmente em países subdesenvolvidos e em desenvolvimento. Por ser rico em energia através dos carboidratos, o arroz é considerado uma das culturas mais importantes no mundo (Khush, 2005).

O continente asiático é responsável pelo cultivo de aproximadamente 90% de todo arroz produzido no mundo, basicamente no sistema irrigado (Silva, 2014). Os dez maiores

produtores mundiais de arroz são: China, em primeiro lugar, seguido por Índia, Indonésia, Bangladesh, Vietnã, Tailândia, Myanmar e Filipinas, que produzem 212, 163, 79, 50, 43, 26, 25 e 17 milhões de toneladas respectivamente (FAO, 2018). O Brasil é o 9º produtor mundial, com aproximadamente 1,6% da produção total e os estados brasileiros que mais se destacam nessa produção são Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Tocantins com 70,35; 9,57 e 5,27% respectivamente do total (12,2 milhões de toneladas) brasileiro produzido na safra 2018/19 (Conab, 2018).

No Brasil o cultivo de arroz é dividido em dois sistemas, irrigado e o sequeiro (terras altas). O sistema de arroz irrigado é mais produtivo, devido o controle das condições hídricas (que minimiza impactos abióticos negativos) e, aplicação de tecnologias, como, a própria mecanização no manejo da lâmina de irrigação e uso mais intensivo de fertilizantes inorgânicos. A área disponível para cultivo de arroz irrigado no Brasil é de aproximadamente 30 milhões de hectares, sendo que, cerca de 50% são constituídos por planícies irrigáveis por inundação (várzeas) (Mattos, 2014). Nessas planícies, muitas vezes exige-se manejo adequado para conciliar a produção de alimentos com os impactos ambientais.

No ano de 2018, a região sul do país apresentou produtividade média de arroz de 7.811 kg ha⁻¹, enquanto que, regiões norte, centro-oeste, sudeste e nordeste alcançaram produtividades de 4.045, 3.653, 3.611 e 1.975 kg ha⁻¹ respectivamente (Conab, 2018). Esses números mostram a grande variação em produtividade de arroz entre as regiões brasileiras. Portanto, tem-se um indicativo de que essa cultura ainda carece de pesquisas para preencher essas lacunas. Segundo dados apresentado pela Conab (2016), entre as safras 2015/16 e 2016/17, houve um crescimento de 16,3% na produtividade média brasileira de arroz. Um dos motivos desse incremento é o fato da queda em área de plantio de arroz de terras altas e aumento do plantio em áreas de arroz irrigado, que, por sua vez, apresenta produtividades médias mais elevadas, devido ao manejo e tecnologias estarem mais avançadas. Na safra 2017/18, com o respectivo aumento, a média brasileira alcançou a produtividade de 7.513 kg ha⁻¹.

Entre os anos de 1966 e 2000, a densidade populacional de países de baixa renda aumentou em cerca de 90%, entretanto, o aumento na produção mundial de arroz foi na ordem de 130%, passando da produção de 257 para mais de 600 milhões de toneladas. (Khush, 2005). Os avanços na produção de arroz no Brasil e no mundo ocorreram graças aos avanços tecnológicos da revolução verde, como por exemplo, melhoramento genético

de cultivares adaptadas e responsivas a manejos tecnológicos; desenvolvimento do manejo de irrigação e; uso intensivo de fertilizantes inorgânicos e insumos químicos. No entanto, a população de países consumidores de arroz continua aumentando. Estima-se que será necessário produzir aproximadamente 20% a mais de arroz para suprir a demanda populacional em 2030 (Khush, 2005). Portanto, o desafio é desenvolver novas estratégias para aumentar a produtividade e produção de arroz de forma econômica e ambientalmente sustentável, sem necessitar da abertura de novas áreas de cultivo, reduzindo o uso de insumos químicos, como fertilizantes e agrotóxicos, e consequentemente minimizando o impacto negativo que estes exercem sobre o meio ambiente.

2.2 MICRORGANISMOS BENÉFICOS

As espécies vegetais, para crescerem e se desenvolverem, necessitam do solo como substrato para obtenção de água, oxigênio e nutrientes. Para essa absorção, as plantas contam com o auxílio de microrganismos presentes no solo que se localizam na rizosfera (região de poucos milímetros de solo em torno das raízes). Segundo Gray & Smith (2005) em torno de 7% a 15% da superfície total das raízes são ocupadas por células microbianas. Na região da rizosfera é encontrado um ecossistema complexo, com diversidade de organismos, como, bactérias, fungos, oomicetos, nematoides, protozoários, algas vírus e artrópodes (Graças et al., 2015). A presença dessa grande diversidade de microrganismos na região da rizosfera desperta interesse para o estudo da relação existente entre plantas-microrganismos. Portanto, além de microrganismos que são maléficos para as plantas, como, fungos fitopatogênicos, oomicetos, bactérias e nematoides (Mendes et al., 2013), há os microrganismos benéficos à sanidade e crescimento das plantas. Estes são classificados como: bactérias fixadoras de nitrogênio, fungos micorrízicos, rizobactérias promotoras de crescimento vegetal (RPCV), organismos de controle biológico, fungos micoparasíticos e protozoários (Graças et al., 2015). Todos esses microrganismos benéficos merecem atenção e pesquisas agronômicas, pois, eles representam alternativa importante e sustentável para melhorar o desempenho de espécies vegetais e, consequentemente garantir a segurança alimentar da população mundial de forma ambientalmente correta.

2.2.1 Rizobactérias promotoras de crescimento vegetal

Rizobactérias promotoras de crescimento vegetal (RPCV) são bactérias de solo que, colonizam as raízes e possuem capacidade de promover o crescimento de plantas (Kloepper & Schroth, 1978). Porém, há algumas controvérsias com relação à classificação desses microrganismos. Por exemplo, Oliveira (2003) considera RPCV, organismos que promovem o crescimento vegetal sem atuar intracelularmente, ou seja, seriam rizobactérias as bactérias de vida livre ou rizosféricas endofíticas. Já os autores Gray e Smith (2005), classificaram as RPCVs em dois tipos: **iPGPR** (*Plant growth promoting rhizobacteria*) - bactérias que residem dentro das células das plantas, produzindo nódulos, estruturas especializadas na fixação de nitrogênio em leguminosas. As espécies pertencentes ao gênero *Rhizobium* são as mais estudadas deste grupo, mas existem outros gêneros bacterianos em solos que pertencem a essa categoria, tais como *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium*, *Mesorhizobium* e *Allorhizobium*; e **ePGPR** - bactérias que se desenvolvem extracelularmente nos tecidos das raízes de diversas plantas, não produzindo nódulos, mas com capacidade de promover o crescimento vegetal através da produção de sinais ou substâncias específicas. Podem ser incluídas nesta categoria as bactérias dos gêneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Serratia* e *Burkholderia*. Portanto, para estes autores, tanto bactérias que agem intra ou extracelularmente são consideradas rizobactérias. Outra definição interessante e que representa bem essa classe de microrganismos é proposta por Wilson (1995), este autor define o termo endofítico: bactérias ou fungos que invadem completamente tecidos vegetais durante todo ou parte do seu ciclo vital, causando infecções não aparentes e assintomáticas, sem apresentar patogenicidade.

O carbono é um elemento fundamental para o crescimento de microrganismos. As plantas secretam compostos contendo esqueletos de carbono na região da rizosfera, esses são recrutados pelos microrganismos para se multiplicarem e colonizarem o ambiente (Graças et al., 2015). Essa relação benéfica propicia alta densidade de microrganismos próximos às raízes, chamado de “efeito rizosfera” (Raaijmakers et al., 1995). Porém, sabe-se que a diversidade microbiana na região rizosférica é menor que em outras partes do solo, isso indica que a diversidade microbiana pode ser regulada pela planta, através dos tipos de compostos secretados que atrairia e/ou repeliria diferentes espécies de microrganismos (Oliveira, 2003), demonstrando, assim, certo grau de especificidade entre a

interação planta-microrganismo. Essas interações específicas refletem na coevolução e na seleção natural (Graças et al., 2015)

Esses microrganismos apresentam capacidade de atuar na promoção de crescimento vegetal de forma direta e indireta. Diretamente, proporcionam benefícios como, fixar nitrogênio atmosférico, solubilizar nutrientes minerais como fósforo, produzir sideróforos que solubilizam e absorvem ferro, ou, produzir reguladores de crescimento de plantas (hormônios vegetais). Indiretamente, atuam em condições limitadas, na presença de um patógeno que restringe o crescimento da planta, através da produção de substâncias antagônicas ou por indução de resistência a patógenos (Glick et al., 1995), ilustrado na Figura 2.

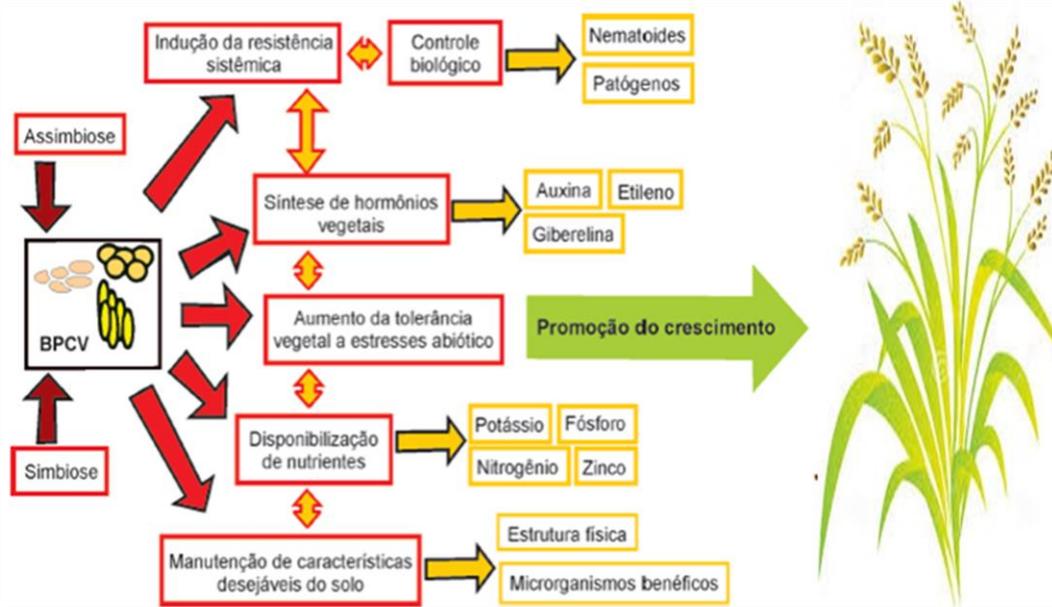


Figura 2: Efeitos diretos e indiretos de ação das RPCV influenciando promoção de crescimento. Adaptado de Graças et al. (2015).

Caracterizando a indução de crescimento vegetal direta, alguns grupos bacterianos produzem hormônios vegetais como Ácido indolacético (AIA), que induz o crescimento e desenvolvimento celular de regiões meristemáticas; Citocininas, que reduz a senescência de órgãos vegetais, mantendo o metabolismo fotossintético ativo por mais tempo e Giberelinas, que induz o alongamento celular, quebra de dormência e desenvolvimento de primórdios foliares e frutos (Taiz et al., 2017). Ainda com relação ao estímulo direto, RPCV solubilizam fósforo e produzem sideróforos (Spaepen et al., 2009; Ahemad & Kilbret, 2014), melhoram processos fisiológicos de trocas gasosas (Nascente et al., 2017; Sousa et al., 2018) e absorção de nutrientes em plantas (Nascente et al., 2017).

Indiretamente, as RPCV promovem o crescimento de plantas, produzindo substâncias antagônicas, ou induzindo a resistência de plantas na presença de patógenos (Glick et al., 1995). Competição por nutriente e espaço também está associada ao crescimento indireto, pois, a ocupação por sítios de colonização e competição por nutrientes pelos três elementos essenciais para a maioria dos fitopatógenos (carbono, nitrogênio e ferro) representa efeito de controle biológico (Vieira Júnior et al., 2013). As RPCV possuem moléculas na sua constituição celular, tais como flagelina (proteína constituinte de flagelos) e os lipossacarídeos (LPS, constituintes da membrana celular) (Kaschuk et al., 2010). Esses componentes como flagelina e LPS são reconhecidos pelas plantas como ativadores de metabolismo vegetal, que sinaliza a produção de jasmonatos ou etileno. Esses sinais translocam-se até sítios distantes do local de sua gênese, e ativam genes que codificam síntese de compostos de resistência contra fitopatógenos (Di Piero et al., 2005).

Vários gêneros bacterianos estão sendo estudados e relatados como RPCV. De acordo com Melo & Azevedo (1998); Kamensky et al. (2003); Lima et al. (2014); Rêgo et al. (2014) e Sahoo et al. (2014), as espécies mais estudadas compreendem os gêneros *Agrobacterium*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Arhtrobacter*, *Serratia*, entre outras. A associação entre RPCV e plantas que resultaram em promoção do crescimento, sem suplementação de adubação nitrogenada, e ou diminuindo a supressão de patógenos, estão descritas por diversos autores em diversas culturas, como trigo (Souza et al., 2005); milho (Dartora et al., 2013); cana-de-açúcar (Rampazzo, 2013); feijão (Martins, 2013) e soja (Braga Junior et al., 2018).

A associação de RPCV também vem sendo estudadas com sucesso na cultura do arroz, tanto em genótipos de arroz de terras altas, como cultivares irrigadas. Estudos conduzidos na Embrapa Arroz e Feijão, sobre o uso de promotores de crescimento e indutores de resistência de plantas de arroz, selecionaram seis isolados de rizobactérias promissoras para estimular o crescimento em plantas de arroz: *Bacillus* sp. (BRM32109 e BRM32110); *Pseudomonas fluorescens* (BRM32111); *Pseudomonas* sp. (BRM32112); *Burkholderia pyrrocinia* (BRM32113) e *Serratia* sp. (BRM32114), as quais se destacaram principalmente no incremento da produção de biomassa, aumento em taxas fotossintéticas, absorção de nutrientes e na resistência a doenças (Silva et al., 2010; Filippi et al., 2011; França et al., 2015; Nascente et al., 2017).

Avaliando três formas diferentes de aplicação de RPCV em plantas de arroz (microbiolização de sementes, microbiolização + rega e microbiolização + pulverização), Nascente et al. (2017) observaram que, em geral, as três formas apresentam resultados semelhantes, e que, plantas tratadas com os microrganismos apresentam melhores taxas fotossintéticas, maior acúmulo de nutrientes e maior produção de biomassa seca da parte aérea. Souza-Júnior et al. (2010) evidenciaram que plantas de arroz irrigado tratadas com os isolados de *Pseudomonas synxantha* e *Bacillus* sp. apresentaram aumento médio de 70% da área foliar e supressão média de 37% de queima da bainha, assim como Sperandio et al. (2017) observaram redução da severidade de brusone foliar em plantas e maior comprimento radicular em plântulas tratadas com *Serratia* sp. e *Bacillus* sp. Os estudos desses autores confirmam o potencial dessas RPCV induzindo o crescimento de plantas de arroz, seja através de mecanismos diretos e/ou indiretos.

Apesar dos bons resultados apresentados entre a interação RPCV-plantas de arroz, ainda há poucos estudos sobre o uso desses microrganismos na cultura do arroz irrigado. Ainda nesse sentido, segundo Mendes et al. (2018) esses microrganismos agem de maneira diferenciada em diferentes culturas agrícolas e até mesmo em diferentes cultivares dentro de uma mesma espécie. Portanto, é importante novos estudos para elucidar as alterações (fisiológicas e/ou morfológicas) que esses microrganismos causam em genótipos de arroz irrigado. Podendo assim, utilizar-se dessa tecnologia para aumentar a produtividade e produção dessa importante cultura, de maneira ecologicamente correta.

2.2.2 *Trichoderma* spp. e o crescimento vegetal

Assim como as RPCV descritas acima, algumas espécies de fungos também apresentam potencial em promover crescimento em plantas. O *Trichoderma* é um fungo hemibiotrófico eficaz no controle de inúmeros fitopatógenos. Esse gênero é classificado como Deuteromiceto, classe Sordariomycetes, ordem Hypocreales, família Hypocreaceae (Souza, 2014). O *Trichoderma asperellum* é um fungo nativo de solos, que habita matéria orgânica e árvores em decomposição, podendo ser encontrado em qualquer ecossistema. Portanto, seu uso como potencial agente de biocontrole não interfere no equilíbrio ecológico (Jesus et al., 2011). Por ser inofensivo à saúde humana, possuir estruturas de reprodução de fácil propagação e diminuir o impacto negativo ao meio ambiente, o fungo *T. asperellum* tem sido bastante utilizado na agricultura (Chet et al., 1998). Segundo Benitz et al. (2004) algumas espécies de fungos pertencentes ao gênero *Trichoderma* spp. podem

se associar a raízes de plantas, por métodos similares à fungos micorrizicos e, ao penetrar induz a produção de substâncias antimicrobianas, resultando na indução de resistência a diversos fitopatógenos.

Espécies do gênero *Trichoderma* spp. estão entre os antagonistas mais estudados no mundo, pois, além de serem encontradas naturalmente em quase todos os tipos de solo, agem contra fitopatógenos por diferentes mecanismos de ação como, antibiose, micoparasitismo, produção de enzimas degradadoras de parede celular (quitinases), competição por nutrientes e substrato, promoção do crescimento das plantas e indutores de resistência contra diversos patógenos, com efeitos benéficos para as plantas (Vinale et al. 2008, Sousa et al. 2018). Parasitismo é um dos principais modos de ação, se destaca pela objetividade, pois, consiste simplesmente na utilização do fitopatógeno como alimento para o antagonista. Espécies do fungo *Trichoderma* spp. possuem habilidade de crescer em direção ao outro fungo (fitopatogênico), se envolver nas hifas do fungo alvo e degradar a sua parede celular pela secreção de enzimas líticas, como quitinases, celulases, glucanases e proteases (Silva & Mello, 2007).

Algumas espécies do gênero *Trichoderma* spp. agem promovendo o crescimento de espécies vegetais, favorecendo o melhor desenvolvimento de raízes através da secreção de hormônios vegetais, conseqüentemente, permitindo que a planta aumente a sua massa radicular e melhore a assimilação e absorção de nutrientes e água (Harman et al., 2004). Em condições de campo, Harman et al. (1991) trataram espécies de plantas cultivadas com isolados de *Trichoderma harzianum*, e obtiveram o aumento do crescimento radicular em 31% e 60% para milho e algodão, respectivamente. O maior desenvolvimento radicular nas plantas, em função da inoculação com microrganismos benéficos, como por exemplo, fungos do gênero *Trichoderma*, além de melhorar a absorção e assimilação de água e nutrientes, confere maior tolerância a estresses como salinidade, o que em ambientes desfavoráveis resulta em plantas mais vigorosas e produtivas (Hungria, 2011). Ainda nesse sentido, Doni et al. (2013) relataram a habilidade de algumas espécies de *Trichoderma* em produzir enzimas solubilizadoras de fosfato e produzir moléculas de sideróforos.

Estudos realizados na Universidade Federal Rural da Amazônia testaram e selecionaram isolados de fungos nativos de mata preservada como promotores de crescimento e agentes de biocontrole, em casa de vegetação e em condições de campo. Quatro isolados do fungo *Trichoderma asperellum* (UFRA.T06, UFRA.T09, UFRA.T12, UFRA.T52) foram selecionados (Figura 3) (França et al., 2012).

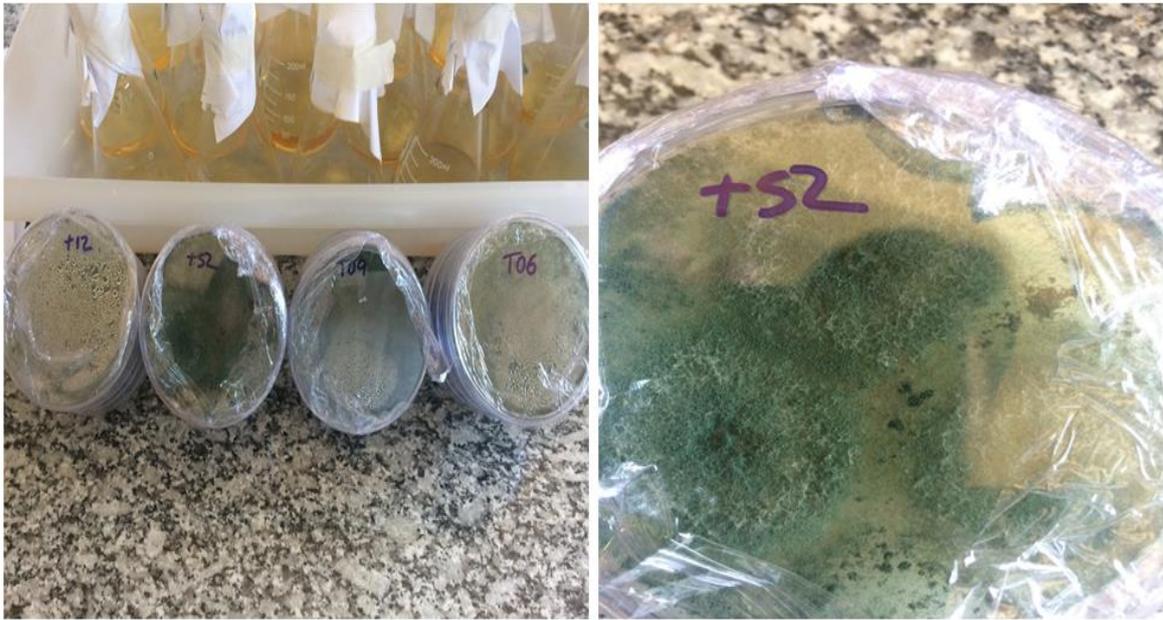


Figura 3: Isolados de *T. asperellum* avaliados e selecionados em casa de vegetação e campo para promoção de crescimento e biocontrole de patógenos em plantas de arroz.

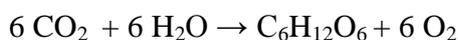
Souza (2014) constatou que a microbiolização de sementes de arroz (BRS Primavera) com o *pool* de isolados de *T. asperellum* produziu em média 45,6% a mais de biomassa em plantas de arroz (BRS Primavera) em comparação com o tratamento sem microrganismo. Além disso, esses isolados, usados em conjunto para microbiolização de sementes de arroz, tanto em genótipos de terras altas quanto de irrigado, melhoraram a características de trocas gasosas, produção de biomassa, absorção de nutrientes e supressão de brusone foliar causada por *Magnaphorte oryzae* (Souza, 2014; Nascente et al., 2017; Sperandio et al., 2017; Sousa et al., 2018). Doni et al. (2014) investigando o desempenho de plantas de arroz irrigado, constataram que plantas tratadas com isolados de *Trichoderma* spp. apresentaram diversas mudanças em avaliações fisiológicas, como, taxa fotossintética, condutância estomática, concentração interna de CO₂, além de, melhorar componentes de crescimento, como, altura de plantas, número de perfilhos, comprimento radicular e biomassa de parte aérea.

Mesmo com os bons resultados apresentados na literatura sobre o crescimento, desenvolvimento e biocontrole através da supressão do patógeno causador de brusone foliar em plantas de arroz, ainda há poucos estudos sobre o uso desses bioagentes na cultura do arroz irrigado. Portanto, tornam-se necessários novos estudos para elucidar os benefícios que a interação entre *T. asperellum*-arroz irrigado causam na promoção do crescimento, bem como caracterizar as alterações (fisiológicas e/ou morfológicas) que

esses microrganismos causam em genótipos de arroz irrigado. Podendo, assim, recomendar e difundir o uso dessa tecnologia a campo, para aumentar a produtividade e produção da cultura do arroz irrigado.

2.3 TROCAS GASOSAS

A vida na terra depende dos processos fisiológicos realizados por espécies vegetais. A fotossíntese é considerada um dos processos fisiológicos das plantas de maior importância para manutenção da vida na terra. O termo fotossíntese significa, literalmente, “síntese utilizando luz”. Organismos fotossintetizantes utilizam energia luminosa para impulsionar a síntese de carboidratos e a liberação de oxigênio a partir de dióxido de carbono e água (Taiz et al., 2017):



Os componentes fisiológicos de fotossíntese em plantas podem ser avaliados por: taxa líquida fotossintética ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); taxa transpiratória ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) (Doni et al., 2014). Esse conjunto de parâmetros é também conhecido como processo de trocas gasosas. Ou seja, ao passo que os vegetais capturam CO_2 atmosférico (substrato para síntese de carboidratos) perdem água na forma de vapor para a atmosfera por meio dos estômatos.

Os principais fatores que afetam o metabolismo fotossintético, conseqüentemente as trocas gasosas em espécies vegetais são: disponibilidade hídrica, que controla diretamente abertura e fechamento estomático, conseqüentemente, afeta a perda de vapor de água e entrada de CO_2 ; luminosidade, que fornece energia na forma de elétrons para a síntese dos esqueletos de carbono; temperatura, que está relacionada com a velocidade de reações enzimáticas e também abertura e fechamento estomático e; fatores fisiológicos inerentes à planta, como, mecanismo de fixação de carbono (C3, C4 ou CAM), idade da folha, variação em taxa respiratória, entre outros (Dwyer & Stewart, 1986; Stirling et al., 1994).

Em geral, maiores taxas fotossintéticas em plantas é observada durante o estágio reprodutivo (floração) e/ou de crescimento linear de grãos (maturação) em relação ao crescimento vegetativo, em função de maior demanda dos drenos (Dwyer & Stewart, 1986; Dwyer et al., 1989; Machado et al., 1994); como também há relatos de que a máxima

fotossíntese é atingida ao redor de uma semana após a expansão máxima da folha bandeira em plantas de arroz (Dwyer et al., 1989).

Além dos componentes de trocas gasosas citados acima, há também como determinante do processo, a eficiência instantânea de carboxilação [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$], que, pode ser calculada pela razão entre taxa fotossintética e concentração interna de CO_2 . A eficiência de carboxilação é uma estimativa da atividade da enzima Rubisco em plantas que possuem mecanismo de fixação de CO_2 tipo C3, como no caso do arroz. Em condições de baixa concentração do dióxido de carbono, essas plantas sofrem limitação na difusão do gás pelos estômatos e mesófilo (Figura 4), com conseqüente diminuição da taxa fotossintética líquida, diminuição da produção de fotoassimilados e queda no rendimento de grãos (Galmés et al., 2011). Com isso, considera-se que o atributo eficiência instantânea de carboxilação, além de taxa líquida fotossintética, é uma importante ferramenta na determinação da adaptação e resposta de plantas a determinadas tecnologias, isto porque o aumento no crescimento (e o conseqüente acréscimo na produtividade) das plantas pode estar relacionado à elevação na atividade bioquímica da fotossíntese.

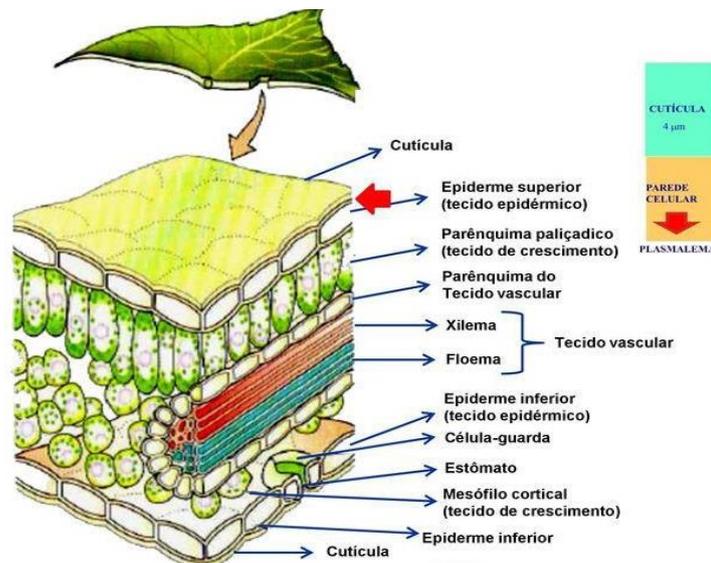


Figura 4: Corte transversal de uma folha demonstrando células do mesófilo, onde o CO_2 deve difundir-se até chegar às regiões das organelas fotossintetizantes (cloroplastos ilustrados em verde). Adaptado de Taiz et al. (2017).

O uso de microrganismos benéficos em plantas de arroz (rizobactérias e fungos do gênero *Trichoderma* spp.) tem sido relatado por diversos autores melhorando os processos bioquímicos de trocas gasosas. Doni et al. (2014); Souza (2014); Nascente et al. (2017) e Sousa et al (2018) demonstraram em seus estudos que, maiores taxas fotossintéticas, maior acumulação de CO_2 nas células do mesófilo e maior atividade bioquímica por parte da

enzima Rubisco, é indicativo de maior promoção de biomassa e conseqüentemente maior rendimento de grãos de arroz. Portanto, a atividade bioquímica da fotossíntese, potencializada por fatores bióticos como a introdução de microrganismos benéficos no sistema de cultivo, pode aumentar o rendimento de culturas como o arroz, de maneira sustentável ambientalmente.

2.4 NUTRIÇÃO DE PLANTAS

A nutrição mineral de plantas tem por objetivo estabelecer quais são os elementos essenciais para o ciclo de vida das plantas, como estes são absorvidos, translocados e acumulados, além de, estudar suas funções, exigências e distúrbios que estes causam quando em deficiência ou excesso. O conhecimento atual do conceito de nutrição mineral de plantas é historicamente recente (Prado, 2008). Resumidamente, os primeiros conceitos eram de que a matéria orgânica era a fonte de carbono absorvida pelas plantas. Durante um bom tempo isso prevaleceu como sendo a “teoria do húmus”. No século XIX, o químico Justus Von Liebig, considerado o “pai da nutrição de plantas”, estabelecia em uma publicação (1840), desmistificando a “teoria do húmus”, que os alimentos de todas as plantas eram obtidos a partir de substâncias inorgânicas ou minerais. A partir daí, houve um grande avanço no conhecimento (Prado, 2008).

Na natureza é comum as plantas absorverem os elementos químicos disponíveis sem grandes restrições, podendo esses ser, nutriente, elemento benéfico e/ou tóxico (Meurer, 2007). Quanto ao nutriente, esse é definido como sendo um elemento essencial às plantas, ou seja, sem ele a planta não vive. Portanto, para que um elemento seja considerado nutriente é preciso atender a dois critérios de essencialidade (direto e indireto), que foram propostos por Arnon & Stout (1939). Critério direto: o elemento participa de algum composto ou de alguma reação sem a qual a planta não vive; e Critério indireto: na ausência do elemento a planta não completa seu ciclo de vida; o elemento não pode ser substituído por nenhum outro; e o elemento deve ter efeito direto na vida da planta, e não somente na sua presença, amenizar ou neutralizar efeitos físicos, químicos ou biológicos desfavoráveis ao vegetal.

Atualmente, a literatura mundial considera 16 elementos químicos como nutrientes de plantas, são eles: carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B), cloro (Cl) e molibdênio (Mo). Os nutrientes são importantes

porque desempenham funções significativas no metabolismo, seja como substrato (composto orgânico), seja como sistemas enzimáticos. De maneira sucinta, essas funções foram resumidas por Malavolta et al. (1997) como: Estrutural (faz parte da estrutura específica de qualquer composto orgânico vital para a planta); Constituinte de enzimas (faz parte de uma estrutura específica, grupo prostético/sítio ativo de enzimas); e Ativador enzimático (não faz parte da estrutura), mas, não só ativa, como também inibe sistemas enzimáticos, afetando assim a velocidade de reações no metabolismo vegetal. Segundo Prado (2008), embora os nutrientes sejam igualmente importantes para a planta, existe uma classificação baseada na proporção em que aparecem na matéria seca dos vegetais. Sendo eles, macronutrientes: absorvidos ou exigidos pelas plantas em grandes quantidades, N, P, K, Ca, Mg e S (expresso em g kg⁻¹); e micronutrientes: absorvidos ou exigidos pelas plantas em menores quantidades, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Cl e Mo (expresso em mg kg⁻¹).

É importante também o conhecimento da mobilidade do nutriente no interior do vegetal, pois, isso auxilia a diagnose visual de deficiência nutricional. Resumidamente, nutrientes móveis na planta (N, P, K, Mg e Cl) apresentam sintomas em folhas velhas, e nutrientes pouco móveis (S, Zn, Cu, Mn, Fe e Mo) ou imóveis (Ca e B) em brotos e folhas novas. Quanto às funções, resumidamente, Epstein & Bloom (2006) dividem os nutrientes da seguinte forma: nutrientes que são elementos integrais de compostos orgânicos, N e S; nutrientes estruturalmente associados com a parede celular, Ca e B; nutriente para aquisição e utilização de energia, P; nutrientes que são compostos integrais de enzimas essenciais no metabolismo, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu e Mo; nutrientes que servem para ativar ou controlar a atividade de enzimas, K, Cl, Mg, Ca, Mn, Fe, Zn e Cu; e nutrientes que servem como agente osmótico, K⁺, NO₃⁻ e Cl⁻.

Nitrogênio é para a planta de arroz, um dos nutrientes de maior importância, sendo o segundo mais acumulado, ficando atrás somente do K. Esse nutriente é considerado um dos principais limitantes de produtividade de arroz irrigado, pois, suas transformações no solo são bastante dinâmicas e, pode levar a processos de perdas, como, volatilização, lixiviação, desnitrificação e erosão (Fageria et al., 2007). Além de N, alguns micronutrientes como Mn, Cu e Zn merecem atenção em cultivo de arroz irrigado, pois, esses têm sua disponibilidade restringida em solos anaeróbicos. O solo em processo de redução consome elétrons e íons H⁺, portanto, a inserção de lâmina de irrigação no solo causa elevação no pH. Segundo Gonçalves (2016) de duas a três semanas após o alagamento do solo e elevação do pH, os valores se estabilizam e mantêm constante entre

6,5 a 7,5. Valores de pH entre 6,5 e 7,5 diminuem a disponibilidade de alguns micronutrientes. A solubilidade de Mn absorvido pela planta diminui em 100 vezes a cada ponto de aumento no pH, assim como, Zn e Cu também tem sua presença reduzida na solução do solo após a elevação do pH (Abreu et al., 2007).

De maneira geral, para maximizar a produção agrícola, é importante conhecer a exigência nutricional das plantas em termos quantitativos e qualitativos, em todos os estádios de crescimento/desenvolvimento. Ressalta-se que cada cultura apresenta uma exigência nutricional específica e que outras tecnologias, como uso de microrganismos benéficos, podem ser usadas para substituir em parte o uso de fertilizantes inorgânicos e reduzir o impacto negativo ao meio ambiente.

2.5 REFERÊNCIAS

- ABREU, A. G. de.; OLIVEIRA, J. P. de. Botânica e desenvolvimento fenológico da planta. In: BORÉM, A.; RANGEL, P. H. N. **Arroz do plantio a colheita**. 1. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. cap. 2, p. 27-42.
- ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARULLI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. 1. ed. Viçosa, MG, 2007. cap. 11.
- AHEMAD, M.; KIBRET, M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. **Journal of King Saud University**, v. 26, p. 1-20, 2014.
- ALVAREZ, R. C. F.; CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S.; RODRIGUES, D. J.; HABERMANN, G. Gas exchanges rates, plant height, yield componentes, and productivity of upland rice as affected by plant regulators. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 1455-1461, 2012.
- 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.
- BENITEZ, T.; RINCON, A. M.; LIMON, M. C.; CODON, A. C. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. **International Microbiology**, v. 7, n. 4, p. 249-260, dez. 2004.
- BORÉM, A.; RANGEL, P.H.N. **Arroz do plantio à colheita**. 1. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. 242p.
- BRAGA JUNIOR, G. M.; CHAGAS, L. F. B.; AMARAL, L. R. O.; MILLER, L. O.; CHAGAS JUNIOR, A. F. Efficiency of inoculation by *Bacillus subtilis* on soybean biomass and productivity. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 4, 2018.
- CHET, I.; BENHAMOU, N.; HARAN, S. Mycoparasitism and lytic enzymes. In: Harman, G.E. & Kubicek, C.P. (Eds.) *Trichoderma and Gliocladium*. Vol 2. **Enzymes, biological control**, and commercial applications. Taylor & Francis, London. 153–172. 1998.
- COMPANHIA NACIONAL de ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v. 4, p. 1-161, 2016.
- COMPANHIA NACIONAL de ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v. 12, p. 1-148, 2018.
- COMPANT, S.; DUFFY, B.; NOWAK, J.; CLEMENT, C.; BARKA, E. A. Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future prospects. **Applied Environmental Microbiology**, v. 71, p. 4951-4959, 2005.

COUNCE, P. A.; KEISLING, T.C; MITCHELL, A.L. A uniform and adaptative system for expressing rice development. **Crop Science**, v. 40, p. 436-443, 2000.

DARTORA, J.; GUIMARÃES, V.F.; MARINI, D.; SANDER, G. Adubação nitrogenada associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae* na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p.1023-1029, 2013.

DI PIERO, R. M.; GARCIA, D.; TONNUCCI, N. M. Indutores bióticos. In: CAVALCANTI L. S.; DI PIERO R. M.; CIA P.; PASCHOLATI S. F.; RESENDE M. L. V.; ROMEIRO R. S. (Org.). **Indução de Resistência em Plantas a Patógenos e Insetos**. Piracicaba: FEALQ., v. 1, p. 29-50, 2005.

DONI, F.; AL-SHORGANI, N. K. N.; TIBIN, E. M. M.; ABUEKHASSAN, N. N.; ANIZAN, I.; CHE RADZIAH, C. M. Z.; YUSOFF, W. M. W. Microbial involvement in growth of paddy. **Curr Res J Biol Sci**, v. 5, p. 285-290, 2013.

DONI, F.; ISAHAK, A.; ZAIN, C. R. C. M.; YUSOFF, W. M. W. Physiological and growth responses of rice plants (*Oryza sativa* L.) to *Trichoderma* spp. inoculants. **AMB Express**, v. 4, p. 45-52, 2014.

DWYER, L.M.; STEWART, D.W. Effets of leaf age and position on net photosynthesis rate in maize. **Agricultural and Foresty Meteorology**, v. 37, p. 29-46, 1986.

DWYER, L.M.; STEWART, D.W.; BAICHIN, D.; HOUWING, L.; MARUR, C.J.; HAMILTON, R.I. Photosynthesis rates of six maize cultivars during development. **Agronomy Journal**, v. 81, p. 597-602, 1989.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2006.

EVANS, L. T.; VISPERAS, R. M.; VERGARA, B. S. Morphological and physiological changes among rice varieties used in the Philippines over the last seventy years. **Field Crops Research**, Amsterdan, v. 8, n. 1, p. 105–124, 1984.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; CUTRIM, V. A. Produtividade de arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciadas pela fertilização nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p.1029-1034, 2007.

FAGERIA, N. K.; WANDER, A. E.; SILVA, S. C. Rice (*Oryza sativa*) cultivation in Brazil. **Indian Journal of Agronomy**, v. 59, p. 350-358, 2014.

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

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.
Statistical Pocketbook World and agriculture. Roma, 2018. 254 p.

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

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

FRISON, C.; LÓPEZ, F.; ESQUINAS-ALCAZAR, J. Plant Genetic Resources and Food Security: Stakeholder Perspectives on the International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations. New York: **Biodiversity International and Earthscan**, 2012

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.

GHOLAMALIZADEH, R.; KHODAKARAMIAN, G.; EBADI, A. A. Assessment of rice associated bacterial ability to enhance rice seed germination and rice growth promotion. **Brazilian Archives of Biology and Technol**, v. 60, e17160410, 2017.

GONÇALVES, G. de M. O. **Atributos químicos do solo de várzea tropical cultivado com arroz irrigado em razão do manejo de nitrogênio.** 2016. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solo e água) – Programa de Pós Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Goiânia, 2016.

GRAÇAS, J. P.; RIBEIRO, C.; COELHO, F. A. A.; CARVALHO, M. E. A.; CAMARGO e CASTRO, P. R. de. Microrganismos estimulantes na agricultura. **Série produtor rural - nº 59.** Piracicaba: USP, 2015. 61p.

GRAY, E.; SMITH, D. Intracellular and extracellular PGPR: commonalities and distinctions in the plant–bacterium signaling processes. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, n. 3, p. 395-412, 2005.

GLICK, B. R.; PATTEN, C. L.; HOLGUIN, G.; PENROSE, D. M. **Biochemical and genetic mechanisms used by plant growth-promoting bacteria.** London: Imperial College Press, 1995.

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

HARMAN, G.E.; JIN, X.; STASZ, T.E.; PERUZZOTTI, A.; LEOPOLD, A.C.; TAYLOR, A.G. Production of conidial biomass of *Trichoderma harzianum* for biological control. **Biological Control**, 1: 23-28, 1991.

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

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

JESUS, E. P. de.; SOUZA, C. H. E. de.; POMELLA, A. W. V.; COSTA, R. L. da.; SILVA, L. R. S. B. da. Avaliação do potencial de *Trichoderma asperellum* como condicionador de substrato para a produção de mudas de café. **Cerrado Agrociências**, Patos de Minas, v. 2, p. 7-19, 2011.

KAMENSKY, M.; OVADIS, M.; CHET, I.; CHERNIN, L. Soil-borne strain IC14 of *Serratia plymuthica* with multiple mechanisms of antifungal activity provides biocontrol of *Botrytis cinerea* and *Sclerotinia sclerotiorum* diseases. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 35, n. 2, p. 323-331, 2003.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biol Biochem**, n. 42, p. 1-13, 2010.

KENNEDY, G.; BURLINGAME, B. Analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective. **Food Chemistry**, v. 80, p. 589-596. 2003

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.

KLOEPPER, J. W.; SCHROTH, M. N., Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. In: **Proceedings of the 4th international conference on plant pathogenic bacteria**, 1978. p. 879-882.

LIMA, O. D. D. R.; DOS SANTOS, M. S. B.; RODRIGUES, A. A. C. Ação antifúngica *in vitro* de isolados de *Bacillus* sp. sobre *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 4, p. 57-64, 2014.

MACHADO, E.C.; LAGÔA, A.M.M.A.; TICELLI, M.; AZZINI, L.E.; TISSELLI FILHO, O. Fotossíntese e crescimento de panículas de arroz de sequeiro (*Oryza sativa* L.). **Revista Brasileira de Botânica**, v. 17, p. 37-43, 1994.

MACLEAN, J. L.; DAWE, D. C.; HARDY, B.; HETTEL, G. P. **Rice almanac**. 3. ed. Wallingford, Oxon: CABI Publishing, 2002. 258p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações*. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

MARTINS, S.A. Desenvolvimento do feijão-comum tratado com *Bacillus subtilis*. **Dissertação**. Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2013.

MATTOS, M.L.T. **Impacto ambiental**. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/IMPACTO+AMBIENTAL_000fx7s102v02wyiv80u5vcsv015egze.pdf. Acesso em: 28 de jul. 2017.

MELO, I. S.; AZEVEDO, J. L. **Controle biológico**. Jaguariuna, SP: Embrapa-CNPMA, v. 1, 1998, 262 p.

MENDES, L. W.; RAAIJMAKERS, J. M.; HOLLANDER, M.; MENDES, R.; TSAI, S. M. Influence of resistance breeding in common bean on rhizosphere microbiome composition and function. **ISME Journal**, v.12, p.212-224, 2018.

MENDES, R.; GARBEVA, P.; RAAIJMARKERS, J. M. The rizhosphere microbiome: significance of plant beneficial, plant pathogenic and human pathogenic microorganisms. **Federation of European Microbiological Societies**, v. 37, p. 634-663, 2013.

MEUER, E. J. Fatores que influencia o crescimento e desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARULLI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. 1. ed. Viçosa, MG, 2007. cap. 2.

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

PINHEIRO, B. S. Características morfofisiológicas da planta relacionadas à produtividade. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. (Eds.). **A cultura do arroz no Brasil**. 2a. ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p. 209-256.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. 1. ed. São Paulo: UNESP, 2008.

RAAIJMAKERS, J. M.; VAN DER SLUIS, I.; KOTSER, M.; BAKKER, P. A. H. M.; WEISBEEK, P. J.; SCHIPPER, B. Utilization of heterologous siderophores and rhizosphere competence of fluorescent *Pseudomonas* spp. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 41, p. 126-135, 1995.

RABARA, R. C.; FERRER, M. C.; JARA-RABARA, J. SOTTO, R. C. Securing diversity for food security: The case of conservation and use of rice genetic resources. **New vision in Plant Science**, 1. ed, 2018. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.77216>

RAMPAZZO, P.E. Interação entre rizobactérias e cana-de-açúcar sob diferentes condições de umidade do substrato: crescimento, fotossíntese e relações hídricas. **Dissertação**. Instituto Agronômico, Campinas-SP, 2013.

RÊGO, M. C. F.; ILKIU-BORGES, F.; FILIPPI, M. C. C.; GONÇALVES, L. A.; SILVA, G. B. Morphoanatomical and Biochemical Changes in the Roots of Rice Plants Induced by Plant Growth-Promoting Microorganisms. **Journal of Botany**, v. 2014, p. 10, 2014.

SAHOO, R. K.; ANSARI, M. W.; PRADHAN, M.; DANGAR, T. K.; MOHANTY, S.; TUTEJA, N. Phenotypic and molecular characterization of native *Azospirillum* strains from rice fields to improve crop productivity. **Protoplasma**, v. 251, n. 4, p. 943-953, 2014.

SILVA, J.B.T.; MELLO, S.C.M. **Utilização de Trichoderma no controle de fungos fitopatogênicos**. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2007.

SILVA, V. A. C.; SILVA, E. F.; 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, p. 1030-1037, 2010.

SILVA, O. F. **Árvore do conhecimento arroz**: estatísticas da produção. Agência Embrapa de informação tecnológica. 2014. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fe7457q102wx5eo07qw4xezy8czjj.html>>. Acesso: 22 nov. 2018.

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.

SOUZA JÚNIOR, I.T.; MOURA, A.B.; SCHAFER, J.T.; CORRÊA, B.O.; GOMES, C.B. Biocontrole da queima-das-bainhas e do nematoide-das-galhas e promoção de crescimento de plantas de arroz por rizobactérias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 11, p.1259-1267, 2010.

SOUZA, R.; SCHONS, J.; BRAMMER, S. P.; PRESTES, A. M.; SCHEEREN, P. L.; NICOLINI-TEIXEIRA, F. CECCHETTI, D.; LANZARINI, A. C. Efeito do Soil-borne wheat mosaic vírus sobre o metabolismo de cinco genótipos de trigo com diferentes níveis de resistência à doença. **Fitopatologia Brasileira**, v.30, n. 4, p. 400-403, 2005.

SOUZA, T. P.; SOUZA, A. C. A.; FILIPPI, M. C. C.; LANNA, A. C.; CORTÊS, M. V.; PINHEIRO, H. A.; SILVA, G. B. Bioagents and silicon promoting fast early upland rice growth. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 4, p. 3657-3668, 2018.

SPAEPEN, S.; VANDERLEYDEN, J.; OKON, Y. Plant growth-promoting actions of rhizobacteria. **Adv Bot Res**, v. 51, p. 284-320, 2009.

SPERANDIO, E. M.; VALE, H. M. M.; REIS, M. S.; CORTES, M. V. C. B.; LANNA, A. C.; FILIPPI, M. C. C. Evaluation of rhizobacteria in upland 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.

STIRLING, C. M.; AGUILERA, C.; BAKER, N. R.; LONG, S. P. Changes in the photosynthetic light response curve during leaf development of field grown maize with implications for modelling canopy photosynthesis. **Photosynthesis Research**, v. 42, p. 217-225, 1994.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

VIEIRA JÚNIO, J. R.; FERNANDES, C. F.; ANTUNES JÚNIOR, H.; SILVA, M. S.; SILVA, D. S. G.; SILVA, U. O. **Rizobactérias como agentes de controle biológico e promotores de crescimento**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2013.

VINALE, F. SILVASITHAMPARAM, K.; GHISALBERTI, E. L.; MARRA, R.; BARBETTI, M. J.; LI, H.; WOO, S. L.; LORITO, M. A novel role for *Trichoderma* secondary metabolites in the interactions with plants. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, v. 72, n. 1, p. 80-86, 2008.

WANDER, A. E.; FERREIRA, C. M.; GARAGORRY, F. L.; CHAIB FILHO, H.; RICARDO, T. R. Densidade da produção de arroz no mundo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5., 2007, Pelotas, RS. Anais. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, 2007. v. 2, p. 713-715.

WILSON, D. Endophyte - The evolution of a term, and classification of its use and definition. *Oikos*, v. 73, p. 274-276, 1995.

Áreas e subáreas do artigo: Arroz irrigado (09.08.01); Produção vegetal (15); Arroz (15.04.04); Microbiologia e bioquímica do solo (17.13).

3 Biomass production and gas exchange of lowland rice treated with beneficial microorganisms (Capítulo 1)

(Artigo submetido à revista científica Ceres)

ABSTRACT

Rice is considered staple food of the half of world population. Use of beneficial microorganisms may be an alternative to increase the sustainability of its production. The objective was to determine the effect of types and forms of microorganisms application in plant growth of tropical lowland rice, evaluated by measuring gas exchange and biomass production. The experiment in controlled conditions was performed in completely randomized design, in factorial scheme $7 \times 3 + 1$, with four replications. Treatments consisted of the combination of seven microorganisms: *Bacillus* sp. (BRM32109 e BRM32110); *Pseudomonas fluorescens* (BRM32111); *Pseudomonas* sp. (BRM32112); *Burkholderia pyrrocinia* (BRM32113); *Serratia* sp. (BRM32114) and *Trichoderma asperellum* pool (UFRA.T06 + UFRA.T09 + UFRA.T12 + UFRA.T52), with three application forms (microbiolized seed; microbiolized seed + soil irrigated with microorganism at eight and 15 days after sowing (DAS) and microbiolized seed + microorganism spray plant at eight and 15 DAS). The most efficient application form of microorganisms was microbiolized seed, which provided higher instantaneous carboxylation efficiency and dry shoot biomass production in lowland rice. Among the evaluated microorganisms, stood out BRM32114 followed by BRM32111, BRM32112 and *T. asperellum* pool, which, promoted an average increase of 17% in instantaneous carboxylation efficiency and 20% in dry shoot biomass production of lowland rice.

Key-words: *Oryza sativa*; microorganisms associated with rice; plant growth promoting rhizobacteria; sustainable development.

INTRODUCTION

Rice (*Oryza sativa* L.) is the staple food in 50% of the world countries and provides more than 20% of daily calories, being, therefore, socioeconomically one of the most important cultivated grain worldwide (IRRI, 2010; Borém & Rangel, 2015). In 2013, it was produced 745.71 million of rice tons in the world (FAO, 2015) and that production corresponded to the 3^a position on ranking of harvest of crop species, only sugarcane and corn had production higher than rice. In Brazil, the total area planted with rice is approximately 1.97 million of hectares, with production of 12 million of tons (CONAB, 2019).

Due to the growing demand for rice grain, one of the main concerns about this crop sustainability worldwide, including Brazil, is the intensive use of inputs such as synthetic fertilizers and agrochemicals, which negatively impact human health and environment (Compant et al., 2005). In this case, use of microbial inputs (alive microorganisms or their derivatives) such as inoculants has increased in the last years to ensure no or minor damage effects than chemicals (Gholamalizadeh et al., 2017).

Plants to grow and develop need soil, which presents a diverse microflora, including in the rhizosphere region. This region comprises a place of a few millimeters of contact between soil and plant roots, where inhabit pathogenic and non-pathogenic microorganisms, such as fungi, bacterial, virus and nematodes. Non-pathogenic microorganisms such as plant growth promoting rhizobacteria (PGPR), that is bacterial able of colonize root systems of plants and promoting its growth (Kloepper & Schroth, 1978). PGPR are epiphytic or endophytic residents and may act directly in hormones production able of inducing the elongation of root system (Spence et al., 2014), in enzymes

such as ACC-deaminase (Bal et al., 2013), in nutrient uptake (Giongo et al., 2013) and in increase of biomass production (Nascente et al., 2017a; 2017b). As acting indirectly, PGPR may exhibit antagonistic mechanisms against phytopathogens and phytonematodes, production of antagonist compounds and parasitism, besides of inducing the system of defense of host plants, which protect not only the roots, but also distant organs of those colonized by them (Babalola, 2010; Matilla et al., 2010).

In the last years, the use of products with microbial source in business agricultural has been increasing in importance, mainly due to three factors: 1) decreasing in resistant cultivars and chemical synthetics products efficiency due to selection of pests and pathogens resistant to these technologies, 2) demand of the society to process of sustainable production and for products free of chemical residues and 3) promising results of scientific research, that makes the products from microbial sources more competitive with the chemical synthetic products. Thus, several bacterial genera have already been investigated as growth promoted in plants: *Agrobacterium*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Arhtrobacter* and *Serratia* (Lima et al., 2014; Rêgo et al., 2014; Sahoo et al., 2014) and in several crops, such as wheat (Souza & Lopes, 2005), corn (Dartora et al., 2013), sugarcane (Rampazzo, 2013) and upland (Nascente et al., 2017a) or lowland rice (Nascente et al., 2017b).

Besides PGPR, some fungi also show beneficial actuation, as the case of *Trichoderma asperellum* (Doni et al., 2014). The potential of *Trichoderma* spp. as biocontrol agent has been known for more than 60 years and, many isolates are plant symbionts and may act in control of plant pathogens (Brotman et al., 2010). The species of genera *Trichoderma* are among the most studied antagonists worldwide, since they are found naturally in almost all kinds soils and act against phytopathogens by different mechanisms such as, antibiosis, mycoparasitism, cell wall degrading enzymes production,

nutrient and substrate competition, plant growth promotion and inducing plant resistance against several pathogens, with beneficial effects to the plants (Harman et al., 2004; Shoresh et al., 2005; Viterbo et al., 2005; Perazzolli et al., 2008; Vinale et al., 2008; Sousa et al., 2018).

The identification of beneficial microorganisms collected from upland rice rhizosphere (Filippi et al., 2011; Franca et al., 2015), could be promising for use in lowland rice cultivars. Research performed in greenhouse conditions showed that these microorganisms provided significant increases in gas exchange and biomass production of lowland rice cultivar BRS Catiana (Nascente et al., 2017a). Thus, there is a doubt if these beneficial microorganisms act of similar form in several cultivars inside of same crop specie. Apparently, the microorganisms act of different form in cultivars of the same species (Miethling et al., 2000; Mendes et al., 2018).

Additionally, despite the benefits provided by the use of beneficial microorganisms in agriculture, in Brazil and in the world, there are still few studies about the use of them in lowland rice crop. Therefore, this study aimed determine the effect of types and forms of beneficial microorganisms application in growth of tropical lowland rice plants cultivar BRS A702 CL, evaluated through gas exchange and biomass production.

MATERIAL AND METHODS

The experiment was carried out in a greenhouse at the Embrapa Rice and Beans research center, Santo Antônio de Goiás, GO, Brazil, between June and September of 2017. The soil used from arable layer (0 - 0.20 m) of a kaolinitic, thermic Typic Haplorthox (Santos et al., 2018) of with 377, 260 and 363 g kg⁻¹ of sand, silt and clay, respectively. The chemical characteristics of the soil were determined according to the methods described by Donagema et al. (2011). The results were: pH (H₂O) = 6.1; Ca²⁺ = 78.4 mmol_c dm³⁻¹; Mg²⁺ = 20.9 mmol_c dm³⁻¹; H⁺ + Al³⁺ = 12 mmol_c dm³⁻¹; P = 35.9 mg

dm^3^{-1} ; $\text{K}^+ = 203 \text{ mg dm}^3^{-1}$; $\text{Cu}^{2+} = 2.4 \text{ mg dm}^3^{-1}$; $\text{Zn}^{2+} = 2.9 \text{ mg dm}^3^{-1}$; $\text{Fe}^{3+} = 39 \text{ mg dm}^3^{-1}$; $\text{Mn}^{2+} = 28 \text{ mg dm}^3^{-1}$ and Organic matter = 24.7 g kg^{-1} .

Three weeks before sowing of lowland rice cultivar BRS A702 CL, pots with 7 kg capacity were completely filled with the soil and fertilized with 70 mg dm^{-3} of N (urea), 400 mg dm^{-3} de P_2O_5 (simple superphosphate) and 200 mg dm^{-3} de K_2O (potassium chloride). The moisture of soil, during all the experiment was monitored daily, where, the soil was kept saturated until the end of the vegetative stage (flag leaf formation on the main stem) and then inserted irrigation blade at 4 cm from the ground, maintained until the harvest of the experiment.

The experimental design was completely randomized in factorial scheme $7 \times 3 + 1$, with four replications. Treatments consisted of the combination of seven microorganisms: *Bacillus* sp. (BRM32109 e BRM32110); *Pseudomonas fluorescens* (BRM32111); *Pseudomonas* sp. (BRM32112); *Burkholderia pyrrocinia* (BRM32113); *Serratia* sp. (BRM32114) and *Trichoderma asperellum* pool (UFRA.T06 + UFRA.T09 + UFRA.T12 + UFRA.T52), with three application forms: microbiolized seed (s); microbiolized seed + soil irrigated with microorganism at eight and 15 days after sowing (DAS) (ss) and microbiolized seed + microorganism spray plant at eight and 15 DAS (sp). For the control treatment it was utilized water.

The bacterial isolates (BRM32109; BRM32110; BRM32111; BRM32112; BRM32113; BRM32114) are integrators part of microorganism collection of Embrapa Rice and Beans and the fungi isolates, *T. asperellum* pool (UFRA.T06, UFRA.T09, UFRA.T12, e UFRA.T52) are integrators part of fungi collection of Federal Rural University of Amazon. Biochemical characteristics and taxonomic classification of rhizobacteria BRM32109, BRM32110, BRM32111, BRM32112, BRM32113 and BRM32114 are available in Nascente et al. (2017a) and *Trichoderma* in Silva et al. (2011).

The application of microorganism suspension, at eight and 15 DAS, was carried out in the form of direct jet, with manual backpack sprayer with constant pressure of CO₂, utilizing a conical nozzle type (TX-VS2), with a volume approximately 100 L ha⁻¹. The suspension of each bacterial microorganisms (BRM32109; BRM32110; BRM32111; BRM32112; BRM32113; BRM32114) was prepared in liquid medium (nutrient broth), from culture that has been growing on solid medium 523 (Kado & Heskett, 1970), for 24 hours in 28 °C under constant shaking. Concentration of each suspension was set in a spectrophotometer at an absorbance of 0.5, wavelength 540 nm, corresponding to 1x10⁸ colony forming units (CFU) per mL. Rice seeds were immersed in suspensions and, for control, immersed in water, for a period of 24 hours and 25 °C temperature under constant shaking, following methodology proposed by Nascente et al. (2017b).

For microbiolization of *T. asperellum* pool, which were multiplied and preserved in crushed rice leaves, 0.5 g of each isolate were weighed and, 6.7 mL of white glue solution (1%) was prepared for each 200 g of rice seeds, that through a plastic bag were shaken with the isolates, inducing all the seeds according to the methodology proposed by França et al. (2015).

Fifteen rice seeds were sown per pot of the genotype BRS A702 CL (resistant to the herbicides of group Imidazolinones). Plant emerged seven DAS and thinned was done 15 days after emergency (DAE) to keep three plants per pot. At the beginning of the rice tillering stage (15 DAE) a topdressing fertilization (two grams of ammonium sulfate and one gram of potassium chloride) was performed. The second topdressing fertilization (two grams of potassium chloride) was carried out at 26 DAE. Weed control was performed manually, together with the plants thinning (15 DAE) and there was no need for intervention to control pests and diseases.

Leaf width (cm) and gas exchange: photosynthetic rate (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); transpiration rate (E) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); stomata conductance (gs) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); internal CO_2 concentration (C_i) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) and leaf temperature (T_{leaf}) ($^{\circ}\text{C}$) were performed, determined by a portable gas meter in the infrared region IRGA (LCpro+, ADC BioScientific). Instantaneous carboxylation efficiency (ICE) was calculated as the ratio of A to C_i [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$] (Silva et al., 2013). The readings were taken between 08:30 and 10:30 AM at 48 DAE (V6 stage) and 96 DAR (R3 stage). Samples were taken in the middle third of the first fully expanded leaf (top to base) during the two evaluation periods. The equipment was set to use concentrations of 370 - 400 mol mol^{-1} CO_2 in the air, which is the reference condition used in the IRGA photosynthesis chamber. The photon flux density photosynthetic active (PPFD) used was 1200 $\mu\text{mol [quanta] m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. The minimum equilibration time set for performing the reading was two minutes.

Shoot of rice plants were collected at 99 DAE (R3 stage), when 50% of lowland rice plants were in full flower stage. Therefore, in each treatment, the plants were dried in oven 65°C until constant weight and, weighed to determine dry matter shoot biomass.

All data were submitted to variance analyses and, when detected significance, means were compared by LSD test ($p \leq 0.05$). Additionally, the treatments were compared with the control (without microorganisms) by Dunnett test at the significance level of 0.05. We used the SAS statistical package (SAS, 1999).

RESULTS AND DISCUSSION

Among the physiological attributes evaluated, transpiration rate (E) and instantaneous carboxylation efficiency (ICE) of rice plants treated with beneficial microorganisms showed differences (Table 1). Highest E was presented by the rice plants treated with BRM32109 followed by BRM32110, BRM32112, BRM32114 and *T. asperellum* pool. Plants that showed highest ICE were treated with BRM32109 followed

by BRM32111, BRM32112, BRM32114 and *T. asperellum* pool. Besides that, ICE of rice plants treated with BRM32109, BRM32114 and *T. asperellum* pool were, significantly, higher than the control treatment plants.

Table 1: Physiological attributes: photosynthesis (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiration (E) ($\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), stomata conductance (gs) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), internal CO_2 concentration (Ci) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$), leaf temperature (Tleaf) ($^{\circ}\text{C}$) and instantaneous carboxylation efficiency (ICE) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$] of tropical lowland rice plants, cultivar BRS A702 CL, treated with different types and forms of beneficial microorganisms application, in two evaluation times, 48 DAE (V6 stage) and 96 DAE (R3 stage).

Microorganism	A	E	gs	Ci	Tleaf	ICE
BRM32109	16.96	5.86 a ⁺	0.245	224	31.63	0.077 a*
BRM32110	15.58	5.62 ab	0.235	233	31.66	0.067 b
BRM32111	15.81	5.32 b	0.224	230	31.53	0.068 ab
BRM32112	15.52	5.38 ab	0.217	226	31.60	0.069 ab
BRM32113	15.88	5.29 b	0.217	234	31.38	0.065 b
BRM32114	16.18	5.66 ab	0.237	228	31.62	0.071 ab*
<i>T. asperellum</i> pool	16.37	5.59 ab	0.233	224	31.66	0.074 ab*
Control	14.87	5.28	0.217	238	31.33	0.060
Application form						
Seed (s)	16.51	5.48	0.230	230	31.38	0.071
Seed + soil (ss)	15.75	5.39	0.220	224	31.67	0.070
Seed + plant (sp)	15.86	5.72	0.238	231	31.70	0.069
Evaluation times						
Vegetative stage	16.26	4.78 b	0.244 a	243 a	29.01 b	0.066 b
Reproductive stage	15.82	6.29 a	0.215 b	214 b	34.15 a	0.074 a
FV	ANOVA (F probability)					
Microorganism (M)	0.475	0.338	0.639	0.694	0.999	0.149
Application form (F)	0.248	0.185	0.295	0.298	0.727	0.802
Evaluation time (E)	0.259	<.0001	0.002	<.0001	<.0001	<.0005
M x F	0.598	0.854	0.977	0.999	0.999	0.958
M x E	0.139	0.908	0.929	0.999	1.000	0.770
F x E	0.002	0.372	0.652	0.349	0.925	0.058

Continued table 1.

Microorganism	A	E	gs	Ci	Tleaf	ICE
M x F x E	0.330	0.954	0.948	0.978	1.000	0.642
CV (%)	16.00	17.19	26.26	11.22	7.37	22.28

[†]Means followed by the same letter do not differ by LSD test at $p \leq 0.05$. Means followed by the asterisk differ from the control treatment (without microorganism) by Dunnett test at $p \leq 0.05$.

Carboxylation efficiency is an estimate of Rubisco activity, thus, lowland rice plants that presented high ICE showed high capacity to overcome the limitation in the diffusion of CO₂ through the stomata and mesophyll and, hence, greater ability of effective fix CO₂ (Niinemets et al., 2009; Vu & Allen Jr., 2009; Galmés et al., 2011). Thus, this attribute is an important tool in determining the adaptation and response of plants to certain technologies, this is because the increase in growth (hence increase in yield) of plants may be related to the increase in biochemical activity of photosynthesis, potentiated by biotic factors as the introduction of beneficial microorganisms into the culture medium.

Table 1 also show that E, stoma conductance (gs), internal CO₂ concentration (Ci) and leaf temperature (Tleaf) of lowland rice plants presented significant differences between different evaluation time (V6 and R3 stage). The high ambient temperature of the greenhouse, at reproductive stage of lowland rice plants, reflected in Tleaf higher and, hence, higher E and ICE.

It is known that crop species use CO₂ as substrate for the occurrence of the photosynthetic process. On the other hand, transpiration rate indicates the loss of H₂O in the form of vapor, from the plant to the atmosphere (Amaral et al., 2006). Thus, to absorption of CO₂, the stomata must be open, which allows the loss of H₂O (Paiva et al, 2005). Once rice plants were managed with flood irrigation, it is acceptable that these plants didn't need to close the stomata, to keep the turgidity of cells. In other words, it is

better for the lowland rice plant exchange water for photosynthesis product, essentials for crop growth, where the water supply is plentiful (Taiz et al., 2017).

Dry shoot biomass production of lowland rice treated with different beneficial microorganisms was different ($p < 0.05$) among treatments (Table 2). Stood out the isolate BRM32114 (*Serratia* sp.), which rice plants produced 61.24 g of dry mass and differ from the control treatment. The isolates BRM32111 (*Pseudomonas fluorescens*); BRM32113 (*Burkholderia pyrrocinia*) and *T. asperellum* pool also contributed for the biomass increase, with production of 58.73; 56.89 and 56.62 g of rice dry shoots, respectively.

Table 2: Dry shoot biomass production of tropical lowland rice, cultivar BRS A702 CL, treated with different types and forms of beneficial microorganism application.

Microorganism	Dry shoot biomass (g)
BRM32114	61.24 a ⁺ *
BRM32111	58.73 ab
BRM32113	56.89 abc
<i>T. asperellum</i> pool	56.62 abc
BRM32112	53.59 bcd
BRM32110	51.21 cd
BRM32109	48.31 d
Control	47.94
Application form	
Seed (s)	56.11
Seed + soil (ss)	56.53
Seed + plant (sp)	53.04
FV	ANOVA (F probability)
Microorganism (M)	0.006
Application form (F)	0.245
M x F	0.015
CV (%)	15.22

⁺Means followed by the same letter do not differ by LSD test at $p \leq 0.05$. Means followed by the asterisk differ from the control treatment (without microorganism) by Dunnett test at $p \leq 0.05$.

Other authors also showed better development of rice plants with the use of beneficial microorganisms, for instance, Sperandio et al. (2017) compared the isolates BRM32114 and BRM32109 (*Serratia* sp. and *Bacillus* sp.) with treatment without microorganism, in upland rice plants (BRS Primavera) and concluded that the isolate BRM32114 was the most effective in biomass production and in suppression of leaf blast pathogen (*Magnaporthe oryzae*). Souza (2014) found that *T. asperellum* produced in average 45.6% more biomass in rice plants (BRS Primavera) than treatment without microorganism. This same author reported significant reduced of 96 and 67% of leaf blast with use of the isolates BRM32113 and BRM32111 (*Burkholderia pyrrocinia* e *Pseudomonas fluorescens*), respectively. Rêgo et al. (2014) evaluated root architecture and observed that, rice seeds (BRS Primavera) treated with the isolates *T. asperellum* pool, BRM32113 and BRM32111 produced seedlings with increases on root length, cortex expansion (increase of 2%) in the aerenchym spaces, besides of increase of diameter and root volume. These results showed that the use of microorganism could be an important strategy to improve rice development, as observed in our trial.

The microorganisms utilized in this study were collected of upland rice rhizosphere (Filippi et al., 2011). However, these promoted significant increases in gas exchange and biomass production in lowland rice. Nascente et al. (2017b) also related that the lowland rice cultivar (BRS Catiana) showed higher biomass accumulation when the plants were treated with the isolate BRM32108 (*Bacillus* sp.), comparatively to the control treatment. In this sense, it is worth emphasizing the need of more studies with the microorganisms, due to specific interaction between plant-microorganism, even between varieties of the same crop specie. Once, in the lowland rice cultivar BRS Catiana the better microorganism was the isolate BRM32109 (*Bacillus* sp.) (Nascente et al., 2017b) and, in the present study,

with the cultivar BRS A02 CL, was the isolate BRM32114 (*Serrati* sp.) that provided the better results. Our find is with agreement with the information of Mendes et al. (2018) that related that microorganisms act differently in different cultivar of the same species.

There was significant interaction among microorganisms and application form for dry shoot biomass production in lowland rice (Table 3). For the application by seed (s), it was observed higher values of biomass when plants were treated with the isolates BRM32111, BRM32113, BRM32114 and *T. asperellum* pool. To the application by (s) and seed-soil (ss), stood out just the isolates BRM32111, BRM32113 and BRM32114. In the application by seed-plant (sp) verified only the effect of BRM32113 isolate was smaller. Thereby, it can be concluded that microbiolized seeds was the recommended form application, for being the method of management cheaper and easier to the farmer, corroborating anterior results of Nascente (2017a; 2017b).

Tabela 3: Effect of different types and application forms of beneficial microorganisms on tropical lowland dry biomass production, cultivar BRS A702 CL.

Factors	Seed	Seed and soil	Seed and plant	CV
Microorganism	Dry biomass (grams)			
BRM32111	65.51 a A ⁺	59.91 abc AB	50.76 ab B	12.73
BRM32113	65.35 ab A	62.96 ab A	42.36 b B	17.51
<i>T. asperellum</i> pool	57.13 abc A	54.57 bc A	58.17 a A	14.00
BRM32114	55.01 abc A	68.04 a A	60.68 a A	20.66
BRM32112	52.14 bc A	53.14 bc A	55.49 a A	14.25
BRM32110	51.53 c A	49.24 c A	52.86 ab A	10.79
BRM32109	46.13 c A	47.85 c A	50.95 ab A	10.64
CV	15.97	15.94	14.96	-

⁺Means followed by the same letter, lowercase in the column or upper case in the line, do not differ by LSD test at $p \leq 0.05$.

CONCLUSIONS

Seed microbiolization was the most effective form to provide rice biomass increases; Plants treated with the microorganisms BRM32109, BRM32114 and *T. asperellum* pool provided higher instantaneous carboxylation efficiency, compared to the control treatment; BRM32114 followed by BRM32111, BRM32112 and *T. asperellum* pool provided increases an average of 17% in carboxylation efficiency and 20% in dry shoot biomass in tropical lowland rice.

REFERENCES

- Amaral JAT, Rena AB & Amaral FT (2006) Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e suas relações com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41:377-384.
- Babalola OO (2010) Beneficial bacteria of agricultural importance. *Biotechnology Letters*, 32:1559-1570.
- Bal HB, Nayak L, Das S & Adhya TK (2013) Isolation of ACC deaminase producing PGPR from rice rhizosphere and evaluating their plant growth promoting activity under salt stress. *Plant and Soil*, 366:93-105.
- Borém A & Rangel PHN (2015) Arroz do plantio à colheita. 1ª ed. Viçosa, UFV. 242p.
- Brotman Y, Gupta KJ & Viterbo A (2010) Trichoderma. *Current Biology*, 20:390-391.
- Compant S, Duffy B, Nowak J, Clément C & Barka EA (2005) Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future prospects. *Applied and Environmental Microbiology*, 71:4951-4959.
- Dartora J, Guimarães VF, Marini D & Sander G (2013) Adubação nitrogenada associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae* na cultura do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17:1023-1029.

Donagema GK, Campos DVB, Calderano SB, Teixeira WG & Viana JHM (2011) Manual de métodos de análise de solo. 2ª ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos. 230p.

Doni F, Isahak A, Zain CRCM & Yusoff WMW (2014) Physiological and growth response of rice plants (*Oryza sativa* L.) to *Trichoderma* spp. inoculants. *AMB Express*, 4:285-290.

Filippi MCC, Silva GB, Silva-Lobo VL, Côrtes MVCB, Moraes AJG & Prabhu AS (2011) Leaf blast (*Magnaporthe oryzae*) suppression and growth promotion by rhizobacteria on aerobic rice in Brazil. *Biological Control*, 58:160-166.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2015) Statistical Pocketbook World and agriculture. Roma. 231p.

França SKS, Cardoso AF, Lustosa DC, Ramos EMLS, Filippi MCC & Silva GB (2015) Biocontrol of sheath blight by *Trichoderma asperellum* in tropical lowland rice. *Agronomy for Sustainable Development*, 35:317-324.

Galmés J, Ribas-Carbó M, Medrano H & Flexas J (2011) Rubisco activity in Mediterranean species is regulated by the chloroplastic CO₂ concentration under water stress. *Journal of experimental Botany*, 62:653-665.

Giongo A, Beneduzi A, Gano K, Vargas LK, Utz L & Passaglia LMP (2013) Characterization of plant growth-promoting bacteria inhabiting *Vriesea gigantea* Gaud. and *Tillandsia aeranthos* (Loiseleur) L.B. Smith (Bromeliaceae). *Biota Neotropica*, 13:80-85.

Gholamalizadeh R, Khodakaramian G & Ebadi AA (2017) Assessment of rice associated bacterial ability to enhance rice seed germination and rice growth promotion. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 60:e17160410.

Harman GE, Howell CR, Viterbo A, Chet I & Lorito M (2004) *Trichoderma* species - opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2:43-56.

International Rice Research (IRRI) (2010) Global Rice Science Partnership (GRISP). 267p

Kado CJ & Heskett MG (1970) Selective media for isolation of *Agrobacterium*, *Corynebacterium*, *Erwinia*, *Pseudomonas* and *Xanthomonas*. *Phytopathology*, 60:969-976.

Kloepper JW & Schroth MN (1978) Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. *Proceedings of the 4th International Conference on Plant Pathogenic Bacteria*. In: 4^a International Conference on Plant Pathogenic Bacteria, France. Anais Gilbert-Clarey.

Lima ODDR, Santos MSB & Rodrigues AAC (2014) Ação antifúngica *in vitro* de isolados de *Bacillus* sp. sobre *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Revista Caatinga*, 27:57-64.

Matilla MA, Ramos JL, Bakker PAHM, Doornbos R, Badri DV, Vivanco JM & Ramos-González MI (2010) *Pseudomonas putida* KT2440 causes induced systemic resistance and changes in *Arabidopsis* root exudation. *Environmental Microbiology Reports*, 2:381-388.

Mendes LW, Raaijmakers JM, Hollander M, Mendes R & Tsai SM (2018) Influence of resistance breeding in common bean on rhizosphere microbiome composition and function. *ISME Journal*, 12:212-224.

Miethling R, Wieland G, Backhaus H & Tebbe CC (2000) Variation of microbial rhizosphere communities in response to crop species, soil origin, and inoculation with *Sinorhizobium meliloti* L33. *Microbial Ecology*, 41:43-56.

Nascente ASN, Filippi MCC, Lanna AC, Souza ACA, Lobo VLS & Silva GB (2017a) Biomass, gas exchange, and nutrient contents in upland rice plants affected by application forms of microorganism growth promoters. *Environmental Science and Pollution Research*, 24:2956-2965.

Nascente AS, Filippi MCC, Lanna AC, Sousa TP, Souza ACA, Lobo VLS & Silva GB (2017b) Effects of beneficial microorganisms on lowland rice development. *Environmental Science and Pollution Research*, 24:25233-25242.

Niinemets U, Díaz-Espejo A, Flexas J, Galmés J & Warren Cr (2009) Importance of mesophyll diffusion conductance in estimation of plant photosynthesis in the field. *Journal of Experimental Botany*, 60:2271-2282.

Paiva AS, Fernandes EJ, Rodrigues TJD & Turco JEP (2005) Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. *Engenharia Agrícola*, 25:161-169.

Perazzolli M, Dagostin S, Ferrari A, Elad Y & Pertot I (2008) Induction of systemic resistance against *Plasmopara viticola* in grapevine by *Trichoderma harzianum* T39 and benzothiadizole. *Biological Control*, 47:228-234.

Rampazzo PE (2013) Interação entre rizobactérias e cana-de-açúcar sob diferentes condições de umidade do substrato: crescimento, fotossíntese e relações hídricas. Dissertação de mestrado. Instituto Agrônômico, Campinas. 46p.

Rêgo MCF, Ilkiu-Borges F, Filippi MCC, Gonçalves LA & Silva GB (2014) Morphoanatomical and Biochemical Changes in the Roots of Rice Plants Induced by Plant Growth-Promoting Microorganisms. *Journal of Botany*, 2014:1-10.

Sahoo RK, Ansari MW, Pradhan M, Dangar TK, Mohanty S & Tuteja N (2014) Phenotypic and molecular characterization of native *Azospirillum* strains from rice fields to improve crop productivity. *Protoplasma*, 251:943-953.

Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Lumberras JF, Coelho MR, Almeida JA, Araujo Filho JC, Oliveira JB & Cunha TJF (2018) Sistema brasileiro de classificação de solos. 5ª ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 356p.

Shoresh M, Yedidia I & Chet I (2005) Involvement of jasmonic acid/ethylene signaling pathway in the systemic resistance induced in cucumber by *Trichoderma asperellum* T203. *Phytopathology*, 95:76-84.

Silva MA, Jifon JL, Santos CM, Jadoski CJ & Silva JAC (2013) Photosynthetic Capacity and Water Use Efficiency in Sugarcane Genotypes Subject to Water Deficit During Early Growth Phase. *Brazilian Archive of Biology and Technology*, 56:735- 748.

Silva VN, Guzzo SD, Lucon CMM & Harakava R (2011) Promoção de crescimento e indução de resistência à antracnose por *Trichoderma* spp. em pepineiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46:1609-1618.

Sousa TP, Souza ACA, Filippi MCC, Lanna AC, Cortês MV, Pinheiro HA & Silva GB (2018) Bioagents and silicon promoting fast early upland rice growth. *Environmental Science and Pollution Research*, 25:3657-3668.

Souza ACA (2014) *Interação entre silicato de cálcio e magnésio e bioagentes na supressão de brusone foliar*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 50p

Souza R & Lopes IJ (2005) Efeito do Soil-borne wheat mosaic vírus sobre o metabolismo de cinco genótipos de trigo com diferentes níveis de resistência à doença. *Fitopatologia Brasileira*, 30:400-403.

Spence C, Alff E, Johnson C, Ramos C, Donofrio N, Sundaresan V & Bais H (2014) Natural rice rhizospheric microbes suppress rice blast infections. *BMC plant biology*, 14:130.

Sperandio EM, Vale HMM, Reis MS, Cortês MVCB, Lanna AC & Filippi MC (2017) Evaluation of rhizobacteria in upland rice in Brazil: growth promotion and interaction of induced defense responses against leaf blast (*Magnaporthe oryzae*). *Acta Physiologiae Plantarum*, 39:258-270.

Taiz L, Zeiger E, Moller IM & Murphy A (2017) *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6^a ed. Porto Alegre, Artmed. 858p.

Vinale F, Sivasithamparam K, Ghisalberti EL, Marra R, Barbetti MJ, Li H, Woo SL & Lorito M (2008) A novel role for *Trichoderma* secondary metabolites in the interactions with plants. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 72:80-86.

Viterbo A, Harel M, Horwitz BA, Chet I & Mukherjee PK (2005) *Trichoderma* mitogen-activated protein kinase signaling is involved in induction of plant systemic resistance. *Applied and Environmental Microbiology*, 71:6241-6246.

Vu JCV & Allen JRL. Growth at elevated CO₂ delays the adverse effects of drought stress on leaf photosynthesis of the C4 sugarcane. *Journal of Plant Physiology*, 166:107-116.

ACKNOWLEDGEMENTS

To EMBRAPA (Brazilian Agricultural Research Corporation), for supporting this research and to CNPq (National Council of Scientific and Technological Development), for an award for excellence in research of the second and third author.

FINANCIAL SUPPORT

Embrapa Rice and Beans and CAPES (Coordination for the Improvement of Higher Level Personnel)

FULL DISCLOSURE

The authors declare that there is no conflict of interest in the conduct and publication of the work.

4 DESEMPENHO AGRONÔMICO DE PLANTAS DE ARROZ IRRIGADO PROMOVIDO POR MICRORGANISMOS BENÉFICOS (Capítulo 2)

(Artigo submetido à revista científica Pesquisa Agropecuária Brasileira)

Israel Mendes Sousa⁽¹⁾, Adriano Stephan Nascente⁽²⁾, Marta Cristina Corsi de Filippi⁽²⁾ and
Anna Cristina Lanna⁽²⁾

⁽¹⁾Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Programa de Pós Graduação em Agronomia, Avenida Esperança, s/n, Chácaras Samambaia, CEP 74690-900 Goiânia, GO, Brasil. e-mail: israelmmendes128@gmail.com ⁽²⁾ Embrapa Arroz e Feijão, Rodovia GO-462, Km 12, CEP 75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO, Brasil. e-mail: adriano.nascente@embrapa.br, cristina.filippi@embrapa.br, anna.lanna@embrapa.br

RESUMO

Objetivou determinar o efeito de formas de aplicação de microrganismos promotores de crescimento no desenvolvimento de plantas (experimento I) e do sistema radicular (experimento II) de plântulas de arroz irrigado tropical. EI - o delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC) em fatorial 7x3+1. Os tratamentos BRM32109 e BRM32110 (*Bacillus* sp.), BRM32111 (*Pseudomonas fluorescens*), BRM32112 (*Pseudomonas* sp.), BRM32113 (*Burkholderia pyrocinia*), BRM32114 (*Serratia* sp.) e pool de *Trichoderma asperellum* (UFRA.T06 + UFRA.T09 + UFRA.T12 + UFRA.T52) + controle (água) foram avaliados sob três formas de aplicação (semente microbiolizada; semente microbiolizada + solo regado com microrganismo aos oito e 15 dias após a semeadura (DAS) e semente microbiolizada + pulverização do microrganismo na planta aos oito e 15 DAS). EII - sementes de arroz foram semeadas em tubos de ensaio (ágar-água), em DIC. Tratamentos foram a microbiolização das sementes com BRM32109, BRM32110, BRM32111, BRM32112, BRM32113 e BRM32114 e controle (água). A aplicação semente-planta foi mais eficiente (10,3%) para incrementar a produção de biomassa seca de parte aérea. Destacaram-se BRM32109, BRM32111 e BRM32113, que proporcionaram, em média, produção de biomassa seca 19% superior à das plantas controle. O comprimento radicular das plântulas de arroz, tratadas com microrganismos, foi maior que o das plantas controle.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L.; promoção de crescimento; microrganismos benéficos; produção sustentável.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the effect of growth promoter microorganisms on the development of plants (experiment I) and root system of seedlings (experiment II) of tropical lowland rice. EI - the experimental design was completely randomized (CRD) in factorial 7x3+1. The treatments BRM32109 and BRM32110 (*Bacillus* sp.), BRM32111 (*Pseudomonas fluorescens*), BRM32112 (*Pseudomonas* sp.), BRM32113 (*Burkholderia pyrrocinia*), BRM32114 (*Serratia* sp.) and *Trichoderma asperellum* (UFRA.T06 + UFRA.T09 + UFRA.T12 + UFRA.T52) + control (water) were evaluated under three application forms (microbiolized seed; microbiolized seed + soil irrigated with microorganism at eight and 15 days after sowing (DAS) and microbiolized seed + microorganism spray plant at eight and 15 DAS). EII - rice seeds were seeded in test tubes (water-agar) in CRD. Treatments were the microbiolization of the seeds with BRM32109, BRM32110, BRM32111, BRM32112, BRM32113 and BRM32114 and control (water). Seed-plant application was more efficient (10.3%) to increase dry shoot biomass production. We emphasized BRM32109, BRM32111 and BRM32113, which provided, on average, dry biomass production 19% higher than the control plants. The root length of the rice seedlings treated with microorganisms was higher than that of the control plants.

Key-words: *Oryza sativa* L.; growth promotion; beneficial microorganisms; sustainable production.

INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é a base alimentar de metade da população mundial (Kumar & Ladha, 2011). Segundo a Organização das Nações Unidas (2017), estima-se que o aumento populacional é da ordem de 1,10% ao ano (aproximadamente, 83 milhões de pessoas nascerão por ano). Consequentemente, a produção de arroz deve aumentar, de forma econômica e sustentável, para atender as demandas globais de alimentação (Nascente et al., 2017a). A visão de sustentabilidade engloba aspectos como redução do uso de insumos sintéticos e aumento do uso de produtos de origem microbiana, que, por sua vez são amigáveis ecologicamente, minimizam custos de produção e riscos de impacto negativo ao ambiente, o que assegura quantidade e qualidade nos alimentos (Mattos et al., 2006).

Sabe-se que microrganismos benéficos na agricultura promovem efeitos sobre o crescimento e desenvolvimento de plantas, mostrando ser alternativa sustentável para aumentar a eficiência na produção de alimentos (Isawa et al., 2010). As rizobactérias

promotoras de crescimento vegetal (RPCV) são os microrganismos mais utilizados na agricultura e atuam direta e indiretamente na promoção de crescimento vegetal (Ahemad & Kilbret, 2014). Assim como as RPCV, as espécies fúngicas pertencentes ao gênero *Trichoderma* spp. têm sido estudadas, pois, proporcionam aumento do crescimento e rendimento de culturas (Chang et al., 1986), melhoram a absorção de nutrientes (Cuevas et al., 2005) e possuem capacidade antagonista contra fitopatógenos (Sousa et al., 2018).

Estudos realizados na Embrapa Arroz e Feijão selecionaram seis isolados de rizobactérias (BRM32109, BRM32110, BRM32111, BRM32112, BRM32113, BRM32114) promissores para serem utilizados como promotores de crescimento vegetal (Filippi et al., 2011). Assim, pesquisas em condições controladas mostraram que estes microrganismos proporcionaram incrementos significativos na produção de biomassa e absorção de nutrientes em genótipos de arroz irrigado e de terras altas (Nascente et al., 2017a; Nascente et al., 2017b), como também, no aumento da resistência a doenças de genótipos de arroz de terras altas (Filippi et al., 2011; Sperandio et al., 2017). Além disso, estudos realizados 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 do fungo *Trichoderma asperellum* (UFRA.T06, UFRA.T09, UFRA.T12, UFRA.T52) (França et al., 2015).

Em decorrência de os microrganismos atuarem de maneira diferenciada nas culturas agrícolas e, até mesmo, em diferentes cultivares dentro de uma mesma espécie (Mendes et al., 2018) é importante buscar informações adicionais e avançar no conhecimento sobre o uso de microrganismos benéficos na cultura do arroz irrigado tropical. Portanto, objetivou-se com esse estudo avaliar o desempenho agrônômico de plantas de arroz irrigado tropical tratadas com microrganismos benéficos, cultivar BRS A702 CL, e caracterizar o efeito do uso desses microrganismos sobre o crescimento radicular de plântulas de arroz irrigado tropical.

MATERIAL E MÉTODOS

Experimento I - Efeito de microrganismos benéficos sobre o desempenho de plantas de arroz irrigado tropical.

Caracterização do ambiente

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, localizada na sede da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, entre Setembro e Dezembro de 2017. O solo utilizado foi proveniente da camada arável (0 - 0,20 m) de um Gleissolo Háplico (Santos et

al., 2018) de textura média, cujas características químicas foram: pH (H₂O) = 6,1; Ca²⁺ = 78,4 mmol_c dm³⁻¹; Mg²⁺ = 20,9 mmol_c dm³⁻¹; H⁺ + Al³⁺ = 12 mmol_c 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. As análises químicas e físicas seguiram os métodos propostos por Donagema et al. (2011).

Três semanas antes da semeadura do arroz irrigado, cultivar BRS A702 CL, os vasos com capacidade de sete L foram preenchidos com solo fertilizado 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). A umidade do solo, durante toda a condução do experimento foi monitorada diariamente, sendo o solo mantido saturado até o fim da fase vegetativa (formação do colar na folha bandeira do colmo principal).

Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado no esquema fatorial 7x3+1, com quatro repetições. Os tratamentos constaram da combinação de sete microrganismos: *Bacillus* sp. (BRM32109 e BRM32110); *Pseudomonas fluorescens* (BRM32111); *Pseudomonas* sp. (BRM32112); *Burkholderia pyrrocinia* (BRM32113); *Serratia* sp. (BRM32114) e *pool* de *Trichoderma asperellum* (mix de UFRA.T06 + UFRA.T09 + UFRA.T12 + UFRA.T52), com três formas de aplicação: semente microbiolizada (semente); semente microbiolizada + suspensão do microrganismo regado no solo aos oito e 15 DAS (semente-solo) e semente microbiolizada + suspensão do microrganismo pulverizada na planta aos oito e 15 DAS (semente-planta).

Os isolados bacterianos (BRM32109; BRM32110; BRM32111; BRM32112; BRM32113; BRM32114) são partes integrantes da coleção de microrganismos da Embrapa Arroz e Feijão e os isolados fúngicos, *pool* de *T. asperellum*: UFRA.T06, UFRA.T09, UFRA.T12, e UFRA.T52, são partes integrantes da coleção de fungos da Universidade Federal Rural da Amazônia. Características bioquímicas e classificação taxonômica das rizobactérias BRM32109, BRM32110, BRM32111, BRM32112, BRM32113 e BRM32114 estão disponíveis em Nascente et al. (2017b) e as do gênero *Trichoderma* em Silva et al. (2011).

Microbiolização das sementes

A suspensão de cada um dos microrganismos bacterianos (BRM32109; BRM32110; BRM32111; BRM32112; BRM32113; BRM32114) foi preparada em meio líquido (caldo nutriente) por meio de culturas de crescimento em meio sólido 523 (Kado &

Heskett, 1970), por 24 horas a 28 °C, em incubadora agitadora. A concentração da suspensão foi ajustada em espectrofotômetro a uma absorbância de 0,5, 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 25 °C sob agitação constante, seguindo metodologia proposta por Filippi et al. (2011). Para a microbiolização do *pool* de *T. asperellum*, o qual estava multiplicado e preservado em folhas de arroz trituradas, foram pesados 0,5 g de cada isolado, e preparada 6,7 mL de solução de cola branca (1%) para cada 200 g de sementes de arroz, o qual colocado em saco plástico foram agitadas com os isolados, induzindo todas as sementes conforme metodologia proposta por França et al. (2015).

Para aplicação dos microrganismos aos oito e 15 dias após a semeadura (DAS), suspensões foram preparadas como descrito acima, na mesma concentração (10^8 UFC). Aplicou-se 100 mL das suspensões bacterianas para os tratamentos semente-solo e, para os tratamentos semente-planta realizou-se aplicação na forma de jato dirigido com pulverizador manual tipo costal com pressão constante de CO_2 , utilizando-se bico cônico tipo TX-VS2, com volume de calda de, aproximadamente, 100 L ha^{-1} . Para o tratamento controle, solo e planta receberam água.

Manejo das plantas de arroz

Sementes de arroz (total de 15) foram semeadas por vaso do genótipo mutagênico, BRS A702 CL (resistente aos herbicidas do grupo das Imidazolinonas). A emergência das plântulas ocorreu seis dias após a semeadura e o desbaste em 20 dias após a emergência (DAE), mantendo três plantas por vaso. Durante o perfilhamento, aos 28 DAE, foi realizada adubação nitrogenada (dois gramas de sulfato de amônio) e potássica (um grama de cloreto de potássio) por vaso e a lanço. A segunda adubação de cobertura (dois gramas de sulfato de amônio) foi realizada aos 48 DAE. O controle de plantas daninhas foi realizado, manualmente, junto com o desbaste de plantas (20 DAE) e não houve necessidade de intervenção para controle de pragas e doenças.

Avaliações

Trocas gasosas

Nas plantas de arroz foram realizadas avaliações de trocas gasosas: 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 , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); concentração interna de CO_2 (C_i , $\mu\text{mol mol}^{-1}$) e

temperatura foliar (Tfoliar, °C), determinadas por meio do medidor portátil de gás na região do infravermelho IRGA (LCpro+, ADC BioScientific). A eficiência instantânea de carboxilação (EiC) foi calculada pela razão entre A e Ci [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$] (Silva et al., 2013). As leituras foram feitas no período entre 08:30 e 10:30 horas da manhã, aos 67 DAE (estádio V6) e aos 95 DAE (estádio R3).

As leituras foram realizadas no terço central da primeira folha completamente expandida (do topo para base) durante os dois períodos de avaliação. O equipamento foi regulado para utilizar concentrações de 370 - 400 mol mol⁻¹ CO₂ no ar da referência utilizado na câmara de fotossíntese do IRGA. A densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) utilizada foi de 1200 $\mu\text{mol [quanta] m}^{-2} \text{s}^{-1}$. O tempo mínimo de equilíbrio estabelecido para a realização das leituras foi de dois minutos.

Produção de biomassa

A coleta da parte aérea das plantas de arroz foi realizada aos 98 DAE (estádio R3), período em que 50% das plantas de arroz irrigado se encontravam em florescimento pleno. Em seguida, o material vegetal foi seco em estufa a 65 °C até peso constante e, pesado para a determinação da massa seca da parte aérea.

Teor de nutrientes em plantas

Após a secagem e pesagem das plantas coletadas, amostras foram enviadas ao Laboratório de Ciências Agroambientais da Embrapa Arroz e Feijão para determinação do teor de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn e Zn) da parte aérea das plantas, de acordo com recomendações de Malavolta et al. (1997).

Experimento II - Efeito de microrganismos benéficos sobre o sistema radicular de plântulas de arroz irrigado tropical

Condições experimentais

O experimento foi realizado no laboratório de Fitopatologia, Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, em Abril de 2018. As sementes de arroz, cultivar BRS A702 CL, foram semeadas em tubos de ensaio de 15 mL contendo ágar-água (0,8% m/v), seguindo metodologia proposta por Sperandio et al. (2017). Cada tubo consistiu de uma semente microbiolizada com seis microrganismos, separadamente: *Bacillus* sp. (BRM32109 e BRM32110); *Pseudomonas fluorescens* (BRM32111); *Pseudomonas* sp. (BRM32112); *Burkholderia pyrrocinia* (BRM32113) e *Serratia* sp. (BRM32114), conforme descrito no experimento I. O delineamento experimental foi inteiramente

casualizado, em que cada tubo de ensaio representou uma unidade experimental, num total de 10 repetições para cada microrganismo. Em seguida, os tubos foram colocados em câmara de germinação a 28 °C e fotoperíodo de 12 horas. O comprimento de raiz de plântulas de arroz irrigado tropical foi medido com régua graduada, 10 dias após a semeadura.

Análise estatística

Os dados obtidos dos experimentos I e II 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 pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). Utilizou-se o pacote estatístico SAS (SAS, 1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Experimento I - Efeito de microrganismos benéficos sobre o desempenho de plantas de arroz irrigado tropical.

Trocas gasosas

Estádio vegetativo (V6): não foram observadas diferenças significativas nas plantas de arroz irrigado tropical tratadas com os sete diferentes microrganismos benéficos, bem como nas plantas de arroz que receberam os microrganismos benéficos sob três diferentes formas de aplicação (Tabela 1). Estádio reprodutivo (R3): foram observadas diferenças significativas nas plantas de arroz irrigado tropical em estágio reprodutivo (R3). Maiores valores de gs foram observados nas plantas tratadas com os microrganismos BRM32111, BRM32112 e BRM32114, com destaque para plantas tratadas com o isolado BRM32110 (*Bacillus* sp.). Esse, por sua vez, diferiu dos tratamentos *pool* de *T. asperellum*, BRM32109 e BRM32113. Quanto à forma de aplicação, microbiolização de sementes proporcionou valores superiores de A e EiC e as formas de aplicação, semente e semente-solo, maiores valores de gs em plantas de arroz irrigado tropical.

Tabela 1. Trocas gasosas de plantas de arroz irrigado, cultivar BRS A702 CL: fotossíntese (A), transpiração (E), condutância estomática (gs), concentração interna de CO₂ (Ci), temperatura foliar (Tfoliar) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC). As medidas foram realizadas aos 48 DAE (estádio V6) e aos 96 DAE (estádio R3). As plantas foram tratadas com diferentes tipos e formas de aplicação de microrganismos benéficos.

Microrganismo	Estádio vegetativo					
	A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	E ($\text{mmol H}_2\text{O} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Gs ($\text{mol H}_2\text{O} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Ci ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)	Tfoliar (°C)	EiC ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) ⁻¹
BRM32109	20,25	8,06	0,445	262,9	33,5	0,077
BRM32110	20,13	8,00	0,440	263,3	33,4	0,077
BRM32111	19,97	7,90	0,453	266,2	33,1	0,075

Continuação tabela 1.

Microrganismo	A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	E ($\text{mmol H}_2\text{O} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Gs ($\text{mol H}_2\text{O} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Ci ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)	Tfoliar ($^{\circ}\text{C}$)	EiC ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) ⁻¹
BRM32112	20,19	7,94	0,444	263,0	33,4	0,076
BRM32113	19,22	7,41	0,435	266,4	32,9	0,072
BRM32114	20,12	7,67	0,428	260,3	33,3	0,077
<i>pool de T. asperellum</i>	20,17	7,91	0,450	263,3	33,3	0,077
Controle	21,38	7,88	0,497	260,0	32,8	0,083
Forma de aplicação						
Semente (s)	19,61	7,52	0,438	266,9	32,8	0,073
Semente + solo (ss)	19,98	8,03	0,440	263,6	33,4	0,076
Semente + planta (sp)	20,43	7,97	0,448	260,4	33,5	0,078
FV ANAVA (Probabilidade do teste F)						
Microrganismo (M)	0,963	0,700	0,985	0,921	0,935	0,950
Forma de aplicação (F)	0,488	0,104	0,861	0,179	0,115	0,286
M x F	0,899	0,928	0,836	0,986	0,999	0,964
CV (%)	12,78	12,39	16,62	4,86	3,93	15,73
Estádio reprodutivo						
BRM32109	12,55	4,28	0,205 b	236,8	33,5	0,053
BRM32110	13,15 **	4,51	0,231 a	243,7	33,5	0,054
BRM32111	13,06 **	4,09	0,207 ab	235,2	33,4	0,055
BRM32112	13,35 **	4,37	0,222 ab	240,2	33,5	0,055
BRM32113	13,14 **	4,09	0,206 b	232,3	33,3	0,057 **
BRM32114	12,69	4,08	0,208 ab	239,5	33,4	0,053
<i>pool de T. asperellum</i>	12,70	4,21	0,207 b	236,4	33,5	0,054
Controle	11,05	4,14	0,203	247,0	33,63	0,045
Forma de aplicação						
Semente (s)	13,59 a	4,18	0,219 a	235,0	33,4	0,058 a
Semente + solo (ss)	12,87 b	4,32	0,218 a	242,0	33,4	0,053 b
Semente + planta (sp)	12,38 b	4,16	0,199 b	236,2	33,6	0,053 b
Época de avaliação						
Estádio vegetativo (V6)	20,01 a	7,84 a	0,442 a	263 a	33,30	0,076 a
Estádio reprodutivo (R3)	12,95 b	4,22 b	0,212 b	237 b	33,49	0,054 b
FV ANAVA (Probabilidade do teste F)						
Microrganismo (M)	0,070	0,356	0,021	0,633	0,998	0,769
Forma de aplicação (F)	0,004	0,506	0,022	0,195	0,792	0,019
Época de avaliação (E)	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	0,607	<,0001
M x F	0,405	0,909	0,484	0,595	1,000	0,315
CV (%)	10,14	12,63	13,72	6,41	3,59	14,28

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD. Comparações entre microrganismo e controle, significativas pelo teste de Dunnett ao nível de significância 0,05 indicadas por **.

Os microrganismos BRM32112, BRM32110, BRM32113 e BRM32111 proporcionaram incrementos, em média, de 19,2% na taxa fotossintética (A) comparativamente às plantas controle em estágio reprodutivo (R3) (Tabela 1). Além disso, a EiC das plantas tratadas com o isolado BRM32113 (*Burkholderia pyrrocinia*) foi

significativamente superior ao tratamento controle. A eficiência instantânea de carboxilação é uma estimativa da atividade da enzima Rubisco. Portanto, plantas de arroz irrigado que apresentaram alta EiC mostraram melhor capacidade de superar a limitação na difusão de CO₂ pelos estômatos e mesófilo e, conseqüentemente, maior habilidade de fixar, efetivamente, o CO₂ (Galmés et al., 2011). Assim como EiC, a taxa fotossintética também é uma importante ferramenta na determinação da adaptação e resposta de plantas a determinadas tecnologias. O aumento no crescimento (conseqüente acréscimo na produtividade) das plantas pode estar relacionado à elevação na atividade enzimática associada à fotossíntese, potencializada por fatores bióticos como a introdução de microrganismos benéficos no meio de cultivo.

Produção de biomassa

Destaque para os isolados BRM32113 (*Burkholderia pyrrocinia*) e BRM32109 (*Bacillus* sp.) que proporcionaram incremento médio na produção de biomassa seca de plantas de arroz na ordem de 20,5%, comparativamente as plantas controle (Tabela 2). Por outro lado, o isolado BRM32111 (*Pseudomonas fluorescens*) também promoveu incremento de 16% de biomassa nas plantas de arroz irrigado, mas não diferiu das plantas controle. Sugere-se que o aumento da biomassa seca de parte aérea observada nas plantas de arroz irrigado, tratadas com microrganismos benéficos, tenha sido proporcionado pelo maior crescimento do sistema radicular (Qin et al., 2005), o qual propicia maior absorção de água e de nutrientes, favorecendo melhor desempenho da parte aérea da planta. Adicionalmente, esse aumento também pode estar associado à maior taxa fotossintética apresentada pelas plantas de arroz tratadas com os isolados BRM32111 e BRM32113, como também à maior eficiência instantânea de carboxilação apresentada pelas plantas tratadas com BRM32113.

Tabela 2. Produção de biomassa seca de parte aérea de plantas de arroz irrigado tropical, cultivar BRS A702 CL, tratadas com diferentes tipos e formas de aplicação de microrganismos benéficos.

Fatores	Semente	Semente e solo	Semente e planta	Média	CV	valor de F
Microrganismo	Biomassa seca (gramas)					
BRM32113	27,46 b B	29,24 b B	39,01 a A	31,90 a**	9,94	0,004
BRM32109	26,25 b C	36,50 a A	32,05 bc B	31,60 ab**	7,30	0,002
BRM32111	29,78 ab B	35,78 a A	26,31 d B	30,62 abc	9,22	0,008
BRM32114	25,35 b B	28,51 b B	34,18 b A	29,35 bcd	10,55	0,018
<i>pool de T. asperellum</i>	32,06 a A	24,21 c B	31,51 bc A	29,26 cd	6,37	0,001
BRM32112	26,02 b A	27,76 bc A	33,64 b A	29,14 cd	15,40	0,115
BRM32110	27,29 b A	26,21 bc A	27,77 cd A	27,09 d	9,17	0,365
Controle	-	-	-	26,37	-	-

Continuação tabela 2.

	Biomassa seca (gramas)					
Média	27,74 C	29,74 B	32,07 A	-	-	-
CV	11,13	8,03	9,71	-	-	-

*Mesma letra minúscula na vertical ou maiúscula na horizontal não diferem entre si ao nível de significância 0,05 pelo teste LSD. Comparações entre microrganismos e controle, significativas pelo teste de Dunnett ao nível de significância 0,05 indicadas por **.

Na produção de biomassa seca de parte aérea das plantas de arroz irrigado tropical foi observada interação significativa entre os tipos de microrganismos testados durante o seu cultivo e as formas de aplicação (Tabela 2). Microbiolização das sementes foi a forma de aplicação mais efetiva de tratamento das plantas de arroz irrigado tropical tratadas com *pool* de *T. asperellum* e BRM32111. Para BRM32109 e BRM32111, a melhor forma de aplicação foi semente-solo e, para BRM32113, foi via semente-planta. Os microrganismos benéficos, aplicados via semente-planta, proporcionaram incremento médio de 10,3% na biomassa seca de parte aérea em comparação com as outras formas de aplicação. Vale ressaltar que os isolados que promoveram maior produção de biomassa apresentaram diferentes comportamentos quanto à forma de aplicação. Para BRM32113 recomenda-se aplicação via semente-planta e para BRM32109 e BRM32111, aplicação via semente-solo. Nascente et al. (2017a e 2017b) mostraram resultados semelhantes quanto à interação entre tipos e formas de aplicação dos microrganismos com arroz irrigado e de terras altas, respectivamente.

Nutrientes na parte aérea

A quantidade de nutrientes na parte aérea das plantas de arroz irrigado, tratadas com microrganismos benéficos, não diferiu significativamente das plantas controle (Tabela 3). Por outro lado, entre os tipos de microrganismos benéficos foram observadas diferenças significativas nos teores de K e Zn. Plantas de arroz irrigado tratadas com os microrganismos BRM32111, BRM32112, BRM32113 e BRM32114 foram destaques quanto ao aumento no teor de K na parte aérea de plantas de arroz irrigado tropical. Para Zn, plantas tratadas com o *pool* de *T. asperellum* e BRM32109 proporcionaram maiores valores. Sabe-se que o manejo de irrigação por inundação causa alteração e elevação no pH do solo (Golçalves, 2016). O micronutriente Zn, além de limitante devido sua baixa concentração natural, tem como principal fator para limitar sua disponibilidade no solo a elevação do pH (Abreu et al., 2007). Assim como o microrganismo BRM32109 (*Bacillus* sp.) deste estudo, Shakeel et al. (2015) identificaram isolados do gênero bacteriano

Bacillus sp. com a capacidade de solubilizar e aumentar a disponibilidade de Zn para plantas de arroz.

As formas de aplicação dos microrganismos benéficos não apresentaram efeito sobre o teor de nutrientes na parte aérea de plantas de arroz. A única exceção foi o Mn em que a aplicação do microrganismo na semente e semente-planta proporcionou resultados semelhantes entre si, mas diferiram do tratamento em que a aplicação foi via semente e solo. Assim, conclui-se que para proporcionar maior absorção de Mn e outros nutrientes, a forma de aplicação dos microrganismos benéficos nas plantas de arroz, via microbiolização de sementes, deve ser indicada, uma vez que é um procedimento menos dispendioso para os agricultores. Nascente et al. (2017a e 2017b) também observaram que para absorção de nutrientes apenas a microbiolização de sementes seria suficiente para alcançar os efeitos benéficos promovido pelos microrganismos.

Tabela 3. Teor de macro e micronutriente em plantas de arroz irrigado, cultivar BRS A702 CL. A determinação foi realizada aos 96 DAE (estádio R3). As plantas foram tratadas com diferentes tipos e formas de aplicação de microrganismos benéficos.

Fatores	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Mn	Zn
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹		
BRM32109	28,98	3,75	19,40 b	3,36	3,71	4,42	33,57	1561,2	121,37 a
BRM32110	29,47	3,95	20,39 ab	3,12	3,65	4,67	33,18	1544,4	116,64 ab
BRM32111	29,66	3,62	22,25 a	3,42	3,80	4,36	32,75	1777,9	93,65 b
BRM32112	28,02	3,68	22,65 a	3,18	3,65	4,43	31,83	1505,6	108,56 ab
BRM32113	29,01	3,66	22,14 a	3,24	3,86	4,28	33,52	1675,3	104,64 ab
BRM32114	28,22	3,64	22,84 a	3,18	3,81	4,41	32,93	1671,7	108,81 ab
<i>pool de T. asperellum</i>	28,96	3,88	21,86 ab	3,17	3,76	4,67	34,40	1522,1	122,35 a
Controle	30,78	3,86	23,01	3,35	3,80	4,76	32,76	1718,9	106,43
Forma de aplicação									
Semente (s)	29,10	3,72	21,18	3,34	3,75	4,56	32,87	1678,2 a	103,6
Semente + solo (ss)	28,77	3,74	22,10	3,19	3,67	4,48	33,80	1451,9 b	115,1
Semente planta (sp)	28,83	3,76	21,66	3,19	3,83	4,35	32,83	1694,8 a	113,7
FV	ANOVA (Probabilidade do teste F)								
Microrganismo (M)	0,427	0,612	0,066	0,898	0,850	0,812	0,750	0,636	0,336
Forma de aplicação (F)	0,816	0,959	0,519	0,591	0,394	0,559	0,535	0,060	0,354
M x F	0,569	0,826	0,052	0,360	0,354	0,933	0,197	0,067	0,978
CV (%)	6,17	11,78	11,97	16,95	9,74	14,21	9,57	22,29	25,32

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD. Comparações entre microrganismo e controle, significativas pelo teste de Dunnett ao nível de significância 0,05 indicadas por **.

Experimento II - Efeito de microrganismos benéficos sobre o sistema radicular de plântulas de arroz irrigado tropical.

A rizobactéria BRM32111 (*Pseudomonas fluorescens*) proporcionou maior crescimento radicular nas plântulas de arroz e diferiu, significativamente, dos microrganismos BRM32113 (*Burkholderia pyrrocinia*) e BRM32112 (*Pseudomonas* sp.) (Tabela 4). Adicionalmente, os seis isolados avaliados proporcionaram aumento em média de 89% no comprimento radicular das plântulas de arroz e diferiram significativamente do controle. Estudos com arroz de terras altas mostraram que sementes tratadas com os isolados BRM32114 (*Serratia* sp.) e BRM32109 (*Bacillus* sp.) (Sperândio et al., 2017), e pool de *T. asperellum*, BRM32113 (*Burkholderia pyrrocinia*) e BRM32111 (*Pseudomonas fluorescens*) (Rêgo et al., 2014) produziram plântulas com aumento no comprimento radicular em comparação com tratamento controle. Os microrganismos benéficos podem produzir hormônios vegetais como: auxinas, citocininas e giberelinas, que proporcionam maior desenvolvimento da estrutura radicular das plantas (Oliveira et al., 2003). O maior desenvolvimento radicular nas plantas em detrimento da inoculação com microrganismos benéficos pode proporcionar incrementos na absorção da água e minerais, maior tolerância a estresses como salinidade e seca, resultando em plantas mais vigorosas e produtivas (Hungria, 2011).

Tabela 4. Comprimento radicular de plântulas de arroz irrigado tropical, cultivar BRS A702 CL, tratadas com diferentes tipos microrganismos benéficos.

Microrganismo	Comprimento radicular (cm)
BRM32111	7,33 a **
BRM32110	7,27 ab **
BRM32114	6,99 abc **
BRM32109	6,69 abc **
BRM32112	6,06 bc **
BRM32113	6,0 c **
Controle	3,55
FV	ANAVA (Probabilidade do teste F)
Microrganismo (M)	0,131
CV (%)	20,42

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD. Comparações entre microrganismos e controle, significativas pelo teste de Dunnett ao nível de significância 0,05 indicadas por **.

As rizobactérias avaliadas no presente trabalho foram coletadas da rizosfera do arroz de terras altas (Filippi et al., 2011). No entanto, elas proporcionaram incrementos significativos em trocas gasosas, biomassa de parte aérea e comprimento radicular de

plântulas de arroz irrigado (Tabelas 1, 2 e 4). Em arroz de terras altas, a interação entre a cultivar BRS Primavera e os isolados BRM32109, BRM32111, BRM32113, BRM32114 e *pool* de *T. asperellum* também proporcionaram aumento do comprimento radicular (Rêgo et al., 2014; Sperândio et al., 2017) e, a maior produção de biomassa foi proporcionado pela interação desta cultivar com o isolado BRM32114 (*Serratia* sp.) (Nascente et al., 2017b). Porém, em arroz irrigado, a interação entre a cultivar BRS Catiana e BRM32109 (*Bacillus* sp.) proporcionou maior produção de biomassa (Nascente et al., 2017a) e, no presente estudo, a interação entre as plantas de arroz irrigado tropical, cultivar BRS A702 CL, e os isolados BRM32113 (*Burkholderia pyrrocinia*) e BRM32109 foram os mais promissores em produção de biomassa (Tabela 2). Dessa forma, pode-se constatar que os microrganismos podem atuar de forma diferenciada inclusive dentro da mesma espécie vegetal, em diferentes cultivares, conforme já relatado por Mendes et al. (2018).

Com vistas à sustentabilidade dos sistemas de produção, esses resultados criam expectativas reais do uso dos insumos microbianos, os quais são tecnologias ambientalmente amigáveis, cujo objetivo maior é a redução do uso de insumos sintéticos como fertilizantes e fungicidas.

Apesar dos resultados promissores, investigações com estes microrganismos, BRM32113 e BRM32109 e a cultivar BRS A702 CL devem ser estendidas para comprovar os benefícios destas interações em condições de campo. Paralelamente, outras investigações devem ser encaminhadas, buscando elucidar as alterações fisiológicas e metabólicas permanentes que ocorrem dentro das plantas em decorrência desta interação benéfica capaz de proporcionar melhor desempenho agrônômico nas culturas.

CONCLUSÕES

Microbiolização de sementes com microrganismos benéficos proporcionou valores superiores de A e EiC e aplicações adicionais no solo proporcionaram maiores valores de gs;

Plantas de arroz irrigado tropical, tratadas com os isolados BRM32110, BRM32111, BRM32112 e BRM32113 apresentaram aumento médio de 19,2% na taxa fotossintética comparativamente às plantas controle;

Plantas tratadas com o *pool* de *Trichoderma asperellum*, aplicado via semente, BRM32113 aplicado via semente-planta, BRM32109 e BRM32111, aplicados via semente-solo, foram mais eficazes em proporcionar aumento de biomassa seca de parte aérea;

Os seis isolados de rizobactérias proporcionaram aumento médio de 89% no comprimento das raízes de plântulas de arroz, comparativamente às plantas controle; com destaque para BRM32111 seguido por BRM32110, BRM32114 e BRM32109;

BRM32109 e BRM32113 promoveram incremento médio de 19% no acúmulo de biomassa seca da parte aérea de plantas de arroz irrigado tropical e diferiram das plantas controle.

REFERÊNCIAS

ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARULLI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. 1. ed. Viçosa, MG, 2007. cap. 11.

AHEMAD, M.; KIBRET, M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. **Journal of King Saud University**, v. 26, p.1-20, 2014.

CHANG, Y. C.; CHANG, Y. C.; BAKER, R. Increased growth of plants in the presence of the biological control agent *Trichoderma harzianum*. **Plant Disease**, v. 70, p. 145-148, 1986.

CUEVAS, V. C.; SINOHIN, A. M.; ORAJAY, J. I. Performance of selected Philippine species of *Trichoderma* as biocontrol agents of damping off pathogens and as growth enhancer of vegetables in farmer's field. **Philippine Agricultural Scientist**, v. 88, p. 63–71, 2005.

DONAGENA, G. K. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.

FILIPPI, M. C. C.; SILVA, G. B.; 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. et al. Biocontrol of sheath blight by *Trichoderma asperellum* in tropical lowland rice. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, p. 317-324, 2015.

GONÇALVES, G. de M. O. **Atributos químicos do solo de várzea tropical cultivado com arroz irrigado em razão do manejo de nitrogênio**. 62 f. Dissertação, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

GALMÉS, J. et al. Rubisco activity in Mediterranean species is regulated by the chloroplastic CO₂ concentration under water stress. **Journal of experimental Botany**, v. 62, p. 653-665, 2011.

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

ISAWA, T.; YASUDA, M.; AWASAKI, H.; MINAMISAWA, K.; SHINOZAKI, S.; NAKASHITA, H. *Azospirillum* sp. strain B510 enhances rice growth and yield. **Microbes and Environments**, n. 25, p. 58-61. 2010.

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

KUMAR, V., LADHA, J. K. Direct seeding of rice: recente developments and future research needs. **Advances in Agronomy**, v. 111, p. 297-396, 2011.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997.

MATTOS, M. L. T.; BARRIGOSI, J. A. F.; LANNA, A. C. Impacto da orizicultura na qualidade do meio ambiente. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. **A Cultura do Arroz no Brasil**. 2. ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006.

MENDES, L. W. et al. Influence of resistance breeding in common bean on rhizosphere microbiome composition and function. **ISME Journal**, v. 12, p. 212-224, 2018.

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

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, p. 2956-2965, 2017b.

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.

QIN, R.; STAMP, P.; RICHNER, W. Impact of tillage and banded starter fertilizer on maize root growth in the top 25 centimeters of the soil. **Agronomy Journal**, v. 97, p. 674-683, 2005.

RÊGO, M. C. F.; ILKIU-BORGES, F.; FILIPPI, M. C. C.; GONÇALVES, L. A.; SILVA, G. B. Morphoanatomical and Biochemical Changes in the Roots of Rice Plants Induced by Plant Growth-Promoting Microorganisms. **Journal of Botany**, v. 2014, p. 10, 2014.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed., rev. e ampl. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, 2018.

SHAKEEL, M.; RAIS, A.; HASSAN, M. N.; HAFEEZ, F. Y. Root associated *Bacillus* sp. improves growth, yield and zinc translocation for basmati rice (*Oryza sativa*) varieties. **Frontiers in Microbiology**, v. 6, p. 1286, 2015.

SILVA, M. A. et al. Photosynthetic Capacity and Water Use Efficiency in Sugarcane Genotypes Subject to Water Deficit During Early Growth Phase, **Brazilian Archive of Biology and Technology**, v. 56, p. 735-748, 2013.

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

SOUSA, T. P.; SOUZA, A. C. A.; FILIPPI, M. C. C.; LANNA, A. C.; CORTÊS, M. V.; PINHEIRO, H. A.; SILVA, G. B. Bioagents and silicon promoting fast early upland rice growth. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, p. 3657-3668, 2018.

SPERANDIO, E. M. et al. Evaluation of rhizobacteria in upland rice in Brazil: growth promotion and interaction of induced defense responses against leaf blast (*Magnaporthe oryzae*). **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 39, p. 258-270, 2017.

UNITED NATIONS (UN), Department of Economic and Social Affairs. **World Population Prospects: The 2017 revision, Key findings and advance tables**. 46 p. 2017.

VINALE, F.; SIVASITHAMPARAM, K.; GHISALBERTI, E. L.; MARRA, R.; BARBETTI, M. J.; LI, H.; WOO, S. L.; LORITO, M. A novel role for *Trichoderma* secondary metabolites in the interactions with plants. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 72, p. 80-86, 2008.

5 BACTÉRIAS PROMOTORAS DO CRESCIMENTO RADICULAR EM PLÂNTULAS DE DOIS CULTIVARES DE ARROZ IRRIGADO POR INUNDAÇÃO (Capítulo 3)

(Artigo aceito para publicação na revista científica *Colloquium Agrariae*)

RESUMO

Para o crescimento e desenvolvimento na natureza, as plantas contam com os benefícios de microrganismos residentes em sua rizosfera. Rizobactérias promotoras de crescimento vegetal (RPCV) são exemplos desses microrganismos que interagem de forma benéfica com espécies vegetais. Portanto, a inoculação de sementes com RPCV pode representar uma alternativa importante e sustentável para melhorar o desenvolvimento inicial e a produção de plantas cultivadas. Objetivou-se com esse estudo determinar o efeito da microbiolização de sementes com RPCV no comprimento radicular de plântulas de arroz irrigado por inundação. Em condições controladas, conduziram-se dois experimentos com cultivares de arroz irrigado (BRS Catiana e BRS A702 CL), em delineamento inteiramente casualizado, com sete tratamentos e 10 repetições. Os tratamentos constituíram-se de seis microrganismos: BRM32109 (*Bacillus* sp.), BRM32110 (*Bacillus* sp.), BRM32111 (*Pseudomonas fluorescens*), BRM32112 (*Pseudomonas* sp.), BRM32113 (*Burkholderia pyrrocinia*), BRM32114 (*Serratia* sp.) e um controle (sem microrganismo). Os maiores comprimentos radiculares foram apresentados pelas sementes tratadas com os isolados BRM32110, BRM32112, BRM32109 e BRM32114. Para ambas cultivares houve significância quando comparado microrganismos e controle. Destaque para as sementes da cultivar BRS Catiana, que quando tratadas com os isolados BRM32110 e BRM32112 apresentaram aumento médio de 25,7% no comprimento radicular, em comparação com o tratamento controle. Para a cultivar BRS A702 CL, todos os microrganismos proporcionaram incrementos com um valor médio de 31% no comprimento radicular das plântulas de arroz. Com base nos resultados pode-se inferir que as RPCV proporcionam incrementos significativos no comprimento radicular de plântulas de cultivares de arroz irrigado por inundação.

Palavras-chave: bioagentes; desenvolvimento sustentável; microrganismos indutores de crescimento; *Oryza sativa*.

GROWTH PROMOTING BACTERIA ON ROOT LENGTH OF SEEDLINGS OF TWO FLOODED LOWLAND RICE CULTIVARS

ABSTRACT

For growing and development in nature, plants count with the benefits of microorganisms residing in their rhizosphere. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) are some of these microorganisms that interact in a beneficial way with plant species. Therefore, seed inoculation with PGPR can be an important and sustainable alternative to improve initial development and crop production. The aim was to determine effect of seeds microbiolization with PGPR on root length of flooded lowland rice seedlings. Under controlled conditions, two experiments were conducted with lowland rice cultivars (BRS Catiana and BRS A702 CL) in completely randomized design, with seven treatments and 10 replications. The treatments consisted of six microorganisms: BRM32109 (*Bacillus* sp.), BRM32110 (*Bacillus* sp.), BRM32111 (*Pseudomonas fluorescens*), BRM32112 (*Pseudomonas* sp.), BRM32113 (*Burkholderia pyrrocinia*), BRM32114 (*Serratia* sp.) and a control (no microorganism). Only the cultivar BRS Catiana showed difference among the treatments. The highest root length was presented by the seeds treated with the isolates BRM32110, BRM32112, BRM32109, and BRM32114. Both of cultivars had significance when compared microorganisms to the control. Highlight for seeds of cultivar BRS Catiana, that when treated with the isolates BRM32110 and BRM32112 presented an average increase of 25.7% on the root length, compared to control treatment. For the cultivar BRS A702 CL, all the microorganisms provided increments with average value of 31% in the root length of rice seedlings. Based on the results it can be inferred that PGPR provide significant increases in seedling root length of flooded lowland rice cultivars.

Key-words: bioagents; sustainable development; growth inducing microorganisms; *Oryza sativa*.

INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é considerado a base alimentar de metade da população mundial (IRRI, 2010). Por ser uma fonte rica em carboidratos, é caracterizado como importante fonte de energia para o metabolismo humano, além disso, é também fonte de proteínas, sais minerais e vitaminas do complexo B (NAVES; BASSINELO, 2006).

A área total plantada com arroz no Brasil é de aproximadamente 1,97 milhão de hectares, com produção de 12 milhões de toneladas. O arroz irrigado por inundação é plantado principalmente nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Tocantins. A área cultivada nesse sistema representa 72,6% do total de área plantada com arroz e, 89% da produção nacional, apresentando rendimento médio de 7.513 kg ha⁻¹ (CONAB, 2018).

O uso de bioagentes constitui uma opção sustentável para aumentar a produção de culturas como o arroz. Espécies de rizobactérias promotoras de crescimento vegetal (RPCV) têm sido relatadas na literatura promovendo o crescimento e desenvolvimento vegetal por meio da sinalização química que intensificam o metabolismo: das vias de hormônios vegetais, como auxinas, citocininas e giberelinas (AHEMAD; KILBRET, 2014); de enzimas relacionadas ao estresse oxidativo (RAJ et al., 2012) e com as alterações estruturais e bioquímicas nas células das plantas, induzindo, assim, a resistência sistêmica de plantas (FILIPPI et al., 2011) e; de absorção de macronutrientes como N e P, melhorando características fisiológicas como aumento em taxas fotossintéticas (NASCENTE et al., 2017a).

Existem resultados promissores de microrganismos coletados da rizosfera de arroz de terras altas proporcionando incrementos significativos no desenvolvimento das plantas (FILIPPI et al., 2011; NASCENTE et al., 2017a). No entanto, esses microrganismos podem também ser promissores para as cultivares de arroz irrigado (MENDES et al., 2017). Corroborando essa informação, estudo realizado em casa de vegetação mostrou que esses microrganismos, coletados da rizosfera do arroz de terras altas, interagiram positivamente na promoção de crescimento de arroz irrigado cultivar BRS Catiana (NASCENTE et al., 2017b).

Entretanto, ainda são poucos os resultados que explicam como estes microrganismos interagem com as plantas e quais os mecanismos envolvidos na promoção do crescimento. Portanto, tornam-se necessários mais estudos para aprofundar os conhecimentos dos efeitos benéficos proporcionados pelas RPCV em cultivares, dentro de uma mesma espécie vegetal. Por exemplo, Oliveira et al. (2003) relatam que as RPCV

podem produzir hormônios vegetais que causam melhoria na estrutura radicular das plantas. Assim, o maior desenvolvimento radicular pela inoculação com RPCV pode implicar em vários efeitos como proporcionar incrementos na absorção da água e minerais, maior tolerância a estresses como salinidade e seca, resultando em planta mais vigorosa e produtiva (HUNGRIA, 2011).

O presente trabalho teve a hipótese de que a microbiolização de sementes de arroz irrigado com microrganismos benéficos, selecionados da rizosfera do arroz de terras altas (FILLIPI et al., 2011; MARTINS, 2015), irá proporcionar maior desenvolvimento radicular em comparação com sementes não tratadas. Por isso, com esse estudo se objetivou determinar o efeito de rizobactérias no comprimento radicular de cultivares (BRS Catiana e BRS A702 CL) de arroz irrigado por inundação no ambiente tropical.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no laboratório de Microbiologia Agrícola, sede da Embrapa Arroz e Feijão, município de Santo Antônio de Goiás, em agosto de 2018. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com sete tratamentos e 10 repetições. Os tratamentos constituíram-se de seis microrganismos: BRM32109 (*Bacillus* sp.), BRM32110 (*Bacillus* sp.), BRM32111 (*Pseudomonas fluorescens*), BRM32112 (*Pseudomonas* sp.), BRM32113 (*Burkholderia pyrrocinia*), BRM32114 (*Serratia* sp.) e um controle (sem microrganismo). Os isolados de rizobactérias promotoras de crescimento vegetal (RPCV) são partes integrantes da coleção de Microrganismos Multifuncionais da Embrapa Arroz e Feijão. Características bioquímicas e classificação taxonômica dos microrganismos utilizados estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Código da coleção, origem, características bioquímicas e classificação taxonômica dos seis isolados de rizobactérias utilizadas para microbiolização de sementes de arroz irrigado cultivares BRS Catiana e BRS A702 CL.

Código ^a	Origem ^b	Cor ^c	Bioquímica ^c					Taxonomia ^c
			AIA ^d	Cel ^e	Fosf ^f	Sider ^g	Biof ^h	
BRM32109	GO/Brasil	Branca		+	+		+	<i>Bacillus</i> sp.
BRM32110	PA/Brasil	Branca		+	+	+	+	<i>Bacillus</i> sp.
BRM32111	PA/Brasil	Amarela		+	+	+	+	<i>Pseudomonas fluorescens</i>
BRM32112	GO/Brasil	Amarela		+	+	+	+	<i>Pseudomonas</i> sp.
BRM32113	PA/Brasil	Rosa	+	+		+	+	<i>Burkholderia pyrrocinia</i>
BRM32114	PA/Brasil	Rosa	+	+	+	+	+	<i>Serratia</i> sp.

Continuação tabela 1

^aNúmero do código dos isolados de rizobactérias pertencentes à coleção de microrganismos multifuncionais da Embrapa Arroz e Feijão;

^bOrigem geográfica de cada isolado;

^cCor da colônia, característica bioquímica e classificação taxonômica de cada isolado descrito por Martins (2015);

^dprodução de ácido indolacético;

^eProdução de celulase;

^fProdução de fosfatase;

^gProdução de sideróforos, metodologia descrita por Martins (2015);

^hBactéria que produz biofilme.

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 a uma absorbância de 0,7, em comprimento de onda de 540 nm, correspondendo a 1×10^8 unidades formadoras de colônia (UFC) por mL. As sementes de cada genótipo de arroz foram desinfestadas com álcool 70% por um minuto e hipoclorito de sódio por um minuto, lavadas com água destilada, e secas a temperatura ambiente (ao redor de 28 °C). As sementes foram imersas nas suspensões de células de cada bactéria para a microbiolização, e o controle imerso em água, durante 24 horas a temperatura de 25 °C, sob agitação constante, de acordo com metodologia proposta por Filippi et al. (2011).

Antes da realização da semeadura foi feito o teste de vigor e germinação das sementes utilizando metodologia recomenda por BRASIL (2009). Verificou-se que sementes da cultivar BRS A702 CL apresentaram taxa de vigor de 37,25% e germinação de 67,7%, as sementes de BRS Catiana apresentaram taxa de vigor de 97,5% e germinação de 99%. As sementes de arroz foram semeadas em tubos de ensaio contendo 15 mL de ágar-água (0,8% m/v). Os tubos foram colocados em câmara de germinação a 28 °C, com fotoperíodo de 12 horas e, o comprimento radicular das plântulas foi medido com régua graduada, antes que começasse a se desenvolver as raízes fasciculadas, aos 10 dias após a semeadura, seguindo metodologia proposta por Sperandio et al. (2017). Cada tubo de ensaio continha uma semente e constituiu uma unidade experimental.

Os dados foram submetidos à análise de variância. As médias entre os tratamentos de RPCV foram comparadas pelo teste LSD ($p \leq 0,05$) e, os tratamentos com microrganismos foram comparados individualmente com o controle pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$), analisados no pacote estatístico SAS (SAS, 1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comprimento radicular das plântulas de arroz da cultivar BRS Catiana diferiu ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos (Tabela 2). Por outro lado, não houve diferença entre os tratamentos com RPCV para a cultivar BRS A702 CL, pelo teste LSD. Além disso, sementes de arroz microbiolizadas com as rizobactérias proporcionaram comprimentos radiculares superiores das plântulas de arroz em ambas as cultivares, em comparação com as plântulas de arroz do tratamento controle.

Para a cultivar BRS Catiana, os maiores comprimentos radiculares foram proporcionados pelas sementes de arroz tratadas com o isolado BRM32110 (*Bacillus* sp.) que diferiu significativamente dos isolados BRM32111 e BRM32113 (Tabela 2). Adicionalmente, as sementes tratadas com os isolados BRM32110 e BRM32112 proporcionaram crescimento radicular de 8,9 e 8,7 centímetros respectivamente, aos 10 dias após a semeadura, diferindo das sementes do tratamento controle que demonstraram crescimento radicular de 7,0 cm. Os isolados BRM32110 e BRM32112 proporcionaram aumento médio de 24,3 e 27,1%, respectivamente, no comprimento radicular das plântulas em comparação com tratamento controle.

Com relação a cultivar BRS A702 CL, em média, a microbiolização com os diferentes isolados bacterianos aumentou em 31% o comprimento radicular das plântulas de arroz em comparação com o controle (Tabela 2). Esses resultados diferentes do efeito das RPCV nas duas cultivares de arroz irrigado por inundação, estudadas no presente experimento (BRS Catiana e BRS A702 CL) comprova as informações de Mendes et al. (2017), que fez uma revisão dos efeitos das rizobactérias nas culturas agrícolas, e relataram que as RPCV atuam de maneira diferenciada em cultivares dentro da mesma espécie vegetal. De acordo com os autores, o solo é a principal fonte de espécies microbianas colonizando a rizosfera, e o genótipo da planta impulsiona, em parte, a seleção dos microrganismos depositando exsudatos específicos na interface solo-raiz. Assim, as espécies de plantas, cultivares e tipo de solo são os principais impulsionadores da composição e funcionamento do microbioma da rizosfera. Nesse sentido, BRS Catiana e BRS A702 CL devem ter liberado diferentes exsudatos durante o processo de germinação, o que proporcionou melhor ambiente para o desenvolvimento de microrganismos distintos e por conseguinte, causando efeitos diferenciados em cada genótipo de arroz avaliado. Estudos são necessários para verificar o efeito bioquímico e fisiológico causado por essas

RPCV e identificar exatamente aonde elas causaram alterações na planta que resultou no maior comprimento radicular por diferentes agentes em cada cultivar.

Tabela 2. Comprimento radicular de plântulas de arroz irrigado tropical cultivares BRS Catiana e BRS A702 CL, com sementes microbiolizadas com seis isolados de rizobactérias promotoras de crescimento vegetal.

Comprimento radicular (cm)		
Rizobactérias	BRS Catiana	BRS A702 CL
BRM32110	8,9 a *	6,3 a *
BRM32112	8,7 ab *	5,3 a *
BRM32109	8,4 abc	6,0 a *
BRM32114	8,2 abc	6,0 a *
BRM32111	8,1 bc	7,0 a *
BRM32113	7,8 c	5,6 a *
Controle	7,0	4,6
FV	ANOVA (Probabilidade do teste F)	
Rizobactéria	0,041	0,022
CV (%)	11,77	22,06

Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste LSD. Comparações entre microrganismos e controle, significativas pelo teste de Dunnett ao nível de significância 5% indicadas por *.

Com base em resultados prévios de vigor e germinação, testados conforme recomenda BRASIL (2009), verificou-se que sementes da cultivar BRS A702 CL apresentaram baixa taxa de vigor (37,25%) e germinação (67,7%), mas, a microbiolização das sementes com as RPCV proporcionou um “arranque inicial” das plântulas, uma vez que proporcionou incrementos significativos no comprimento radicular quando comparado com o tratamento controle (Tabela 2). Esses resultados demonstram o potencial de uso dessa tecnologia para proporcionar desenvolvimento mais rápido e promover maior incremento no comprimento radicular das plântulas, mesmo com menor taxa de vigor e germinação.

Sperandio et al. (2017) compararam os isolados BRM32110 e BRM32114 com tratamento sem microrganismo em genótipo de arroz de terras altas (BRS Primavera) e concluíram que as sementes tratadas com RPCV proporcionaram aumento do comprimento radicular, corroborando com os resultados deste estudo, além de proporcionarem maior quantidade de biomassa de raiz e folha nas plantas avaliadas aos 24 dias após a emergência. Rêgo et al. (2014) caracterizaram mudanças anatômicas e bioquímicas em raízes de plantas de arroz de terras altas tratadas com os microrganismos BRM32111 e BRM32113, que podem ajudar a esclarecer as possíveis causas dos nossos resultados. Eles concluíram que ambos isolados promoveram modificações na arquitetura das raízes, como,

aumento em comprimento e diâmetro radicular, expansão do córtex e dos espaços de aerênquimas.

Os resultados proporcionados no presente estudo podem ser explicados, em parte, pela característica apresentada por alguns dos isolados, BRM32113 e BRM32114, como a produção de ácido idolacético (AIA) (Tabela 1; MARTINS, 2015). O AIA é um hormônio vegetal regulador de crescimento, que age em baixas concentrações nas regiões meristemáticas das plantas, promovendo assim, o crescimento e alongamento celular (TAIZ et al., 2017). Plântulas tratadas com BRM32113 e BRM32114 apresentaram aumento no comprimento radicular das plântulas de arroz irrigado da cultivar BRS Catiana em 11,4 e 17%, respectivamente e na BRS A702 CL, 21,7 e 30,4%, respectivamente, em comparação com as sementes não tratadas (controle). Oliveira et al. (2003) e Hungria (2011) relatam que as RPCV proporcionam maior desenvolvimento radicular e isso pode implicar em vários outros efeitos benéficos nas plantas como maior absorção da água e minerais, resultando em plantas mais vigorosas e produtivas, como já observado por Nascente et al. (2017a; 2017b)

As RPCV utilizadas neste estudo, apesar de serem microrganismos coletados em rizosfera de arroz de terras altas, proporcionaram incrementos significativos no comprimento radicular de ambas as cultivares de arroz irrigado. Portanto, a inoculação com os isolados de RPCV mostrou efeito benéfico nos genótipos de arroz, mas, torna-se necessário a realização de outros trabalhos em laboratório, casa de vegetação e campo para investigar as implicações dessas alterações em processos fisiológicos e no desenvolvimento das plantas, bem como na produtividade da cultura.

CONCLUSÕES

Os isolados BRM32110 e BRM32112 se destacaram e promoveram incremento médio de 24,3 e 27,1%, respectivamente, no comprimento de raiz das plântulas de arroz irrigado por inundação, da cultivar BRS Catiana;

Os isolados BRM32109, BRM32110, BRM32111, BRM32112, BRM32113 e BRM32114 proporcionaram incremento médio de 31% no comprimento radicular das plântulas de arroz irrigado por inundação cultivar BRS A702 CL.

REFERÊNCIAS

- AHEMAD, M.; KIBRET, M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. **Journal of King Saud University**, v.26, n.1, p.1-20, 2014. <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.jksus.2013.05.001>
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análises de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399 p.
- COMPANHIA NACIONAL de ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v.12, n.3, p.1-148, 2018.
- FILIPPI, M. C. C.; SILVA, G. B.; SILVA-LOBO, V. L.; CÔRTEZ M. V. C. B.; MORAES, A. J. G.; PRABHU, A. S. Leaf blast (*Magnaporthe oryzae*) suppression and growth promotion by rhizobacteria on aerobic rice in Brazil. **Biological Control**, v.58, n.2, p.160-166, 2011. <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.biocontrol.2011.04.016>
- HUNGRIA, M. **Inoculação com Azospirillum brasiliense: inovação em rendimento a baixo custo**. 1. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2011.
- INTERNATIONAL RICE RESEARCH (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.6, p.969-976. 1970. . <http://dx.doi.org/doi:10.1094/phyto-60-969>
- 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.
- MENDES, L. W.; RAAIJMAKERS, J. M.; HOLLANDER, M.; MENDES, R.; TSAI, S. M. Influence of resistance breeding in common bean on rhizosphere microbiome composition and function. **The ISME Journal**, v.12, n.1, p.212-224, 2017. <http://dx.doi.org/10.1038/ismej.2017.158>
- NASCENTE, A. S.; FILIPPI, M. C. C.; LANNA, A. C.; SOUZA, A. C. A.; LOBO, V. L. S.; SILVA, G. B. 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. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-016-8013-2>
- NASCENTE, A. S.; FILIPPI, M. C. C.; 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, n.32, p.25233-25242, 2017b. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-017-0212-y>

NAVES, M. M. V.; BASSINELO, P. Z. Importância na nutrição humana. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p. 17-30.

OLIVEIRA, A. L.; URQUIAGA, S.; BALDANI, J. I. **Processos e mecanismos envolvidos na influência de microrganismos sobre o crescimento vegetal**. 1. ed. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2003.

RAJ, S. N.; LAVANYA, S. N.; AMRUTHESH, K. N.; NIRANJANA, S. R.; REDDY, M. S.; SHETTTY, H. S. Histo-chemical changes induced by PGPR during induction of resistance in pearl millet against downy mildew disease. **Biological Control**, v.60, n.2, p.90-102, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.10.011>

RÊGO, M. C. F.; ILKIU-BORGES, F.; FILIPPI, M. C. C.; GONÇALVES, L. A.; SILVA, G. B. Morphoanatomical and Biochemical Changes in the Roots of Rice Plants Induced by Plant Growth-Promoting Microorganisms. **Journal of Botany**, v.2014, n.1, p.1-10, 2014. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/818797>

SHAKEEL, M.; RAIS, A.; HASSAN, M. N.; HAFEEZ, F. Y. Root associated Bacillus sp. improves growth, yield and zinc translocation for basmati rice (*Oryza sativa*) varieties. **Frontiers in Microbiology**, v.6 n.1286, p.1-12, 2015. <http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2015.01286>

SPERANDIO, E. M.; VALE, H. M. M.; REIS, M. S.; CORTES, M. V. C. B.; LANNA, A. C.; FILIPPI, M. C. C. 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. <http://dx.doi.org/10.1007/s11738-017-2547-x>

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cultura do arroz é considerada socioeconomicamente uma das mais importantes do mundo. Estima-se que até o ano de 2030 será necessário aumentar em 40% a produção de arroz, para alimentar os países consumidores. Microrganismos benéficos, como por exemplo, rizobactérias promotoras de crescimento vegetal (RPCV) e fungos do gênero *Trichoderma* spp. representam importante alternativa para aumentar a produção de culturas sem precisar aumentar o nível do uso de insumos sintéticos (fertilizantes químicos e agrotóxicos). A associação de microrganismos benéficos e espécies vegetais são dependentes de alguns fatores. Acredita-se que anos de coevolução e seleção natural provocou a interação específica de algumas espécies de microrganismos com espécies de plantas. Ou seja, esses microrganismos agem de maneira diferenciada em diferentes culturas e, até mesmo em diferentes cultivares dentro de uma mesma espécie. Características do solo, teor de nutrientes, umidade e temperatura também são fatores que afetam a persistência dos microrganismos em associação com as plantas. Portanto, é importante avançar em novos estudos para elucidar as alterações específicas (fisiológicas e/ou morfológicas) que esses microrganismos causam em genótipos de arroz irrigado. Os resultados desse trabalho permite inferir que o uso dos microrganismos benéficos proporciona incrementos significativos no crescimento e desenvolvimento da cultura, sendo, portanto, uma tecnologia promissora. Estudos são necessários para comprovar os bons resultados obtidos em casa de vegetação em condições de campo.