

## TOLERÂNCIA DO ARROZ VERMELHO À DEFICIÊNCIA HÍDRICA SOB INCREMENTAÇÃO DE INOCULANTES À BASE DE *G. diazotrophicus*

Renata Priscila Almeida Silva; Carlos Henrique Salvino Gadêlha Meneses

Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Universidade Estadual da Paraíba,  
[re.priscilaalmeida@hotmail.com](mailto:re.priscilaalmeida@hotmail.com); Departamento de Biologia, CCBS e Programa de Pós-Graduação em Ciências  
Agrárias - Universidade Estadual da Paraíba, [chmeneses@gmail.com](mailto:chmeneses@gmail.com).

### INTRODUÇÃO

O arroz vermelho, é o arroz mais antigo cultivado no mundo e o primeiro introduzido no Brasil pelos portugueses no século XVI, é assim chamado por apresentar pericarpo de coloração vermelha. Atualmente, seu cultivo está restrito a pequenas áreas do semiárido nordestino, destacando-se como principais produtores da região, a Paraíba (Vales do Rio Piancó e do Rio do Peixe) e o Rio Grande do Norte (Vale do Rio Apodi), e em menor expressão, os estados do Ceará, Pernambuco, Bahia, além de Minas Gerais (PEREIRA e MORAIS, 2014). O arroz vermelho, o arroz branco e o vermelho espontâneo pertencem à mesma espécie, *Oryza sativa* L. (BOÊNO et al., 2011), no Brasil, são considerados dois sistemas de produção, o de várzea, arroz alagado irrigado por inundação, e o de terras altas, cultivado em condições de sequeiro dependente da água das chuvas ou irrigado por aspersão, tendo este último, o déficit hídrico como principal fator limitante no desenvolvimento da cultura (GUIMARÃES et al., 2006). Diante de tais condições adversas, as plantas respondem com alterações morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e moleculares, como forma de adaptação à nova condição imposta.

Tendo a seca como uma das principais limitações para a produção de alimentos no mundo inteiro (YANG et al., 2009), por meio de interações com microrganismos as plantas podem desenvolver mecanismos de adaptação às adversidades ambientais (PEIXOTO NETO et al., 2004). Dentre essas interações encontram-se aquelas relacionadas com os microrganismos denominados endofíticos, que podem produzir produtos de potencial interesse biotecnológico (AZEVEDO, 1998), como a bactéria endofítica diazotrófica, *Gluconacetobacter diazotrophicus*, promotora de crescimento vegetal. Esses microrganismos utilizam diferentes mecanismos para promover o crescimento vegetal, como a produção de fitormônios, solubilização de nutrientes do solo, proteção contra patógenos e estresses abióticos, fixação biológica de nitrogênio atmosférico, entre outros (HAYAT et al., 2010).

Neste sentido, este trabalho teve como objetivo, avaliar os efeitos dos tratamentos de inoculação com *G. diazotrophicus* no arroz vermelho, em função do manejo de deficiência hídrica, na fase vegetativa de desenvolvimento, por meio de parâmetros fisiológicos como a quantificação da concentração de carbono interno (Ci) e eficiência instantânea de carboxilação (EIC), e de crescimentos como a massa seca da parte aérea e raízes.

### METODOLOGIA

#### Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado no horto florestal e no Laboratório de Ecofisiologia de plantas cultivadas - ECOLAB, ambos localizados no Campus I da Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande-PB.

### Fatores em estudo e tratamentos

O experimento foi realizado em condições controladas com o cultivo do arroz vermelho (*O. sativa* L.), genótipo 405 Embrapa Meio Norte, constando de duas condições de inoculação com a bactéria endofítica *G. diazotrophicus* (I1= sementes não inoculadas e I2= sementes inoculadas), e plantas submetidas a quatro diferentes condições de restrição hídrica, sendo U1= 30%; U2= 50%; U3= 70% e U4= 100% da capacidade de campo, o ciclo da restrição hídrica foi mantido durante os estádios de desenvolvimento vegetativo, V3 à V5, após esse período as plantas de todos os tratamentos foram irrigadas normalmente. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em um esquema fatorial 2x4, sendo oito tratamentos com quatro repetições, totalizando 32 parcelas, onde cada parcela foi constituída de um lisímetro de drenagem, no qual foram semeadas 70 sementes, que depois de germinadas foi realizado um desbaste, totalizando 60 plântulas por parcela.

### Variáveis em estudo

Ao final do experimento foram coletados o material vegetal de três plantas úteis por parcela, realizando-se a partição de fitomassa seca em: folhas e colmos (parte aérea), e raízes. Estas porções foram colocadas em estufa de circulação de ar-forçada a 70°C, por 48 horas até perder todo o volume de água, com posterior pesagem em balança de precisão para obtenção dos resultados de fitomassa seca. Foram também avaliadas as trocas gasosas, como: Concentração de carbono interno (Ci) ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e eficiência instantânea de carboxilação (EIC) ( $A/C_i$ ) [ $(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) \cdot (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$ ], utilizando-se o analisador de gás infravermelho, IRGA (ACD, modelo LCPro, Hoddesdon, UK), com fluxo de ar de 300 mL.min<sup>-1</sup> e fonte de luz acoplada de 1200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para as avaliações.

### Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e comparando-se as médias por meio do teste de Tukey a 5% de significância, para as condições de inoculação, e analisando-se por regressão linear os níveis de restrição hídrica, utilizando-se do programa SIGMAPLOT (2008).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da análise da estimativa do número mais provável (NMP) da bactéria diazotrófica presente em raízes e folhas de plantas de arroz vermelho, avaliadas sob estresse hídrico durante o estágio vegetativo, revelou que em todas as amostras de tecidos que receberam o tratamento com a estipe PAL5 foi detectado o crescimento bacteriano, o que não foi verificado nos tratamentos controle (Tabela 1). Os valores da densidade bacteriana obtidos na avaliação foram satisfatórios, com concentrações maiores que 10<sup>4</sup> unidades formadoras de colônia de *G. diazotrophicus* por grama de tecido vegetal (104 UFC g<sup>-1</sup>).

Tabla 1. Estimativa do número mais provável (Log do n° células g<sup>-1</sup>) de *G. diazotrophicus* PAL5 presente nas raízes e folhas de plantas de arroz vermelho.

Tratamento	Meio de Cultura	Reprodutivo	
		Raízes	Folhas
Não inoculado	LGI-P**	N.D.	N.D.
PAL5	LGI-P**	4.65 ± 0.11*	4.01 ± 0.39*

\*Média ± desvio padrão (n=3), \*\*Meio LGI-P (semi seletivo para *Gluconacetobacter* spp.). N.D. (Não detectada).

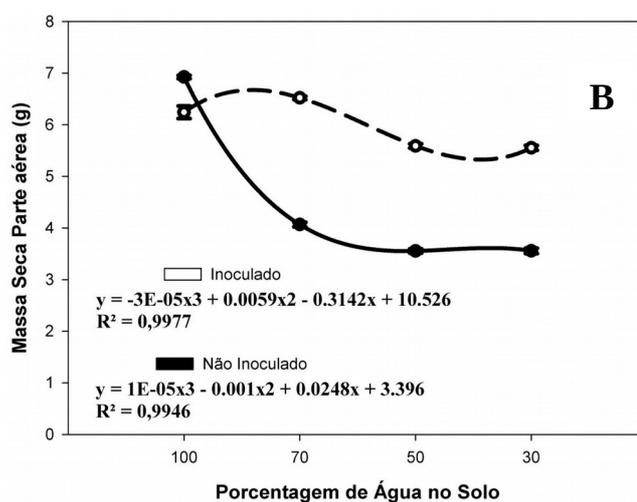
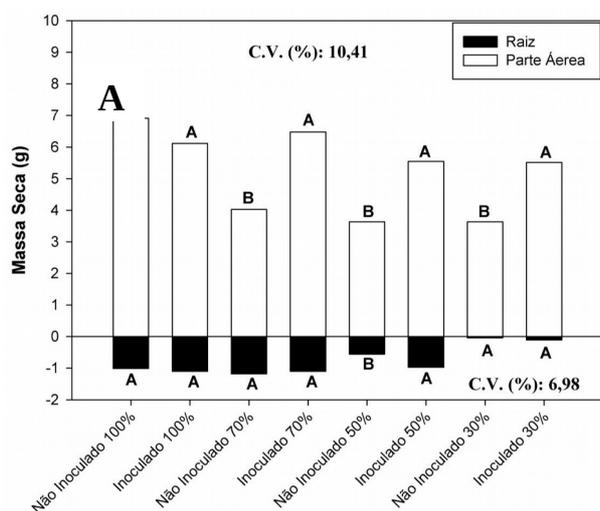
A partir desses resultados podemos inferir que o microrganismo obteve êxito no processo de colonização, Kuss (2006) em seus estudos afirma que o sucesso da associação entre microrganismos endofíticos e plantas hospedeiras, está em os microrganismos superarem os impedimentos físicos e químicos estabelecidos pelos vegetais, e assim, estarem ocupando e se multiplicando dentro dos tecidos do hospedeiro, promovendo os benefícios esperados de promoção do crescimento vegetal.

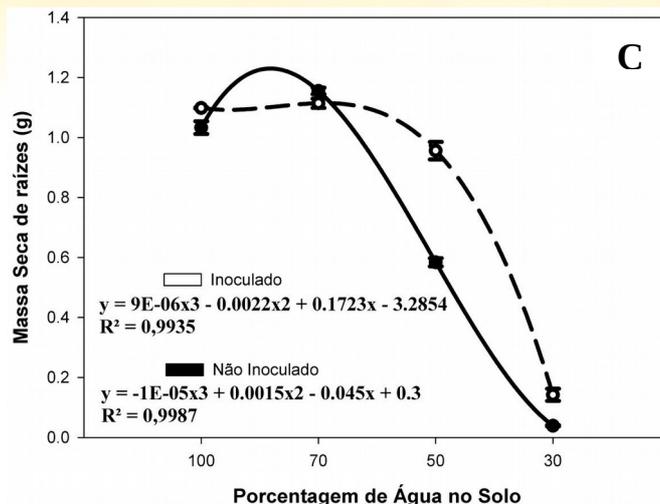
Para a variável massa seca, os resultados não foram diferentes, as plantas tratadas com a bactéria endofítica *G. diazotrophicus* apresentaram maiores incremento de massa seca da parte aérea (MSPA) (folhas + colmos) em comparação com as plantas não inoculadas, dentro de cada nível de porcentagem de água no solo (Figura 1A). Com relação a massa seca da raiz (MSR) as plantas inoculadas e não inoculadas expressaram em média valores iguais, dentro de cada nível de restrição hídrica, havendo efeito significativo apenas para as plantas à 50 % da CC (Figura 1A).

É possível constatar que houve diferença significativa na massa seca da parte aérea de plantas de arroz vermelho, inoculadas e não inoculadas, em função da diminuição da porcentagem de água no solo, os dados foram avaliados por meio da análise de regressão (Figura 1B). Assim como se pode verificar a influência dos níveis de porcentagem de água no solo na variável resposta, massa seca das raízes (MSR) (Figura 1C).

O crescimento de todas as partes da planta é afetado negativamente, sob estresse hídrico (DUQUE e SETTER, 2013), em geral, ocorre regulação do crescimento, principalmente da parte aérea com o objetivo de diminuir a superfície de evaporação. No entanto, pode haver maior desenvolvimento do sistema radicular como uma alternativa para melhor captação de água e nutrientes do solo. Em planta de arroz não é diferente, as principais características de tolerância à seca estão relacionadas a redução na área foliar (NGUYEN et al., 1997) e a habilidade das raízes em explorar camadas mais profundas do solo (UGA et al., 2013).

Contudo, é possível perceber que a bactéria *G. diazotrophicus* proporcionou às plantas inoculadas melhores resultados com relação ao incremento e/ou manutenção da massa seca da parte aérea e das raízes mesmo sob déficit hídrico, fazendo uso dos mecanismos de crescimento vegetal e indução da tolerância à estresses abióticos, para mitigar os efeitos negativos do estresse hídrico.



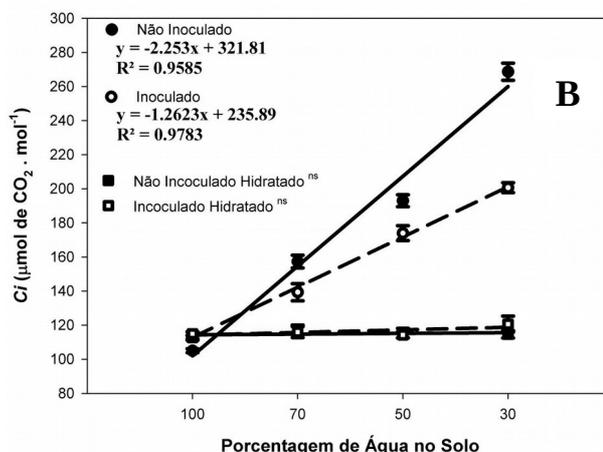
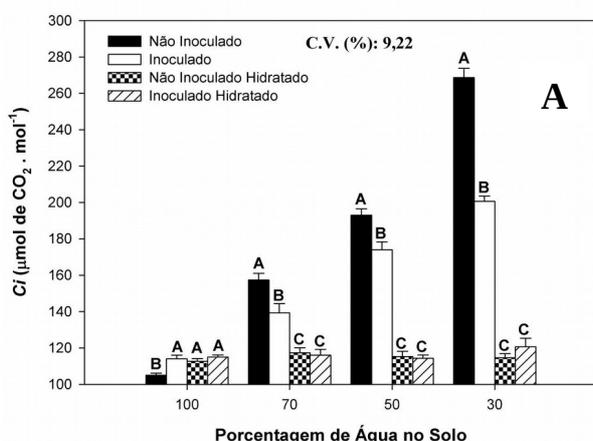


**Figura 1.** A) Valores médios da massa seca da parte aérea e massa seca de raiz de plantas de arroz vermelho, inoculadas e não inoculadas, sob diferentes condições de restrição hídrica. B) Massa seca da parte aérea (MSPA) e C) Massa seca de raízes (MSR) de planta de arroz vermelho, inoculadas e não inoculadas, em função de diferentes níveis de porcentagem de água no solo.

Para a análise das médias da variável concentração de carbono interno (Ci), foi verificado efeito significativo dos tratamentos dentro de cada nível de porcentagem de água no solo (Figura 2A). Com maior acúmulo de Ci principalmente nos tratamentos não inoculado seguidos do inoculado, dentro dos níveis de 70, 50 e 30% da CC, com maiores incrementos na taxa de Ci à 30% da CC para o tratamento não inoculado ( $272 \text{ mmol de CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ ) onde o estresse foi mais severo.

Foi verificado efeito significativo dos diferentes níveis de porcentagem de água no solo na concentração de Ci de plantas de arroz vermelho inoculadas e não inoculadas (Figura 2B). O que não foi verificado para os tratamentos hidratados, onde os diferentes níveis de água no solo não influenciaram na concentração de Ci dessas plantas.

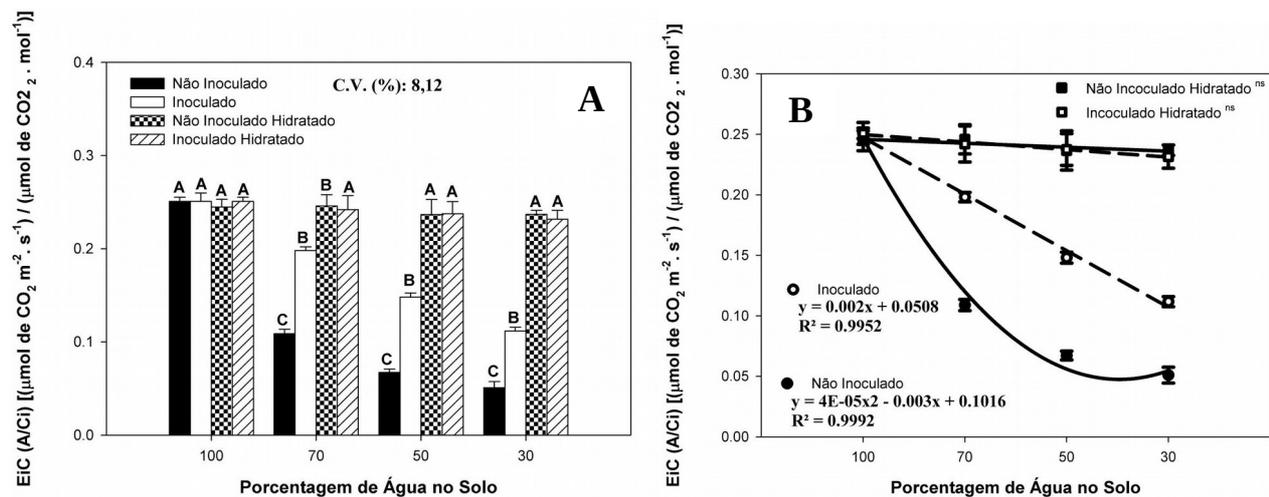
Para isso Machado et al. (1999) sugerem que o aumento de Ci, pode estar relacionado à queda na atividade de enzimas envolvidas no processo de fixação do  $\text{CO}_2$ . E Larcher, 2006 vem a confirmar, quando afirma que os valores considerados elevados na Ci no interior das folhas, indica que o  $\text{CO}_2$  não está sendo utilizado para a síntese de açúcares pelo processo fotossintético, com acúmulo desse gás, indicando que algum fator não estomático estaria interferindo nesse processo.



**Figura 2. A)** Efeito de diferentes tratamentos, na concentração de carbono interno (Ci) ( $\mu\text{mol de CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ ) em plantas de arroz vermelho, dentro de cada nível de restrição hídrica. **B)** Concentração de carbono interno (Ci) ( $\mu\text{mol de CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ ) de plantas de arroz vermelho, não inoculadas, inoculadas, não inoculadas hidratadas e inoculadas hidratadas, em função de diferentes níveis de porcentagem de água no solo. NS = não significativo.

Na avaliação da eficiência instantânea de carboxilação (EiC) em plantas de arroz vermelho sob diferentes tratamentos, foi verificado que dentro da condição 100 % da CC as médias dos tratamentos são estatisticamente iguais entre si, não havendo diferenças significativas (Figura 3A), considerando que este nível não passou por estresse. Dentro dos níveis 70, 50 e 30 % da CC, as médias para EiC diferiram entre os tratamentos, comportando-se de maneira semelhantes dentro de cada nível.

As plantas que foram submetidas a hidratação após o período de estresse hídrico, ao serem avaliadas as médias da EiC para os tratamentos inoculado hidratado e não inoculado hidratados, não foram significativas, uma vez que estas não estavam mais sob a influência das restrições hídricas (Figura 3B). No entanto, foi verificado efeito significativo dos diferentes níveis de água no solo na EiC das plantas inoculadas e não inoculadas.



**Figura 3. A)** Eficiência Instantânea de carboxilação (EiC) (A/Ci) de plantas de arroz vermelho sob diferentes tratamentos, dentro de cada nível de restrição hídrica. **B)** Eficiência instantânea de Carboxilação (EiC) de plantas de arroz vermelho sob diferentes tratamentos em função de diferentes níveis de porcentagem de água no solo. NS = não significativo.

A eficiência instantânea de carboxilação (EiC) é a razão entre a fotossíntese líquida (A) e a concentração de carbono interno (Ci). Nesta relação foram constatadas maiores taxas de EiC para as plantas inoculadas, quando comparadas as plantas não inoculadas, considerando que o fator Ci diminuiu (foi menor do que nas plantas não inoculadas) e a fotossíntese aumentou, bem como a eficiência de carboxilação. As plantas de arroz vermelho não inoculadas, no entanto, ocorreu o contrário, maiores taxas de Ci e diminuição da fotossíntese líquida e da eficiência de carboxilação, sugerindo nesta última avaliação como já citado anteriormente, fatores não estomáticos relacionados a atividade fotossintética.

## CONCLUSÃO

O déficit hídrico influenciou negativamente todos os parâmetros avaliados, no entanto, a interação planta-bactéria promoveu incrementos no crescimento das plantas mesmo sob tais condições adversas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, J. L. Microrganismos endofíticos. In: MELO, I. S. de; AZEVEDO, J. L. de. **Ecologia microbiana**. Jaguariuna: Embrapa-CNPMA, 486p, 1998.
- BOÊNO, J. A.; ASCHERI, D. P. R.; BASSINELLO, P. Z. Qualidade tecnológica de grãos de quatro genótipos de arroz-vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.7, p.718-723, 2011.
- DUQUE, L.O., SETTER, T.L. Cassava response to water deficit in deep pots: root and shoot growth, ABA, and carbohydrate reserves in stems, leaves and storage roots. **Tropical Plant Biology**, v. 6, p. 199–209, 2013.
- GUIMARÃES, C. M.; SANTOS, A. B.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; STONE, L. F. Sistemas de cultivo. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, p. 53-96, 2006.
- HAYAT, R.; ALI, S.; AMARA, U.; KHALID, R.; AHMED, I. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. **Annals of Microbiology**, v.60, p.579-598, 2010.
- KUSS, A.V. **Fixação de nitrogênio por bactérias diazotróficas em cultivares de arroz irrigado**. Santa Maria - RS, Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria – UFRB, 109p. 2006.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2006. 753p.
- MACHADO, E. C.; MEDINA, C. L.; GOMES, M. M. A. Teor de água no substrato de crescimento e fotossíntese em laranjeira “Valença”. **Bragantia**, Campinas, v.58, n.2, p.217-226, 1999.
- NGUYEN, H.T.; BABU, R.C.; BLUM, A. Breeding for drought resistance in rice: physiology and molecular genetics considerations. **Crop Science**, v. 37, p. 1426-1437, 1997.
- PEIXOTO NETO, P. A. S.; AZEVEDO, J. L.; CAETANO, L. C. Microrganismos endofíticos em plantas: status atual e perspectivas. **Boletim Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas**, v.3, n.4, p.69-72, 2004.
- PEREIRA, J. A.; de MORAIS, O. P. **As variedades de arroz vermelho brasileiras**. Teresina: Embrapa Meio-Norte (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 229), p. 38, 2014.
- UGA, Y.; SUGIMOTO, K.; OGAWA, S.; RANE, J.; ISHITANI, M.; HARA, N.; KITOMI, Y.; INUKAI, Y.; ONO, K.; KANNO, N.; INOUE, H.; TAKEHISA, H.; MOTOYAMA, R.; NAGAMURA, Y.; WU, J.Z.; MATSUMOTO, T.; TAKAI, T.; OKUNO, K.; YANO, M. Control of root system architecture by Deeper rooting 1 increases rice yield under drought conditions. **Nature Genetics**, v. 45, p. 1097-1102, 2013.
- YANG, J.; KLOPPER, J. W.; RYU, C. M. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. **Trends in plant science**, v. 14, n. 1, p. 1-4, 2009.