

BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS E ADUBAÇÃO NITROGENADA EM CULTIVARES DE ARROZ¹

SALOMÃO LIMA GUIMARÃES^{2*}, DANIELA TIAGO SILVA CAMPOS³, VERA LÚCIA DIVAN BALDANI⁴, JORGE JACOB-NETO⁵

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da inoculação de bactérias diazotróficas e da adubação nitrogenada na produção de grãos e no acúmulo de nitrogênio em plantas de arroz. Foram utilizadas sementes de arroz das cultivares IR42 e IAC4440, as quais foram inoculadas com turfa contendo as estirpes ZAE94 (BR 11417 - *Herbaspirillum seropedicae*) e M130 (BR 11340 - *Burkholderia* sp.). Foram utilizados os primeiros 20 cm de um Planossolo Série Ecologia. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições e quatro plantas por vaso. Foram aplicadas três doses de nitrogênio (0, 50 e 100 kg N ha⁻¹), avaliando-se os parâmetros massa seca da parte aérea, acúmulo de nitrogênio na parte aérea e nos grãos, além da produção de grãos e da quantificação da população de diazotróficos nas plantas. Efeitos positivos da inoculação foram observados nas duas cultivares estudadas em todos os parâmetros avaliados, principalmente no acúmulo de nitrogênio nas plantas e nos grãos.

Palavras-chave: Inoculante. *Herbaspirillum*. *Burkholderia*. Nitrogênio.

DIAZOTROPHIC BACTERIA AND NITROGEN FERTILIZATION IN RICE CULTIVARS

ABSTRACT - The purpose of this study was to evaluate the effect of diazotrophic bacteria inoculation and nitrogen fertilization on grain yield and nitrogen accumulation in rice plants. We used seeds of rice cultivars IR42 and IAC4440, which were inoculated with peat containing the strains ZAE94 (BR 11417 - *Herbaspirillum seropedicae*) and M130 (BR 11340 - *Burkholderia* sp.). We used the first 20 cm of an Albaqualf Ecological Series. The experiment was conducted in a completely randomized design with four replications and four plants per pot. We applied three levels of nitrogen (0, 50 and 100 kg N ha⁻¹) and evaluated the parameters of shoot dry weight, nitrogen accumulation in shoots and grains, in addition to grain yield and the quantification of population of diazotrophic plants. Positive effects of inoculation were observed in both cultivars studied in all parameters evaluated, mainly in the accumulation of nitrogen in plants and grains.

Keywords: Inoculant. *Herbaspirillum*. *Burkholderia*. Nitrogen.

*Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 14/05/2010; aceito em 30/08/2010

²Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, UFMT, Campus Rondonópolis, 78735-901, Rondonópolis – MT; salomao.guimaraes@pq.cnpq.br

³Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, UFMT, Campus Cuiabá, 78060-900, Cuiabá – MT; camposdts@yahoo.com.br

⁴Embrapa Agrobiologia, 23890-000, Seropédica – RJ; vera@cnpab.embrapa.br

⁵Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, UFRRJ, 23890-000, Seropédica – RJ; jacob@ufrj.br

INTRODUÇÃO

Atualmente, o arroz é cultivado em todo o mundo, ocupando uma área superior a 152 milhões de hectares, com produção anual em torno de 580 milhões de toneladas de grãos em casca. A China é o maior produtor de arroz do mundo, contribuindo com cerca de 34% da produção mundial (IBGE, 2009). O Brasil ocupa a nona posição na produção de grãos de arroz, com uma produção estimada para 2009 de 12 milhões de toneladas e um rendimento médio de 3,3 toneladas de grãos por hectare, o que corresponde a aproximadamente 2% da produção mundial (IBGE, 2009).

No Brasil, o arroz é produzido em sistema de várzeas (terras baixas) e de sequeiro (terras altas). O sistema de várzeas apresenta condições ótimas para o desenvolvimento da cultura quanto à disponibilidade de água, predominando a irrigação controlada, onde alguns genótipos podem atingir produtividades de até 12 toneladas por hectare. O método de cultivo de várzeas responde com cerca de 40% da área total cultivada com arroz, contribuindo com 60% da produção nacional (CONAB, 2010) e com 86% de toda a produção de grãos deste cereal no mundo (LADHA et al., 1997).

Dentre os elementos essenciais, o nitrogênio é o mais importante para a obtenção de alta produtividade das culturas anuais, principalmente o arroz, pois é absorvido em maiores quantidades, devido à grande demanda deste nutriente pelas plantas. A deficiência de nitrogênio limita a produtividade das culturas, tanto em clima temperado como tropical, sendo um fator limitante em 93 % das regiões da América tropical. (SANCHES; SALINAS, 1982).

O nitrogênio é um nutriente fundamental para a produção das culturas, porém é considerado o mais problemático no solo, uma vez que a maior parte está ligada à matéria orgânica e apenas uma pequena fração encontra-se disponível para as plantas. Para disponibilizá-lo, a transformação do N₂ em formas disponíveis para as plantas requer a quebra da tripla ligação entre os átomos de N pela fixação espontânea, industrial ou biológica. A fixação biológica, realizada por bactérias diazotróficas, representa o processo de grande importância, pois é responsável pela incorporação de quantidades consideráveis do N atmosférico, tanto em ecossistemas naturais quanto em sistemas agrícolas (SANTOS et al., 2008).

Os benefícios que as plantas recebem das bactérias não são apenas o nitrogênio fixado biologicamente. Vários trabalhos mostraram que as bactérias presentes tanto na rizosfera quanto nas plantas, estimulam o crescimento radicular, através da produção de substâncias promotoras do crescimento em plantas. Com isso, são produzidos fitorhormônios como o ácido 3-indolacético (CROZIER et al., 1988), citocininas (CACCIARI et al., 1988) e giberlinas (BOTTINI et al., 1989).

Outros benefícios que também podem ser

citados é a solubilização de fosfatos, o controle biológico, dentre outros. Em plantas de arroz, trigo, milho, braquiária e cana-de-açúcar estes benefícios já foram observados (GYANESHWAR et al., 2002; CANUTO et al., 2003). Recentemente foi observado que a inoculação de algumas estirpes de bactérias diazotróficas do gênero *Rhizobium* pode conferir às plantas maior tolerância à salinidade (FREIRE et al., 2010).

Uma das possíveis soluções para a diminuição nas aplicações de fertilizantes nitrogenados nos cultivos de arroz é ampliar os estudos de interação planta bactéria diazotrófica, uma vez que o arroz faz associação com diversas espécies de bactérias capazes de fixar o nitrogênio atmosférico passando-o diretamente à planta.

Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi estudar o efeito da inoculação de bactérias diazotróficas endofíticas e da adubação nitrogenada na produção de grãos de arroz.

MATERIAL E MÉTODOS

Os estudos foram realizados na Embrapa Agrobiologia, localizada no município de Seropédica, RJ, cujas características climáticas apresentam dominância do clima quente e úmido com regime pluviométrico caracterizado por um período chuvoso na época de verão e estiagem no período de inverno. A condução dos experimentos de inoculação em plantas de arroz com bactérias diazotróficas endofíticas ocorreu em casa de vegetação.

Neste estudo, em função dos trabalhos já realizados com a inoculação de bactérias diazotróficas em plantas de arroz, procurou-se utilizar cultivares de arroz contrastantes quanto ao potencial para a fixação biológica de nitrogênio (FBN): IAC4440, que apresenta baixo potencial para FBN e IR42, que apresenta alto potencial para a FBN (KUNDU; LADHA, 1995; WU et al., 1995).

Para o preparo do inoculante, o veículo utilizado foi a turfa, a qual teve o pH corrigido para 7,0 com carbonato de cálcio. Em seguida, foi esterilizada por 2 vezes em autoclave a 120 °C por 20 minutos, com intervalo de 24 h entre cada esterilização (STRALIOTTO, 1999).

As estirpes utilizadas foram ZAE94 (BR11417 - *Herbaspirillum seropedicae*) e M130 (BR11340 - *Burkholderia* sp.), as quais foram multiplicadas em meio DYGS por um período de 24 h. Em seguida, uma alíquota com 15 mL do caldo bacteriano foi adicionada em sacos de polipropileno contendo 35 g de turfa previamente esterilizada. A concentração de células bacterianas aplicadas ao inoculante foi de 10⁸ células por mL. Após esta etapa, o inoculante foi incubado por um período de 24 horas (fase de maturação).

Para a inoculação, as sementes das duas cultivares de arroz, primeiramente foram imersas numa

solução contendo goma arábica a 3% como adesivo, em seguida foram adicionadas ao inoculante e colocadas para secar à sombra. Utilizou-se 250 g de inoculante para cada 20 kg de sementes de arroz (FERREIRA, et al., 2010). Após a secagem, as sementes foram usadas para a semeadura nos vasos.

O experimento em vasos foi montado e conduzido em casa de vegetação. O modelo estatístico utilizado foi o delineamento inteiramente casualizado, com duas cultivares de arroz (IR42 e IAC4440); três doses de nitrogênio mineral na forma de sulfato de amônio (0, 50 e 100 kg N ha⁻¹); duas bactérias diazotróficas ZAE94 – *Herbaspirillum seropedicae* e M130 – *Burkholderia* sp. e quatro repetições. Para todos os tratamentos contendo as bactérias diazotróficas, as plantas foram inoculadas por meio da pelotização das sementes.

O plantio foi feito por meio da semeadura em vasos contendo 4 kg de solo oriundo dos primeiros 20 cm de um Planossolo Série Ecologia (Ramos et al., 1973). De acordo com a análise de solo, cada vaso recebeu o equivalente a 20 kg de P₂O₅ e 50 kg de K₂O. Quanto ao nitrogênio, para os tratamentos que continham este nutriente, a aplicação foi feita em solução, aos 30 dias após a germinação das sementes. Em cada vaso, três sementes foram semeadas e as plantas até a realização das coletas.

Cada coleta foi feita nos estádios de desenvolvimento do arroz: a primeira foi feita no estágio de florescimento, a segunda no enchimento dos grãos, e a terceira no estágio de maturação dos grãos. Os parâmetros avaliados foram matéria seca da parte aérea, conteúdo de nitrogênio da parte aérea e dos grãos e produção de grãos (TEDESCO, 1982).

Na análise dos dados foi utilizado o programa estatístico Sisvar. Os efeitos dos tratamentos foram verificados pelo teste F. Para a comparação das médias, foi utilizado o teste LSD a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises dos resultados obtidos com a cultivar IR42 mostraram que no estágio de florescimento foram observadas diferenças estatísticas entre as médias dos tratamentos com as duas estirpes de bactérias diazotróficas inoculadas nas plantas de arroz, em comparação com as doses de nitrogênio utilizadas. Foram verificados maiores acúmulos de matéria seca nos tratamentos adubados com nitrogênio mineral nas dosagens de 50 e 100 kg N ha⁻¹.

Ainda o estágio de florescimento, os tratamentos inoculados com *H. seropedicae* e que receberam 100 kg N ha⁻¹, apresentaram acúmulos maiores de matéria seca. Para o tratamento inoculado com *Burkholderia* sp. e que receberam 50 e 100 kg N ha⁻¹ o acúmulo de matéria seca foi maior. Mesmo não havendo diferença significativa entre as plantas

inoculadas com *H. seropedicae* e o controle, para as três doses de fertilizante utilizadas, incrementos de 12% na matéria seca foram observados (Tabela 1).

Por outro lado, as plantas inoculadas com *B. seropedicae* mostraram acúmulo de nitrogênio em torno de 12 % em relação ao controle. Quando adubadas com 50 kg N ha⁻¹ e inoculadas com *H. seropedicae*, estas plantas apresentaram acúmulo de nitrogênio de 46 %. Resultados similares também foram obtidos nos tratamentos inoculados com *Burkholderia* sp. (Tabela 2).

Para a cultivar IAC4440, no estágio de florescimento, diferenças significativas entre os tratamentos foram observadas para o acúmulo de matéria seca, incluindo efeitos positivos da inoculação das plantas com *H. seropedicae*, cujos valores mostraram-se acima do controle, o qual não recebeu inoculação de bactérias diazotróficas nem foi adubado, e sendo estatisticamente iguais aos tratamentos com doses de 50 e 100 kg N.ha⁻¹.

Já para as plantas inoculadas com *Burkholderia* sp., mesmo após a adubação nitrogenada, não foram observadas diferenças em relação ao controle (Tabela 1). Além disso, experimentos com doses de adubos nitrogenados em arroz indicaram que nem sempre ocorrem respostas positivas dessa cultura em relação ao nitrogênio mineral aplicado, o que pode estar relacionado com outros fatores como as condições climáticas e o potencial de mineralização do N no solo (RHODEN, 2006).

Efeitos positivos também foram mostrados no acúmulo de nitrogênio, onde aumentos de 34 % em relação ao controle ocorreram nas plantas inoculadas com *H. seropedicae*. Estes valores foram maiores que os obtidos nas plantas adubadas com 50 e 100 kg N.ha⁻¹ (Tabela 2).

Os resultados encontrados neste estudo são similares aos obtidos nos experimentos conduzidos por Baldani et al. (2000) sob condições de vasos em casa de vegetação. Os autores inocularam *Burkholderia* sp., estirpe M130, *Herbaspirillum seropedicae* e *Burkholderia* sp., estirpe M209, em plantas de arroz e observaram que houve uma contribuição variando entre 11 e 20 % no nitrogênio acumulado na matéria seca das plantas de arroz. Também observaram que não houve diferença significativa entre os tratamentos no aumento da produção dos grãos e que a contribuição da FBN por estas bactérias foi inferior a 5%.

No estágio de enchimento dos grãos foi observada a mesma tendência com os dados obtidos na floração, sendo que as plantas da cultivar IR42 inoculadas com as bactérias diazotróficas mostraram maiores incrementos de matéria seca quando em conjunto com a adubação nitrogenada (Tabela 1). Esses resultados também se confirmam para o acúmulo de nitrogênio, pois plantas adubadas com 50 kg N ha⁻¹ juntamente com a inoculação de *Burkholderia* sp. obtiveram acúmulo de nitrogênio igual aos tratamentos com 100 kg N ha⁻¹. Tendência similar

Tabela 1. Efeito da inoculação de bactérias diazotróficas e da adubação nitrogenada no acúmulo de matéria seca em plantas de arroz, cultivares IR42 e IAC4440, nos estádios de florescimento, enchimento e maturação de grãos, sob condições de casa de vegetação (médias de quatro repetições).

		Estádio de florescimento		
		Doses de Nitrogênio (kg.ha ⁻¹)*		
Cultivares	Tratamentos	0	50	100
IR42	ZAE94	12,45 A b	12,51 A b	16,50 A a
	M130	9,72 B b	14,81 A a	15,08 A a
	Controle	11,14 AB b	14,56 A b	16,00 A a
IAC4440	ZAE94	12,60 A a	10,84 A a	12,44 B a
	M130	9,75 B a	11,16 A a	11,26 AB a
	Controle	9,57 B b	11,94 A ab	14,21 A a
		Estádio de enchimento dos grãos		
		Doses de Nitrogênio (kg.ha ⁻¹)		
Cultivares	Tratamentos	0	50	100
IR42	ZAE94	12,54 A b	14,83 A ab	17,24 A a
	M130	10,29 A b	16,58 A a	19,04 A a
	Controle	12,27 A b	16,70 A a	18,21 A a
IAC4440	ZAE94	11,95 A a	12,12 A a	11,61 B a
	M130	10,66 AB b	11,41 A ab	13,72 AB a
	Controle	9,16 B b	13,67 A a	14,50 A a
		Estádio de maturação de grãos		
		Doses de Nitrogênio (kg.ha ⁻¹)		
Cultivares	Tratamentos	0	50	100
IR42	ZAE94	11,38 B b	16,19 AB a	15,21 A a
	M130	14,12 A a	14,52 B a	14,79 A a
	Controle	11,59 AB c	17,96 A a	14,40 A b
IAC4440	ZAE94	14,90 A a	13,70 A a	15,28 A a
	M130	14,16 A a	13,77 A a	15,38 A a
	Controle	14,04 A a	14,64 A a	15,90 A a

ZAE94 – *Herbaspirillum seropedicae*; M130 – *Burkholderia* sp.

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD ($P < 0,05$). Letras maiúsculas nas colunas referem-se aos tratamentos de inoculação+doses de nitrogênio. Letras minúsculas nas linhas referem-se às doses de nitrogênio.

Tabela 2. Efeito da inoculação de bactérias diazotróficas e da adubação nitrogenada no acúmulo de nitrogênio em plantas de arroz, cultivares IR42 e IAC4440 sob condições de casa de vegetação (médias de 4 repetições).

		Acúmulo de N na parte aérea (g.planta ⁻¹) – Estádio de Florescimento		
		Doses de Nitrogênio (kg.ha ⁻¹)		
Cultivares	Tratamentos	0	50	100
IR42	ZAE94	0,056 A b	0,073 A ab	0,081 A a
	M130	0,051 A b	0,074 A a	0,079 A a
	Controle	0,050 A b	0,079 A a	0,083 A a
IAC4440	ZAE94	0,078 A a	0,053 AB b	0,086 A a
	M130	0,059 AB ab	0,049 B b	0,071 AB a
	Controle	0,058 B a	0,070 A a	0,059 B a
		Acúmulo de N na parte aérea (g.planta ⁻¹) – Estádio de enchimento dos grãos		
		Doses de Nitrogênio (kg.ha ⁻¹)		
Cultivares	Tratamentos	0	50	100
IR42	ZAE94	0,061 A b	0,074 A b	0,076 A
	M130	0,050 A b	0,086 B a	0,086 A a
	Controle	0,062 A b	0,086 AB a	0,095 A a
IAC4440	ZAE94	0,067 A a	0,073 A a	0,064 A a
	M130	0,052 A a	0,065 A ab	0,070 A a
	Controle	0,052 A b	0,080 A a	0,077 A a

ZAE94 – *Herbaspirillum seropedicae*; M130 – *Burkholderia* sp.

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD ($P < 0,05$). Letras maiúsculas nas colunas referem-se aos tratamentos de inoculação+doses de nitrogênio. Letras minúsculas nas linhas referem-se às doses de nitrogênio.

foi observada com *H. seropedicae*, uma vez que os maiores valores no acúmulo de nitrogênio foram encontrados nos tratamentos com esta estirpe seguidos de adubação com nitrogênio mineral (Tabela 2).

Efeitos positivos também foram observados neste estágio para a cultivar IAC4440, onde foram observados acúmulos de matéria seca nas plantas inoculadas e seguidas de adubação nitrogenada. No

entanto, incrementos de 30% e 16% na matéria seca foram observados em plantas inoculadas com *H. seropedicae* e *Burkholderia* sp. respectivamente, quando comparadas ao controle sem inoculação. Já o nitrogênio acumulado foi maior nas plantas adubadas. Contudo, plantas inoculadas com *H. seropedicae* proporcionaram acúmulos de 28% em relação ao controle sem bactérias (Tabela 2).

A fase de maturação dos grãos é a etapa final do ciclo da planta e os resultados obtidos no acúmulo de massa seca na cultivar IR42, mostraram-se similares àqueles encontrados na fase de enchimento de grãos. Valores maiores foram encontrados nos tratamentos adubados com 50 kg N ha⁻¹ e também pelos tratamentos cujas plantas foram inoculadas com *H. seropedicae* e que tiveram adubação com 50

kg N ha⁻¹. Plantas inoculadas com *Burkholderia* sp. apresentaram valores estatisticamente iguais aos das plantas adubadas com 100 kg N ha⁻¹ e superiores à testemunha absoluta, com acúmulo de massa seca de 22% (Tabela 1).

A análise de nitrogênio mostrou que houve diferença estatística significativa entre os tratamentos, destacando-se aqueles que continham as plantas inoculadas com *Burkholderia* sp. os quais apresentaram valores no acúmulo de nitrogênio acima dos tratamentos adubados com 100 kg N ha⁻¹. Em termos percentuais, esses valores representam 42% em relação à testemunha absoluta e de 25% quando comparados com as plantas que obtiveram adubação de 100 kg N ha⁻¹.

Tabela 3. Efeito da inoculação de bactérias diazotróficas e da adubação nitrogenada no acúmulo de nitrogênio em plantas de arroz, cultivares IR42 e IAC4440 sob condições de casa de vegetação (médias de 4 repetições).

Cultivares	Tratamentos	Acúmulo de N na parte aérea (g.planta ⁻¹)		
		Doses de Nitrogênio (kg.ha ⁻¹)		
		0	50	100
IR42	ZAE94	0,033 B b	0,048 A a	0,049 A a
	M130	0,054 A a	0,041 A b	0,045 A ab
	Controle	0,038 B b	0,051 A a	0,043 A ab
IAC4440	ZAE94	0,052 A a	0,043 A a	0,042 A a
	M130	0,049 A a	0,051 A a	0,049 A a
	Controle	0,045 A a	0,052 A a	0,050 A a
Cultivares	Tratamentos	Produção de grãos (g.planta ⁻¹)		
		Doses de Nitrogênio (kg.ha ⁻¹)		
		0	50	100
IR42	ZAE94	4,75 B b	7,78 A a	5,16 B b
	M130	6,34 A a	6,90 A a	6,75 A a
	Controle	5,23 AB b	7,06 A a	6,26 AB ab
IAC4440	ZAE94	7,04 A ab	5,70 B b	7,26 A a
	M130	6,99 A a	7,40 A a	7,12 A a
	Controle	6,83 A a	7,06 AB a	7,45 A a
Cultivares	Tratamentos	Acúmulo de nitrogênio nos grãos (g.planta ⁻¹)		
		Doses de Nitrogênio (kg.ha ⁻¹)		
		0	50	100
IR42	ZAE94	0,038 B b	0,070 A a	0,046 B b
	M130	0,052 A a	0,053 B a	0,059 A a
	Controle	0,043 AB b	0,059 B a	0,050 AB ab
IAC4440	ZAE94	0,062 A a	0,046 B b	0,056 A ab
	M130	0,060 A b	0,073 A a	0,058 A b
	Controle	0,054 A a	0,054 B a	0,059 A a

ZAE94 – *Herbaspirillum seropedicae*; M130 – *Burkholderia* sp.

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD (P < 0,05). Letras maiúsculas nas colunas referem-se aos tratamentos de inoculação+doses de nitrogênio. Letras minúsculas nas linhas referem-se às doses de nitrogênio.

Os dados obtidos no estádio para a cultivar IAC4440 no estádio de maturação de grãos mostraram que não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos, sendo observada uma tendência positiva no acúmulo de massa seca nas plantas inoculadas e que receberam adubação nitrogenada. Em relação ao acúmulo de N na matéria seca, também não houve diferença significativa. Entretanto, observou-se que a inoculação das duas estirpes de bactérias contribuiu com incrementos de 11 % em relação ao controle (Tabela 3).

Experimentos de inoculação em trigo, con-

duzidos por Sala et al., (2005) mostraram que não houve diferenças significativas no acúmulo de massa seca entre os tratamentos testados. Porém, respostas positivas no acúmulo de nitrogênio da parte aérea foram verificadas no genótipo ITD - 19. Outros experimentos de inoculação com estirpes de *Azospirillum* spp. nesta cultura também foram realizados por Rodrigues et al. (2000). Estes autores observaram que não houve efeito da inoculação sobre a produção de grãos. No entanto, o teor de nitrogênio nos grãos aumentou significativamente nos tratamentos com bactérias e sem a adição de nitrogênio. Foi observa-

do que cerca de 70% do nitrogênio acumulado tinha sido translocado das partes vegetativas para os grãos.

À medida que um experimento de inoculação com bactérias diazotróficas é conduzido, dentre outros parâmetros, espera-se alcançar aumentos na produção de grãos, de forma a contribuir para uma agricultura mais sustentável. Neste experimento, nos dados referentes à produção de grãos (Tabela 3), para a cultivar IR42, foram observados aumentos em relação à testemunha absoluta em todos os tratamentos com plantas inoculadas com *H. seropedicae* e *Burkholderia* sp. seguidas de adubação nitrogenada equivalente a 50 kg N.ha⁻¹. Embora não tenha sido verificada diferença estatística significativa entre as plantas inoculadas com a estirpe M130 e ZAE94 daquelas sem inoculação, foram obtidos aumentos de produção em torno de 21 % no tratamento inoculado com aquela estirpe (Tabela 3).

Vários trabalhos de inoculação com estirpes de *Azospirillum* forma realizados com plantas de arroz crescidas em casa de vegetação. Foram obtidos aumentos na produção de grãos variando de 18% a 32% (NAYAK et al., 1986) e de 112 a 115% (WATANABE; LIN, 1984)

Quanto ao acúmulo de nitrogênio nos grãos, incrementos de 64 % foram encontrados no tratamento com plantas inoculadas com a estirpe ZAE94 e adubadas com 50 kg N.ha⁻¹ em relação ao controle não inoculado nem adubado. Quando foram comparados os valores obtidos a partir da inoculação da estirpe ZAE94 seguida da adubação com 50 kg N.ha⁻¹ com as dosagens de 50 kg N.ha⁻¹ e 100 kg N.ha⁻¹, foram verificados que o acúmulo de nitrogênio nos grãos foi de 20% e 36% respectivamente (Tabela 3).

O estudo realizado por Campos (2003), com diferentes cultivares de arroz inundado sob condições de campo, mostrou que dentre as cultivares mais eficientes quanto ao índice de colheita de nitrogênio, a IR42 contribuiu com aumentos em torno de 60 %. Este autor ressaltou que quanto maior o índice de colheita de N, maior é a proporção de nitrogênio acumulado nos grãos em relação à parte aérea.

Os ganhos na produção de grãos para a cultivar IAC4440, foram em média 3 % maiores nas plantas inoculadas com as bactérias diazotróficas em relação ao controle, uma vez que diferenças significativas entre os tratamentos não foram observadas. Esses percentuais aumentaram quando se analisou o acúmulo de nitrogênio nos grãos, onde a inoculação com as estirpes aumentou em até 15 % o nitrogênio acumulado nos grãos.

Neste parâmetro, os dados mostraram diferenças entre os tratamentos, onde as plantas adubadas com nitrogênio mineral foram estatisticamente iguais àquelas que foram inoculadas com as bactérias. Entretanto, as plantas inoculadas com a estirpe M130 e adubadas com 50 kg N. ha⁻¹ produziram grãos que acumularam 35% de nitrogênio em relação ao controle (Tabela 3).

Experimentos de inoculação com *Burkholderia vietnamiensis* em solos ácidos do Vietnã e cultivados com arroz, mostraram que a inoculação promoveu incrementos de até 22 % na produção de grãos (TRAN VAN et al., 2000).

Aumentos na produção de grãos e no conteúdo de nitrogênio dos grãos na cultivar IAC4440 também foram observados em experimentos realizados por Ferreira (2003), cujas contribuições variaram de 13% a 19% em plantas que foram inoculadas com a estirpe *H. seropedicae*.

Resultados similares foram obtidos em experimentos de inoculação com *Azospirillum* spp. na cultura do milho, com aumentos de 17% na produção de grãos (CAVALLET et al., 2000). Estes autores observaram que a inoculação contribuiu para o aumento na produção dos grãos, independente do manejo da adubação nitrogenada. A adubação com N, isoladamente, não aumentou a produtividade dos grãos de milho, sugerindo que os efeitos da bactéria podem ser outros, além da fixação biológica de nitrogênio, como por exemplo, efeitos hormonais que promovem o aumento do volume radicular.

O nitrogênio acumulado nos grãos da cultivar IR42 foi proporcionalmente maior que o N acumulado nos grãos da cultivar IAC4440, indicando que a IR42 pode ser mais eficiente na translocação de nitrogênio das partes vegetativas para os grãos.

De acordo com Guimarães et al. (2003), a inoculação de bactérias diazotróficas na cultivar Guarani, contribuiu para o aumento no conteúdo de nitrogênio e produção de grãos nos experimentos conduzidos sob condições de vasos em casa de vegetação. Esses efeitos positivos da inoculação apontam para a utilização mais cautelosa de fertilizantes nitrogenados e implicam em economia com a aplicação de N nas lavouras de arroz.

A aplicação de adubos nitrogenados em culturas de importância econômica como o arroz, faz com que os custos de produção se tornem elevados. Isso faz com se intensifiquem as buscas por novas alternativas que visem um melhor aproveitamento do nitrogênio disponível na atmosfera.

CONCLUSÕES

A inoculação com *H. seropedicae* e *Burkholderia* sp. contribuiu para incrementos na matéria seca, acúmulo de nitrogênio e produção de grãos de arroz nas cultivares IR42 e IAC4440;

A melhor dose de nitrogênio em associação com as bactérias diazotróficas estudadas é de 50 kg N.ha⁻¹.

REFERÊNCIAS

BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I.;

- DÖBEREINER, J. Inoculation of rice plants with the endophytic diazotrophs *Herbaspirillum seropedicae* and *Burkholderia* spp. **Biology Fertility** v. 30, n. 5, p. 485-491, 2000.
- BOTTINI, R. et al. Identification of gibberellins A1, A3 and iso-A3 in cultures of *Azospirillum lipoferum*. **Plant Physiology**, v. 90, n. 1, p. 45-47, 1989.
- CACCIARI, I. et al. Phytohormone-like substances produced by single and mixed diazotrophic cultures of *Azospirillum* and *Arthrobacter*. **Plant and Soil**, v. 115, n. 2, p. 151-153, 1989.
- CAMPOS, D. V. B. et al. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio para a cultura do arroz sob inundação. **Revista Agronomia**, Seropédica, v. 37, n. 2, p. 41-46, 2003.
- CANUTO, E. L. et al. Respostas de plantas micro-propagadas de cana-de-açúcar à inoculação de bactérias diazotróficas endofíticas. **Revista Agronomia**, Seropédica, v. 37, n. 2, p. 67-72, 2003.
- CAVALLET, L. E. et al. Produtividade do milho em resposta à aplicação de nitrogênio e inoculação das sementes com *Azospirillum* spp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 129-132, 2000.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Indicadores Agropecuários**. 2010. Disponível em <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 25 ago. 2010.
- CROZIER, A. et al. Analysis of indole-3-acetic acid and related indolis in culture medium from *Azospirillum lipoferum* and *A. brasilense*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 54, n. 11, p. 2833-2837, 1988.
- DÖBEREINER, J.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I. **Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não leguminosas**. Brasília: Embrapa-SPI, 1995. p. 60.
- FERREIRA, J. S. et al. Seleção de veículos para o preparo de inoculante com bactérias diazotróficas para arroz inundado. **Revista Agronomia**, Seropédica, v. 37, n. 2, p. 6-12, 2003
- FERREIRA, J. S.; BALDANI, J. I.; BALDANI, V. L. D. Seleção de inoculantes à base de turfa contendo bactérias diazotróficas em duas variedades de arroz. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 179-185, 2010.
- FREIRE, A. L. O., RODRIGUES, T. J. D., MIRANDA, J. R. P. Fixação Biológica de Nitrogênio e crescimento de plantas de *Leucaena leucocephala* (Lam) De Wit.) sob salinidade. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 1, p. 90-96, 2010.
- GUIMARÃES, S. L., BALDANI, J. I., BALDANI, V. L. D. Efeito da inoculação de bactérias diazotróficas endofíticas em arroz de sequeiro. **Revista Agronomia**, Seropédica, v. 37, n. 2, p. 25-30, 2003.
- GYANESHWAR, P. et al. *Herbaspirillum* colonization increases growth and nitrogen accumulation in aluminium-tolerant rice varieties. **New Phytologist**, v. 154, n. 1, p. 131-145, 2002.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola 2008**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 06 fev. 2009.
- KUNDU, D. K., LADHA, J. K. Engancing soil nitrogen use and biological nitrogen fixation in wetland rice. **Experimental Agriculture**, v. 31, n. 3, p. 261-278, 1995.
- LADA, J. K. et al. Prospects and problems of BNF in rice production: A critical assessment. In: PALACIOS, R.; MORA, J.; NEWTON, W. E. (Ed.). **New horizons in nitrogen fixation**. Netherlands: Kluwer Academic Publisher, 1997. p. 677-682
- NAYAK, D. N., LADHA, J. K., WATANABLE, I. The fate of marker *Azospirillum lipoferum* inoculated into rice and its effect on growth, yield and N₂ fixation of plants studied by acetylene reduction ¹⁵N₂ feeding and ¹⁵N dilution techniques. **Biology and Fertility of Soils**, v. 2, n. 1, p. 7-14, 1986.
- RAMOS, D. P., CASTRO, A. F., CAMARGO, M. N. Levantamento de solos da área da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 8, n. 6, p. 1-27, 1973.
- RHODEN, A. C. et al. Relação entre características de solos de várzea e a absorção de nitrogênio pelo arroz irrigado em dois cultivos sucessivos em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 12, n. 3, p. 325-331, 2006.
- RODRIGUES, O. et al. Nitrogen translocation in wheat inoculated with *Azospirillum* and fertilized with nitrogen. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1473-1481, 2000.
- SALA, et al. Ocorrência e efeito de bactérias diazotróficas em genótipos de trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3 p. 345-352, 2005.
- SANCHEZ, P. A.; SALINAS, J. G. Low-input tech-

nology for managing oxisols and ultisols in tropical America. **Advances in Agronomy**, v. 34, n. 1, p. 279-406, 1982.

SANTOS, C. E. R. S. et al. Fixação simbiótica do N₂ em leguminosas tropicais. In: FIGUEIREDO, M. V. B. et al. **Microrganismos e Agrobiodiversidade: o novo desafio para a agricultura**. Guaíba: Agrolivros, 2008, 560 p.

STRALIOTTO, R. et al. Diversity of rhizobia nodulating common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) isolated from brazilian tropical soils. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 71, n. 3, p. 531-543, 1999.

TEDESCO, M. J. **Extração simultânea de N, P, K, Ca e Mg em tecido de planta por H₂O₂-H₂SO₄**. Porto Alegre: UFRGS, 1982. 23 p. (Informativo interno, 1).

TRAN VAN, V. et al. Repeated beneficial effects of rice inoculation with strain of *Burkholderia vietnamiensis* on early and late yield components in low fertility sulphate acids soils of Vietnam. **Plant and Soil**, v. 218, n. 2 p. 273-284, 2000.

WATANABE, I.; LIN, C. Response of wetland rice to inoculation with *Azospirillum lipoferum* and *Pseudomonas* sp. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 30, n. 2 p. 117-124, 1984.

WU, P. et al. Molecular-marker-facilitated investigation on the ability to stimulate N₂ fixation in the rhizosphere by irrigated rice plants. **Theoretical Applied Genetics**, v. 91, n. 8, p. 177-1183, 1995.