

## DESEMPENHO DO FEIJÃO-CAUPI (*VIGNA UNGUICULATA* (L. WALP) ASSOCIADO A FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM AMBIENTE SALINO

Wilma Dias Santana<sup>1</sup>,  
Kerolla Morgana Oliveira Cunha<sup>1</sup>,  
Nathália Rodrigues da Silva<sup>1</sup>,  
Joedna Silva<sup>1</sup>,  
Rodrigo de Castro Tavares<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Agronomia; Universidade Federal do Tocantins; 77402-970; Gurupi - TO – Brasil. E-mail: [rocatavares@mail.uft.edu.br](mailto:rocatavares@mail.uft.edu.br)

### RESUMO

O feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L. Walp) é uma espécie bastante apreciada na mesa do consumidor, pode ser cultivado nas diversas condições de solo e épocas do ano, e surge ainda como uma fonte alternativa para o aproveitamento de solos salinizados. As raízes do feijão caupi associadas a Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs), estabelece uma simbiose denominada de micorriza e pode trazer uma série de benefícios para a planta e para o fungo. Objetivou-se com o presente estudo avaliar a produção de matéria seca e a nutrição mineral de plantas de feijão caupi associadas a fungos micorrízicos arbusculares e submetidas a diferentes níveis de salinidade. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial com 2 (presença e ausência de fungos micorrízicos arbusculares) x 5 níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (0,7; 1,2; 2,2; 3,2 e 4,2 dS m<sup>-1</sup>), com 3 repetições. Os resultados obtidos indicam que a associação com FMAs permitiu maior absorção dos nutrientes avaliados, exceto o nitrogênio e proporcionou aumento de MSPA.

**Termos de Indexação:** Estresse salino. Micorrizas. Nutrição. Sustentabilidade.

## COWPEA PERFORMANCE (*VIGNA UNGUICULATA* (L. WALP) ASSOCIATED WITH ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN SALINE ENVIRONMENT

### SUMMARY

The cowpea (*Vigna unguiculata* (L. Walp) is a species very appreciated in the consumer's table, can be grown in different soil conditions and seasons, and still is an alternative source for the use of saline soils. The cowpea roots associated with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) provides a symbiosis known as mycorrhiza and can bring a lot of benefits for the plant and the fungus. The objective of this study was to evaluate the dry matter production and mineral nutrition of cowpea plants associated with arbuscular mycorrhizal fungi and subjected to different levels of salinity. The experiment was conducted in a greenhouse in a completely randomized design in a factorial design with 2 (with and without AMF) x 5 electrical conductivity of irrigation water (0.7, 1.2, 2, 2, 3.2 and 4.2 dS m<sup>-1</sup>), with 3 replications. The results indicate that the association with AMF allowed greater absorption of nutrients evaluated, except nitrogen and provided an increase of MSPA.

**Index Terms:** Salt stress. Mycorrhizae. Nutrition. Sustainability

### INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios da ciência agrônômica nas últimas décadas tem sido aumentar a produção de alimentos. Apesar dos avanços tecnológicos que permitiram o aumento da produção por unidade de área, a incorporação de novas

glebas ao setor produtivo, ainda é uma prática comum. Porém, os custos da implementação de novas fronteiras podem ser muito altos, tanto para a economia, pela demanda por infraestrutura, quanto para o meio ambiente, quando os limites dessas fronteiras avançam sobre biomas importantes como a Floresta Amazônica, o Pantanal e o Cerrado (Univesp, 2014).

O avanço da fronteira agrícola vem acontecendo de forma rápida e desordenada. Hoje o Bioma Cerrado passa por um avançado processo de descaracterização. Suas árvores estão dando lugar a vastos cultivos de soja, algodão, cana, eucalipto e pastagens. Além de ameaçar a importante biodiversidade, tal quadro de devastação põe em risco uma região que é o berço das águas das principais bacias hidrográficas brasileiras (Central do Cerrado, 2014). Dessa forma, faz-se necessário o desenvolvimento de alternativas que reduzam ou mesmo impeçam o avanço das áreas agrícolas nos biomas brasileiros.

Nesse contexto, o aproveitamento de áreas degradadas, como os solos afetados por sais, (Barnard et al., 2010) pode ser uma alternativa bastante viável visando ao mesmo tempo a expansão dessas áreas agrícolas e a contenção da exploração dos biomas.

No Brasil, grandes extensões de áreas estão restritas ao cultivo por problemas de salinidade. Áreas essas que poderiam ser aproveitadas no processo produtivo desde que manejadas corretamente. De acordo com Tavares et al., (2012), a mitigação dos efeitos negativos da elevada concentração de sais no solo por métodos convencionais é muitas vezes caro e demorado. Porém, o estudo de microrganismos edáficos tolerantes a ambientes diversos pode ser uma alternativa bastante viável por viabilizar o cultivo em tais áreas. Estudos indicam que a associação simbiótica de plantas com Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs) promovem maior tolerância das plantas aos vários tipos de estresse (Silva Júnior et al., 2009), inclusive ao estresse salino (Barnard et al., 2010).

Os benefícios provenientes da associação de plantas com FMAs são inúmeros: o aumento da superfície de absorção de nutrientes que são transportados para as raízes, redução dos danos causados por patógenos, proteção contra estresses abióticos (Mota, 2007) e aumento do volume de solo explorado pelas raízes, auxiliando-as a obter nutrientes de baixa mobilidade, especialmente o fósforo (Oliveira & Oliveira, 2004).

A colonização com micorriza arbuscular é relatada como responsável por aumentar o crescimento de várias espécies de plantas sob condições de salinidade, fato que tem sido demonstrado em algumas espécies (Juniper & Abbott, 2006), inclusive no feijoeiro, cultura de interesse no presente trabalho.

O feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L. Walp)), é bastante apreciado na mesa do consumidor e sua produção, beneficiamento e comercialização constitui-se em um mercado altamente promissor. Essa leguminosa, além de contribuir como a principal fonte de proteína vegetal para a população rural da Região Nordeste do Brasil (Assis Júnior et al., 2007), tem sido frequentemente objeto de estudo em locais de clima árido e semiárido, onde é comum a ocorrência de solos com elevadas concentrações de sais (Parida & Das, 2004).

Dentre os principais fatores de interesse por pesquisas envolvendo o feijão caupi podem-se destacar o grau moderado de tolerância à salinidade (Assis Júnior et al., 2007) e a facilidade que a espécie apresenta para ser colonizada por FMAs (Silva et al., 2006). Essa espécie pode ser uma excelente alternativa, principalmente associada aos FMAs para compor programas que visam viabilizar a produção sustentável em áreas sob condições de estresse salino.

Objetivou-se com o presente estudo avaliar a produção de matéria seca e a nutrição mineral de plantas de feijão caupi associadas a fungos micorrízicos arbusculares e submetidas a diferentes níveis de salinidade.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará (UFC), em Fortaleza, Ceará, Brasil (3°44' S e 38°33' W). A região apresenta um clima do tipo Aw' segundo a classificação de Köppen, e se localiza numa altitude de 20 m acima do nível do mar. A temperatura média diária no interior da casa de vegetação foi de 31 °C ± 3,3 °C.

O solo utilizado foi coletado na profundidade de 0-20 cm, no Campus do Pici/UFC, classificado como Argissolo Vermelho Amarelo Distrocoeso arênico (Embrapa, 2006).

**Tabela 1** - Propriedades químicas da camada superficial (0-20 cm) do Argissolo Vermelho Amarelo utilizado no experimento.

Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	P	C	N	pH	CE
cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>				mg kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>		H <sub>2</sub> O	dS m <sup>-1</sup>
1,95	0,70	0,03	0,10	8,0	7,08	0,72	6,0	0,29

O solo foi seco ao ar, destorroado, tamisado em peneira de 2 mm de diâmetro e autoclavado (1 atm a 121 °C) por 2 horas. Foram utilizados vasos com 1,5 kg de solo, onde realizou-se uma adubação orgânica com vermicomposto na dosagem equivalente de 30 toneladas por hectare.

A inoculação com FMAs foi realizada antes do plantio das sementes. As espécies utilizadas foram *Glomus clarum*, *Glomus intraradices* e *Glomus AZI12*, sendo as duas primeiras espécies obtidas do banco do inóculo do Setor de Microbiologia do Solo do Departamento de Ciências do Solo da UFC e a terceira do Setor de Microbiologia da Embrapa Cerrado. O inóculo foi adicionado no terço médio superior do vaso, sendo o mesmo constituído de 30 g de solo contendo cerca de 82 esporos por grama de inóculo e raízes colonizadas com hifas de FMAs. Ainda nesta etapa, foi realizada uma inoculação com estirpes de rizóbios comerciais selecionadas para o *Vigna unguiculata* (L. Walp) para viabilizar o suprimento de nitrogênio via fixação simbiótica. Nas parcelas que não receberam os FMAs foram adicionados 5 mL do filtrado do inóculo, com a finalidade de uniformizar a microbiota.

As sementes foram selecionadas quanto ao tamanho e forma (sementes comerciais). No quinto dia após a semeadura, realizou-se o desbaste, onde foram deixadas duas plântulas por vaso. Depois de 50 dias da semeadura, o experimento foi coletado, ocasião em que as plantas foram separadas em raiz e parte aérea.

Os níveis de salinidade do solo foram induzidos de forma a se obter diferentes condutividades elétricas (CE). Os níveis de salinidade de: 0,7; 1,2; 2,2; 3,2 e 4,2 dS m<sup>-1</sup> foram obtidos pela adição de NaCl, CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O e MgCl<sub>2</sub>, na proporção de 7:2:1, obedecendo à relação entre a CEa e concentração (mmolc L<sup>-1</sup> = CE x 10), extraída de Rhoades *et al.* (1992). Foi utilizada água de abastecimento urbano. A quantidade de água aplicada em cada vaso foi calculada considerando uma lâmina de lixiviação de 20%. As plantas foram irrigadas com água destilada até os 25 dias, após este período, iniciou-se a irrigação dos tratamentos com solução salina.

**Tabela 2** - Caracterização química da água de abastecimento urbano utilizada nos tratamentos de salinidade

Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	pH	CE	RAS
mmolc L <sup>-1</sup>				mmolc L <sup>-1</sup>					dS m <sup>-1</sup>	
1,1	1,6	3,3	0,2	4,8	-	1,3	0,1	8,1	0,7	2,9

A coleta do experimento foi realizada aos 60 dias após a instalação. Inicialmente, os nódulos radiculares foram separados das raízes e secos em estufa a 65 °C por 72 h, obtendo a matéria seca. Na colonização micorrízica (CM), as raízes sofreram clareamento pelo aquecimento em solução de KOH a 10%. Em seguida, foram coradas de acordo com a metodologia adaptada por Vierheilig *et al.* (1998). A quantificação foi realizada pelo método da interseção, onde observou-se a presença de estruturas fúngicas na região do córtex radicular, com auxílio de um microscópio estereoscópico.

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 (inoculadas e não inoculadas com FMA) x 5 níveis de salinidade, com 3 repetições. Os resultados foram submetidos à análise de variância e de regressão, utilizado os procedimentos proc glm e proc reg; model y = x / xpx; run - uit, respectivamente do software estatístico SAS/STAT® versão 8.2.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A colonização das raízes de feijão caupi pelos Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs) não promoveu efeito significativo sobre os teores de nitrogênio na parte aérea das plantas ( $p > 0,6$ ). E ainda, não houve diferença significativa entre os teores de nitrogênio na parte aérea das plantas e salinidade do meio (Figura 1). Aragão *et al.*, 2010 trabalhando com absorção, fluxo no xilema e assimilação do nitrato em feijão-caupi evidenciou decréscimo no fluxo de nitrato nas raízes das plantas submetidas à salinidade.

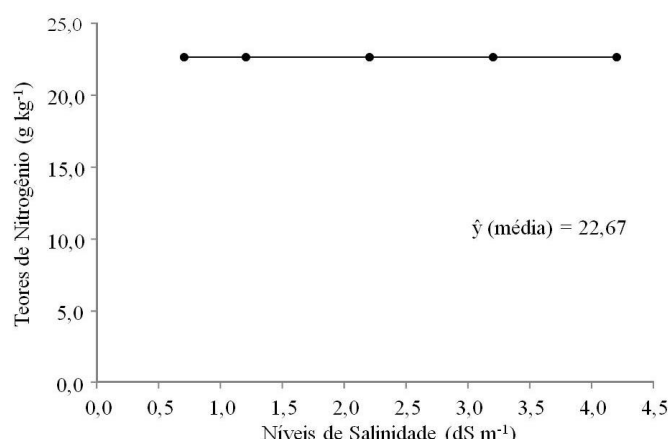
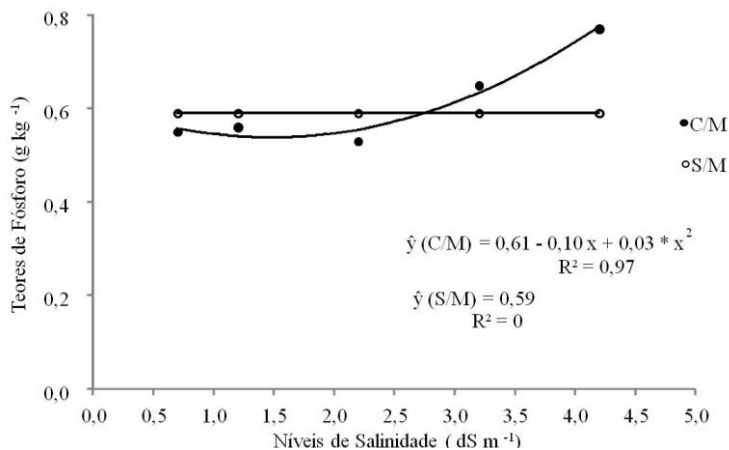


Figura 1: Efeito da salinidade sobre os teores de nitrogênio na parte aérea de plantas de feijão caupi.

desdobramento dos tratamentos. Assim, observou-se que as plantas micorrizadas acumularam maior quantidade de fósforo na parte aérea do que as plantas não micorrizadas (controle). Em razão da carência de resultados na literatura sobre a eficiência dos FMAs na absorção de fósforo em ambientes salinos foi utilizado no presente estudo resultados de trabalhos voltados para a eficiência de FMA na absorção de fósforo, porém em áreas não salinizadas. Silva *et al.*, 2009 estudando FMAs em feijão caupi constataram que os tratamentos micorrizados apresentaram incremento na absorção de fósforo de até 260% sobre as plantas sem inoculação. Oliveira & Oliveira (2005) trabalhando colonização micorrízica em cultivares de bananeira, verificou que a associação micorrízica correlacionou-se com a absorção de fósforo nas cultivares de banana Maçã e Nanica.

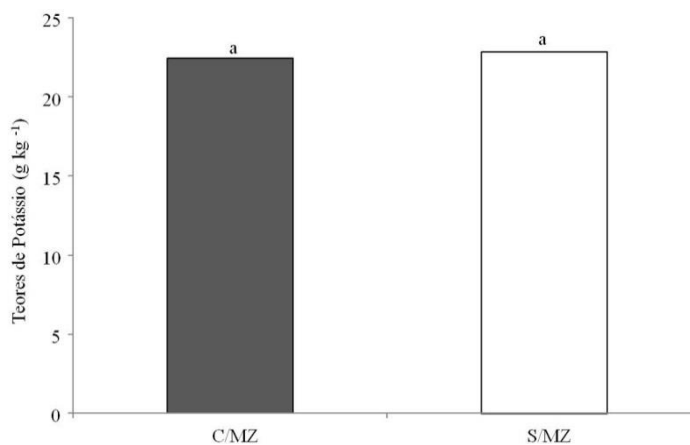
Os teores de fósforo na parte aérea de feijão caupi micorrizadas variou significativamente nos diferentes níveis de salinidade (Figura 1). À medida que, os níveis de salinidade iam aumentando mais eficiente foram às plantas micorrizadas na absorção do fósforo.



**Figura 2:** Efeitos da salinidade sobre os teores de fósforo na parte aérea de feijão caupi colonizadas por micorrizas (C/M) e sem colonização micorrízica (S/M) (\* significativo a 5%).

Já no caso de plantas não micorrizadas, não houve alteração nos teores de fósforo na parte aérea das plantas com incremento da salinidade. Alguns estudos evidenciam que em situações de alta disponibilidade de nutrientes, especialmente de P, as plantas tendem a diminuir a colonização (Balota *et al.*, 2010), em contrapartida, condições de estresse ou de baixa disponibilidade desse nutriente no solo, induz as raízes micorrizadas a uma maior absorção do nutriente.

Para o potássio, as plantas controle e as plantas colonizadas com FMAs não diferiram estatisticamente entre si (Figura 3). Esses resultados diferem dos resultados verificados por Oliveira & Oliveira (2005). Tais autores constataram que a colonização micorrízica correlacionou-se positivamente com a absorção de potássio em cultivares de banana Maçã e Nanica. Vale ressaltar que o estudo realizado por Oliveira e Oliveira (2005) não foi conduzido em ambiente salino.



**Figura 3:** Efeito da colonização micorrízica sobre os teores de potássio em plantas de feijão caupi em meio salino, (Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%).

E embora não tenha tido interação significativa entre micorrizas e salinidade, em geral, os teores de potássio aumentaram linearmente com aumento nos níveis de salinidade (Figura 4).

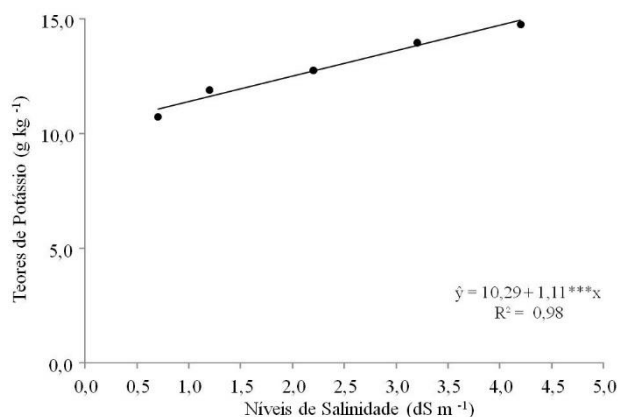


Figura 4: Efeito da salinidade sobre a absorção de potássio (\*\*\*) significativo a 0,1%).

Provavelmente, esse foi um mecanismo de defesa utilizado pela planta para manter um equilíbrio entre o meio interno e o externo visando assim à proteção contra estresses abióticos.

As plantas colonizadas com os FMA apresentaram, em torno de 21%, menos sódio na parte aérea, do que as plantas não micorrizadas (Figura 5). Possivelmente, os FMAs possuem mecanismos que permite a retenção do Na, impedindo que parte do mesmo chegue à parte aérea da planta. Isso demonstra que os FMAs são fundamentais em cultivos em áreas salinizadas.

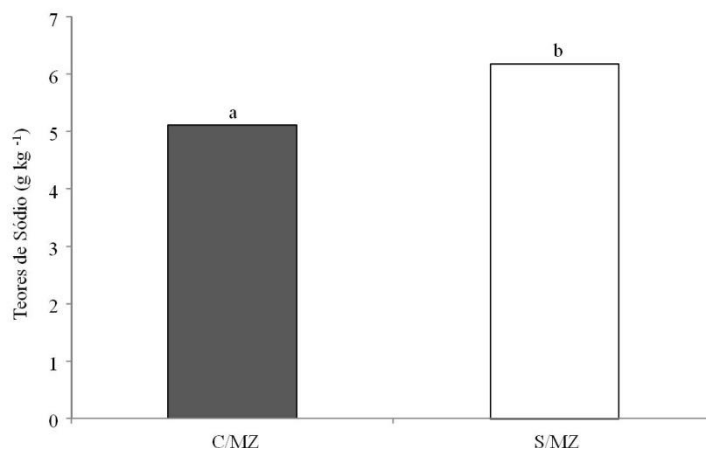
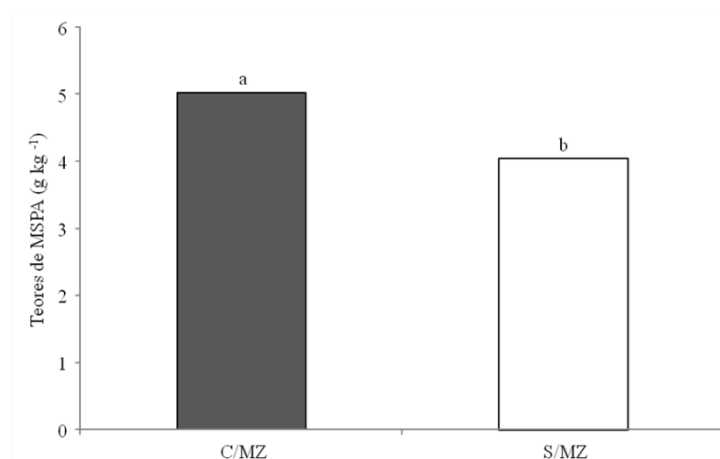


Figura 5: Efeito da colonização micorrízica sobre a absorção de sódio em plantas de feijão caupi em meio salino. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a 5%.

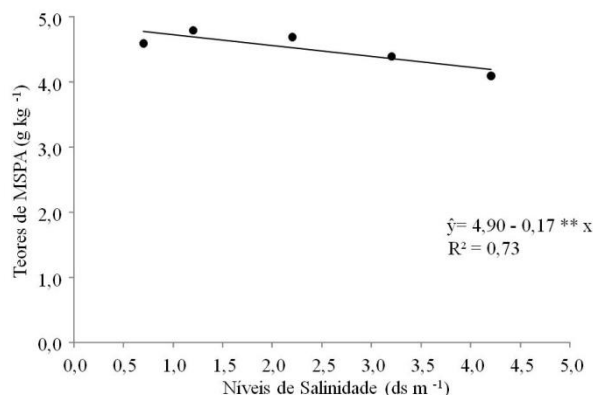
Em relação ao acúmulo de MSPA, observou-se que as plantas micorrizadas apresentaram maior incremento de matéria seca, quando comparadas às plantas controle (Figura 6), mostrando que os FMAs conseguem amenizar os danos causados pela salinidade. O aumento de MSPA pode ser explicado pelo incremento na absorção P, K e pela redução na absorção do Na.



**Figura 6:** Efeito da colonização micorrízica sobre o acúmulo de MSPA em plantas de feijão caupi em meio salino. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a 5%.

Resultado semelhante foi obtido por Tavares et al., 2009, trabalhando com feijão-de-corda associado a FMA. Esse autor evidenciou que a salinidade não afetou o peso seco de parte aérea (PSPA) quando as plantas foram inoculadas com micorrizas, no entanto quando tais plantas não receberam inoculação o PSPA reduziu-se linearmente.

No entanto, mesmo se tratando de plantas micorrizadas, à medida que se aumentou os níveis de salinidade ocorreu redução na MSPA (Figura 5). O excesso de sais reduz a disponibilidade de água e nutrientes, afeta o desenvolvimento das culturas e conseqüentemente reduz o acúmulo de MSPA. Neves (2008), trabalhando em condições de campo com feijão-de-corda, verificou que a irrigação com água salina (CEa de 5,0 dS.m<sup>-1</sup>) de forma contínua durante todo o ciclo reduziu a produção de matéria seca da parte aérea, em relação às plantas irrigadas com água do poço.



**Figura 4:** Efeitos da salinidade sobre o acúmulo de MSPA em plantas de feijão caupi (\*\* significativo a 1%).

Saint-Etienne et al., (2006), estudando o fungo do gênero *Pterocarpus officinarum* (Jacq), verificaram que a percentagem de colonização de FMA diminui linearmente com o aumento da salinidade. Provavelmente seja essa a causa da redução de MSPA. À medida que se aumentou os níveis de salinidade diminuiu a colonização micorrízica e conseqüentemente a disponibilidade de água e nutrientes.

## CONCLUSÕES

- 1- Os FMAs promovem um aumento significativo na absorção de fósforo e produção de MSPA em plantas de feijão caupi em meio salino;
- 2- Os FMAs apresentam algum mecanismo de proteção da planta à absorção de Na, conseqüentemente diminuindo os seus efeitos deletérios na parte aérea.

3- O feijão caupi associado aos FMAs constitui em uma excelente alternativa para o cultivo em áreas salinizadas.

## LITERATURA CITADA

- A. N. OLIVEIRA & L.A. OLIVEIRA. Associação micorrízica e teores de nutrientes nas folhas de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) e guaranazeiro (*Paullinia cupana*) de um sistema agroflorestal em Manaus, Amazonas. R. Bras. Ci. Solo, 28:1063-1068, 2004.
- ARAGÃO, R. M.; SILVEIRA, J. A. G.; SILVA, E. N.; LOBO, A. K. M.; DUTRA, A. T. B. Absorção, fluxo no xilema e assimilação do nitrato em feijão-caupi submetido à salinidade. Rev. Ciênc. Agron., 41:100-106, 2010.
- ASSIS JÚNIOR, J. O.; LACERDA, C. F.; SILVA, F. B.; SILVA, F. L. B.; BEZERRA, M. A.; GHEYI, H. R. Produtividade do feijão-de-corda e acúmulo de sais no solo em função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.27, n.3, p.702-713, 2007.
- BALOTA, E. L. *et al.* Efeito dos fungos micorrízicos arbusculares em culturas oleaginosas. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 4.; Simpósio Internacional De Oleaginosas Energéticas, 1., João Pessoa, 2010. Anais. Campina Grande: EMBRAPA Algodão, 2010. p. 680-684.
- BARNARD, J. H.; RENSBURG, L. D. V.; BENNIE, A. T. P. Leaching irrigated saline sandy to sandy loam apedal soils with water of a constant salinity. Irrigation Science, 28:191-201, 2010.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 300 p.
- FRONTEIRAS AGRÍCOLAS. Disponível em: <<http://www.univesp.edu.br/preunivesp/4144/fronteras-agr-colas-at-onde-poderemos-ir-.html>>. Acesso em 10 out. 2014.
- JUNIPER, S.; ABBOTT, L. K. Soil salinity delays germination and limits growth of hyphae from propagules of arbuscular mycorrhizal fungi. Mycorrhiza, 16:371-379, 2006.
- MOTA, A. M. Interação entre bactérias fixadoras de nitrogênio e fungo micorrízico arbuscular no crescimento do *Schizobolus Amazonicum* (Huber) Ducke em condições de campo. 2007. 55f. Dissertação (Mestrado em microbiologia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.
- NEVES, A. L. R. Irrigação do feijão-de-corda com água salina em diferentes estágios de desenvolvimento e seus efeitos na planta e no solo. Fortaleza: UFC, 2008. 120p. Dissertação Mestrado.
- O BIOMA CERRADO. Disponível em: <<http://www.centraldocerrado.org.br/cerrado/>>. Acesso em: 10 out. 2014.
- OLIVEIRA, M. A. J. *et al.* Atividade da redutase de nitrato em mudas de pupunheira (*Bactris gasipaes*). Ciência Rural, 35:515-522, 2005.
- PARIDA, A. K.; DAS, A. B. Effects of NaCl stress on nitrogen and phosphorus metabolism in a true mangrove *Bruguiera parviflora* grown under hydroponic culture. Journal of Plant Physiology, 161:921-928, 2004.
- RHOADES, J. P.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. The use saline waters for crop production. Roma: FAO, 1992, 133 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 48).
- SAINT-ETIENNE, L. *et al.* Arbuscular mycorrhizal soil infectivity in stand of the wetland tree *Pterocarpus officinalis* along a salinity gradient. Forest Ecology and Management, v. 232, n. 01/03, p. 86-89, 2006.
- SILVA JÚNIOR, J. M. T. *et al.* Efeitos de níveis de salinidade sobre a atividade microbiana de um Argissolo Amarelo incubado com diferentes adubos orgânicos. R. Bras. Ci. Agrárias, 04:378-382, 2009.
- SILVA, G. A.; SIQUEIRA, J. O.; STÜRMER, S. L. Eficiência de fungos micorrízicos arbusculares isolados de solos sob diferentes sistemas de uso na região do Alto Solimões na Amazônia. Acta Amazonica, 39(3):477-488, 2009.
- SILVA, V. N.; SILVA DA, L. E. F.; FIGUEIREDO, M. V. B.. Atuação de rizóbios com rizobactéria promotora de crescimento em plantas na cultura do caupi (*Vigna unguiculata* [L.] Walp). Acta Sci. Agron., 28(3): 407-412, 2006.
- TAVARES R. C.; MENDES FILHO, P. F.; LACERDA, C. F.; SILVA, J. Colonização micorrízica e nodulação radicular em mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) sob diferentes níveis de salinidade. R. Ciên. Agron., v. 43, n. 3, p. 409-416, jul-set, 2012.
- TAVARES, R. C.; MENDES FILHO, P. F.; LACERDA, C. F.; CRUZ, J. S. Produção de Biomassa do Feijão-de-corda Associado aos Fungos Micorrízicos Arbusculares sob Diferentes Níveis de Salinidade. Rev. Bras. De Agroecologia. Vol. 4, 2009.
- VIERHEILIG, H. *et al.* Ink and vinegar, a simple technique for arbuscular mycorrhizal fungi. Applied and Environmental Microbiology, v. 64, n. 12, p. 5004-5007, 1998.