

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/FITOTECNIA**

EMANUELLE SAMPAIO ALMEIDA

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DE PLANTAS DE MILHO
(*Zea mays* L.) INOCULADAS COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES
SOB ESTRESSE SALINO**

FORTALEZA

2011

EMANUELLE SAMPAIO ALMEIDA

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DE PLANTAS DE MILHO
(*Zea mays* L.) INOCULADAS COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES
SOB ESTRESSE SALINO**

Dissertação submetida à coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Fitotecnia.

Área de concentração: Bioquímica e Fisiologia Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Enéas Gomes Filho

Co-orientador: Prof. Dr. Paulo Furtado Mendes Filho

FORTALEZA

2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- A446r Almeida, Emanuelle Sampaio.
Respostas fisiológicas e bioquímicas de plantas de milho (*Zea mays* L.) inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares sob estresse salino / Emanuelle Sampaio Almeida. – 2011.
86 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, Fortaleza, 2011.
Área de Concentração: Bioquímica e Fisiologia Vegetal.
Orientação: Prof. Dr. Enéas Gomes Filho.
Coorientação: Prof. Dr. Paulo Furtado Mendes Filho.
1. Fungos micorrízicos – Inoculação. 2. Milho. 3. Estresse salino. I. Título.

EMANUELLE SAMPAIO ALMEIDA

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DE PLANTAS DE MILHO
(*Zea mays* L.) INOCULADAS COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES
SOB ESTRESSE SALINO**

Dissertação submetida à coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Fitotecnia.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Enéas Gomes Filho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. Paulo Furtado Mendes Filho (Co-orientador)
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda (Examinador)
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. Joaquim Enéas Filho (Examinador)
Universidade Federal do Ceará – UFC

**FORTALEZA-CE
2011**

A minha família

DEDICO

"Procure descobrir seu caminho na vida. Ninguém é responsável por nosso destino, a não ser nós mesmos. Nós é que temos que descobrir a estrada e segui-la com os nossos próprios pés. Desperte para a vida, para a verdadeira vida. E, se deseja felicidade, lembre-se: você é o único responsável por seu destino. Supere as dificuldades, vença os obstáculos e construa sua vida".

Madre Tereza de Calcutá.

AGRADECIMENTOS

A Deus todo poderoso, por tudo que realizou em minha vida e por guiar meus caminhos.

À Nossa Senhora da Medalha Milagrosa por todas as graças a mim concedidas.

Ao meu esposo Edimilson Junior pelo amor e incentivo, e a minha filha Sophia por me fazer conhecer o amor mais sublime.

Aos meus pais, Maria do Socorro Sampaio e José Erinaldo Almeida pelo exemplo de dedicação, educação e carinho. Amo vocês.

Aos meus irmãos, Erika Sampaio, Elaine Sampaio, Erinaldo Júnior e Ellen Maria, pelas confidências e carinho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa a mim concedida, bem como pelo auxílio financeiro a projetos de pesquisas do Laboratório de Fisiologia Vegetal.

Ao meu orientador, professor Enéas Gomes Filho, a quem tenho grande admiração, pelo constante incentivo, apoio, paciência e pela confiança depositada em mim.

Aos Professores Dr. Paulo Furtado Mendes Filho do Departamento de Ciências do Solo da UFC e Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda do Departamento de Engenharia Agrícola da UFC pela co-orientação e valiosa ajuda na realização deste trabalho.

Ao Professor Dr. Joaquim Enéas Filho pelo apoio e participação na banca.

Aos meus amigos e colegas componentes do grupo de Fisiologia Vegetal: Prof. Dr. José Tarquinio Prisco, Ana Raquel Cardoso Nogueira, Aiala Vieira Amorim, Alexandre Bosco de Oliveira, Alexcyane Rodrigues Feijão, Antônio Xavier de Oliveira Filho, Carlos Eduardo Braga de Abreu, Cibelle Gomes Gadelha, Franklin Aragão Gondim, Jones Batista

Vidal, Juan Carlos Alvarez Pizarro, Júlio César Barbosa da Silva, Michella de Albuquerque Lima, Michelle Aparecida Freitas de Andrade, Nara Lúcia Mendes Alencar, Paulo André Ferreira de Freitas, Paulo Roberto Tomé de Sousa, Rafael Miranda, Thalita Montoril Ferreira, Thiago Augusto Duarte de Menezes, Vivian Borba e Viviane Pinho de Oliveira, pelo auxílio nos experimentos e amizade. E em especial a Valdinéia Soares Freitas e Elton Camelo Marques pelo imenso apoio e amizade.

Ao Prof. Dr. Alessandro Coutinho Ramos, do Laboratório de Microbiologia Ambiental e Biotecnologia do Centro Universitário Vila Velha – UVV, pela concessão do inóculo utilizado no experimento e pela ajuda na realização do mesmo.

Ao laboratorista Aldo Cirilo pela amizade e colaboração nas análises.

Aos amigos do laboratório de microbiologia do solo: Aldenia, Deusiane, Luiza, Francisco, Everton, Emanuel pela amizade e colaboração nos trabalhos desenvolvidos ao decorrer do experimento.

Aos servidores técnicos administrativos da UFC, especialmente da FUNCEME (Tavares, Antônio José e Dr. Francisco Valdez), pelo convívio e ajuda nas análises de solo.

Ao pesquisador Marlos Alves Bezerra, do Laboratório de Fisiologia Vegetal da Embrapa Agroindústria Tropical, pela ajuda dada para a realização deste trabalho.

Ao Laboratório de Solo, Água e Planta da Embrapa Agroindústria Tropical, ao pesquisador Dr. Lindbergue Araujo Crisostomo, aos laboratoristas Luiz Oliveira Cavalcante Neto, Raimundo Rodrigues da Rocha Filho, Vanderléia Bezerra de Oliveira pela ajuda nas análises e concessão ao uso de equipamentos da instituição.

Aos amigos e colegas do curso de mestrado em Fitotecnia, ingresso 2009.1, especialmente Tarcio de Azevedo, que comigo compartilhou diversos momentos.

RESUMO

Muitos estudos têm demonstrado que a inoculação de plantas com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) melhora o crescimento das plantas sob estresse salino. Tendo em vista que a salinidade é um problema sério e que afeta de forma direta a produtividade das plantas, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da inoculação dos FMA em plantas de milho sob estresse salino, na presença ou ausência de fósforo. O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade Federal do Ceará (Campus do Pici, Fortaleza - Ceará), com quatro repetições. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 2 (plantas inoculadas e não inoculadas) x 3 (níveis de salinidade 0,5; 4,0 e 8,0 dS m⁻¹) x 2 (presença ou ausência de fósforo), totalizando 48 unidades experimentais. Durante a condução do experimento foram realizadas medições da fotossíntese líquida, da taxa de transpiração, da condutância estomática e do índice SPAD. Aos 40 dias após a semeadura das plantas, as mesmas foram coletadas, sendo determinados a área foliar, a matéria seca da parte aérea (após secagem do material em estufa), o teor relativo de água, o potencial osmótico, as variáveis microbiológicas (dependência e colonização micorrízica), os teores de alguns elementos minerais (N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e Cl⁻) e solutos orgânicos (carboidratos solúveis, N-aminossolúveis, proteína solúvel e prolina). A associação micorrízica não proporcionou incremento no crescimento das plantas de milho, porém os aumentos nos níveis de salinidade reduziram a área foliar e a matéria seca da parte aérea das plantas. De maneira geral, a salinidade reduziu a fotossíntese, a condutância estomática e a transpiração em todos os tratamentos. O índice SPAD e o teor relativo de água não foram influenciados por nenhum dos fatores estudados. O potencial osmótico foi significativamente reduzido nos tratamentos com 4,0 e 8,0 dS m⁻¹ de CE em comparação com o nível de 0,5 dS m⁻¹. A colonização micorrízica decresceu com o incremento dos níveis salinos. Os teores de glomalina não foram influenciados pela presença de P e nem pelos níveis crescentes de salinidade. A associação micorrízica não acarretou incrementos nos teores de solutos inorgânicos. A presença de P no cultivo do milho promoveu, nas plantas não inoculadas, aumento nos teores de fósforo nas folhas e nos colmos, em todos os níveis de salinidade. O aumento dos níveis de salinidade reduziu os teores de N e Mg²⁺, porém promoveram o aumento nos teores de Na⁺ e Cl⁻ nas plantas de milho. Os teores de carboidratos solúveis não apresentaram diferenças significativas para nenhum dos fatores

analisados. De modo geral, os teores de N-aminossolúveis e de prolina aumentaram com o incremento da salinidade. Já os teores de proteínas solúveis apresentaram respostas diferenciadas de acordo com os fatores analisados. Esses resultados sugerem que a associação micorrízica não minimizou os efeitos da salinidade nas plantas de milho (híbrido AG 1051), pelo menos nas condições aqui empregadas.

Palavras-chave: *Zea mays L.*, Fungo micorrízico arbuscular, *Gigaspora margarita*, Íons inorgânicos, Solutos orgânicos, Estresse salino.

ABSTRACT

Many studies have shown that inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi improved plant growth under salt stress. Considering that the salinity is a serious problem that directly affects the productivity of plants, the aim of this study was to evaluate the effects of inoculation of AMF in maize plants under salt stress in the presence or absence of phosphorus. The experiment was run in a greenhouse of the Department of Biochemist and Molecular Biology of the Federal University of the Ceará (Campus of the Pici, Fortaleza - Ceará), with four replicates per treatment. The experimental design was completely randomized in factorial arrangement 2 (inoculated and not inoculated plants) x 3 (levels of salinity 0.5, 4.0 and 8.0 dS m⁻¹) x 2 (presence or absence of phosphorus), total of 48 experimental units. During the experiment measurements were made of net photosynthesis, transpiration rate, stomatal conductance and SPAD index. At 40 days after sowing the plants, they were collected, and determined leaf area, shoot dry matter (after drying the material under glass), the relative water content, the osmotic potential, microbiological variables (dependency and mycorrhizal colonization), mineral levels (N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, and Cl⁻) and organic solutes (soluble carbohydrates, N-aminosolubles, proline and soluble protein). The mycorrhizal fungi did not provide an increase in the growth of corn plants, but elevated levels of salinity reduced leaf area and shoot dry matter of plants. Generally, the salinity reduced the photosynthesis, stomatal conductance and transpiration in all treatments. The relative water content was not influenced by any of the factors studied. The SPAD index and relative water content were not influenced by any of the factors studied. The osmotic potential was significantly reduced in treatments with 4.0 and 8.0 dS m⁻¹ salinity compared with the level of 0.5 dS m⁻¹. Mycorrhizal colonization decreased with increasing levels of saline. The levels of glomalin were not influenced by the presence of P and not by increasing levels of salinity. The mycorrhizal fungi did not cause increases in levels of inorganic solutes. The presence of P promoted maize cultivation in non-inoculated plants, increased levels of phosphorus in the leaves and stems, at all levels of salinity. Increased salinity levels decreased the levels of N and Mg²⁺, but promoted increased levels of Na⁺ and Cl⁻ in corn plants. The water-soluble carbohydrate showed no significant differences for any of the factors. In general, the levels of N-aminosolubles and proline increased with increasing salinity. Since the levels of soluble proteins showed different responses according to the factors. These

results suggest that the mycorrhizal fungi did not minimize the effects of salinity in maize plants (hybrid AG 1051), at least under the conditions employed here.

Keywords: *Zea mays* L., arbuscular mycorrhizal fungi, *Gigaspora margarita*, Inorganic ions, organic solutes, salt stress.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Disposição dos vasos na casa de vegetação na quarta aplicação de água salina (20 DAP).....	33
Figura 2.	Área foliar e matéria seca da parte aérea de plantas de milho inoculadas e não-inoculadas com FMA, na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade.....	42
Figura 3.	Teor relativo de água e potencial osmótico de plantas de milho inoculadas e não-inoculadas com FMA, na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade.....	45
Figura 4.	Taxa fotossintética líquida, condutância estomática, transpiração e índice SPAD de plantas de milho inoculadas e não-inoculadas com FMA, na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas de diferentes níveis com salinidade.....	47
Figura 5.	Células auxiliares de <i>Gigaspora margarita</i> na raiz de milho.....	48
Figura 6.	Percentuais de colonização micorrízica e dependência micorrízica de plantas de milho inoculadas e não-inoculadas com FMA, na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas de diferentes níveis de salinidade.....	49
Figura 7.	Glomalina facilmente extraível e glomalina total de plantas de milho inoculadas com FMA, na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade.....	51
Figura 8.	Teores de nitrogênio, fósforo e potássio em folha e colmo de plantas de milho inoculadas e não-inoculadas com FMA, na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas de diferentes níveis com salinidade.....	53
Figura 9.	Teores de cálcio e magnésio em folha e colmo de plantas de milho inoculadas e não-inoculadas com FMA, na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade.....	57
Figura 10.	Teores de sódio e cloreto em folha e colmo de plantas de milho inoculadas e não-inoculadas com FMA, na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade.....	60

- Figura 11.** Relação Na^+/K^+ em folha e colmo de plantas de milho inoculadas e não-inoculadas com FMA, na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade..... 63
- Figura 12.** Teores de carboidratos solúveis, N-aminossolúveis, prolina e proteína solúvel em folhas de plantas de milho inoculadas e não-inoculadas com FMA, na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade..... 65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Propriedades químicas da camada de solo na profundidade de 0-20 cm.	31
Tabela 2.	Análise de variância (valores <i>F</i>) para os dados de área foliar e matéria seca da parte aérea de plantas de milho inoculadas e não-inoculadas com FMA (<i>G. margarita</i>), na presença e ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade.....	41
Tabela 3.	Análise de variância (valores <i>F</i>) para os dados de teor relativo de água e potencial osmótico de folhas de plantas de milho inoculadas e não-inoculadas com FMA (<i>G. margarita</i>), na presença e ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade.....	44
Tabela 4.	Análise de variância (valores <i>F</i>) para os dados de trocas gasosas e índice SPAD de plantas de milho inoculadas e não-inoculadas com FMA (<i>G. margarita</i>), na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade.....	46
Tabela 5.	Análise de variância (valores <i>F</i>) para os dados de colonização micorrízica das raízes e dependência micorrízica de plantas de milho inoculadas e não-inoculadas com FMA (<i>G. margarita</i>), na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade.....	48
Tabela 6.	Valores médios da dependência micorrízica de plantas de milho inoculadas com FMA (<i>G. margarita</i>), na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade.....	50
Tabela 7.	Análise de variância (valores <i>F</i>) para as concentrações de glomalina total e glomalina facilmente extraível do solo em que plantas de milho foram cultivadas e submetidas à inoculação com FMA (<i>G. margarita</i>), na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e irrigadas com águas com diferentes níveis de salinidade.....	50
Tabela 8.	Análise de variância (valores <i>F</i>) para os teores de nitrogênio, fósforo e potássio de plantas de milho inoculadas e não-inoculadas com FMA (<i>G. margarita</i>), na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas de diferentes níveis com salinidade.....	52

Tabela 9. Análise de variância (valores <i>F</i>) para os teores de cálcio e magnésio de plantas de milho submetidas inoculadas e não-inoculadas com FMA (<i>G. margarita</i>), na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas de diferentes níveis com salinidade.....	56
Tabela 10. Análise de variância (valores <i>F</i>) para os teores de sódio e cloreto de plantas de milho submetidas inoculadas e não-inoculadas com FMA (<i>G. margarita</i>), na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas de diferentes níveis com salinidade.....	59
Tabela 11. Análise de variância (valores <i>F</i>) para os teores da relação Na ⁺ /K ⁺ de plantas de milho inoculadas e não-inoculadas com FMA (<i>G. margarita</i>), na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade.....	62
Tabela 12. Análise de variância (valores <i>F</i>) para os teores foliares de carboidratos solúveis, proteína solúvel, N-aminossolúvel e prolina de plantas de milho inoculadas e não-inoculadas com FMA (<i>G. margarita</i>), na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade.....	64

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1. Salinidade: Caracterização e ocorrência.....	19
2.2. Aspectos gerais dos efeitos da salinidade nas plantas.....	20
2.3. Fungos micorrízicos arbusculares (FMA).....	22
2.4. Glomalina.....	24
2.5. Fungos micorrízicos arbusculares e salinidade.....	25
2.6. O fósforo no solo e na planta.....	27
2.7. O milho.....	28
3. OBJETIVOS.....	30
3.1. Geral.....	30
3.2. Específicos.....	30
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	31
4.1. Localização do experimento.....	31
4.2. Solo.....	31
4.3. Material Vegetal.....	31
4.4. Delineamento, tratamentos e condução do experimento.....	32
4.5. Trocas gasosas e teores relativos de clorofila.....	34
4.6. Coleta das plantas, separação do material e análise do crescimento.....	34
4.7. Teor relativo de água e potencial osmótico.....	35
4.8. Colonização micorrízica arbuscular.....	35
4.9. Dependência micorrízica.....	36
4.10. Extração e determinação da glomalina.....	36
4.11. Determinação dos elementos inorgânicos.....	36
4.12. Determinação dos solutos orgânicos.....	38
4.12.1. Carboidratos solúveis.....	38
4.12.2. Proteínas solúveis.....	39
4.12.3. N-aminossolúveis.....	39

4.12.4. Prolina.....	40
4.13. Análise estatística.....	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
5.1. Análise do crescimento.....	41
5.2. Teor relativo de água e potencial osmótico.....	43
5.3. Trocas gasosas e índice SPAD.....	45
5.4. Variáveis microbiológicas.....	47
5.4.1. Colonização e dependência micorrízicas.....	47
5.4.2. Teores de glomalina: total e facilmente extraível.....	50
5.5. Elementos inorgânicos.....	51
5.5.1. Nitrogênio, fósforo e potássio.....	51
5.5.2. Cálcio e magnésio.....	56
5.5.3. Sódio e cloreto.....	59
5.5.4. Relação Na^+/K^+	62
5.6. Solutos orgânicos.....	64
6. CONCLUSÕES.....	68
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

1. INTRODUÇÃO

A salinidade é um dos estresses abióticos que mais limita o crescimento e a produtividade agrícola, sendo este problema mais severo nas regiões áridas e semiáridas (ZHU, 2001). O manejo inadequado do solo e da água, associado às elevadas taxas evapotranspiratórias e as baixas precipitações pluviométricas, características destas regiões, também contribuem para o surgimento de solos salinizados (FAGERIA; GHEYI, 1997).

No Brasil, a região do semiárido nordestino contribui de forma significativa no percentual de solos afetados por sais, principalmente nos perímetros irrigados, apresentando uma área potencial de irrigação estimada em seis milhões de hectares. Cerca de 25% dos perímetros irrigados existentes na região Nordeste apresentam problemas de salinidade (BRITO, 2002).

As plantas respondem diferentemente às concentrações de sais no solo, sendo que algumas conseguem produzir de maneira satisfatória em níveis elevados de sais e outras são mais sensíveis a níveis relativamente baixos. A manutenção dos rendimentos das culturas, quando submetidas a concentrações elevadas de sais no solo, depende do grau de tolerância das plantas e das práticas de manejo do sistema solo – água – planta (LÚCIO, 2008). O milho é considerado uma cultura moderadamente tolerante à salinidade (RICHARDS, 1974; DAKER, 1976) e que sofre progressiva redução do crescimento, com o aumento da concentração de sais no meio radicular.

Segundo Ayres e Westcot (1999), existem várias alternativas que podem ser utilizadas para facilitar o manejo de solos salinos, como por exemplo, o uso de técnicas adequadas de drenagem, de lixiviação e de irrigação. Além dessas técnicas convencionais, um aspecto que vem sendo estudado para manter o rendimento das culturas em áreas afetadas por sais é o emprego de plantas colonizadas com fungos micorrízicos arbusculares (FMA). A colonização das raízes e os benefícios resultantes da simbiose têm sido relatados por vários autores. O aumento da absorção de nutrientes pouco móveis no solo, tais como o Cu, o Zn e, principalmente, o P, que é o mais importante do ponto de vista nutricional do hospedeiro, além de proporcionar maior tolerância a patógenos de raiz, condições de seca, altas temperaturas, choques de transplante e solos salinos, estimulam a fixação do nitrogênio e a produção de hormônios (LIU *et al.*, 2000; YANO-MELO *et al.*, 2003; COSTA, 2004).

De acordo com Giri *et al.* (2003), a maior tolerância das plantas micorrizadas à salinidade deve-se, possivelmente, a mecanismos de proteção proporcionados pelos fungos, dentre eles a maior absorção de nutrientes, alteração na morfologia da raiz (maior número de raízes adventícias) e a influência dos FMA na condutividade elétrica do solo (diminuição da condutividade elétrica, CE, do solo na micorrizosfera).

Diante dos fatos mencionados, o presente trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos da inoculação dos FMA em plantas de milho sob estresse salino, na presença e ausência de fósforo na solução nutritiva, avaliando alguns parâmetros fisiológicos e bioquímicos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Salinidade: caracterização e ocorrência

Salinização é o termo utilizado para denominar o processo de acúmulo de sais no solo ou na água de irrigação, sendo estes prejudiciais para a maioria das espécies vegetais. De acordo com Richards (1954), um solo é considerado salino quando o valor da CE do seu extrato de saturação é superior a $4,0 \text{ dS m}^{-1}$, a 25° C , a percentagem de sódio trocável do solo menor que 15 e o pH entre 7,0 e 8,5.

Em solos salinos, os principais sais solúveis encontrados são cloretos, sulfatos e bicarbonatos de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , sendo encontrados, em menores quantidades, os sais de potássio (K^+), amônio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) e carbonatos (CO_3^{2-}). As fontes fornecedoras dos sais solúveis são, primeiramente, os minerais primários formadores das rochas, por intemperismo químico, sendo a água o principal agente carreador (RIBEIRO, 2010).

Os solos salinos geralmente se localizam em áreas baixas para onde convergem os sais das áreas circunvizinhas. A salinização dos solos está relacionada com condições de restrição de drenagem, envolvendo lençol freático alto ou baixa permeabilidade, que impedem a lavagem dos sais em profundidade. Em climas áridos e semiáridos, cuja evapotranspiração elevada favorece a ascensão capilar dos sais para a superfície, esse processo de salinização se torna ainda mais frequente. A salinização pode ser um processo natural ou produzido pelo homem, principalmente nas áreas irrigadas (USSL STAFF, 1954; SOMMERFELDT; RAPP, 1978; FANNING; FANNING, 1989).

O processo de salinização dos solos e das águas subterrâneas e superficiais é um dos mais importantes problemas de degradação ambiental, com seus efeitos prejudiciais sendo mais pronunciados nas regiões áridas e semiáridas, e que vem crescendo rapidamente em diversas partes do globo, causando problemas de grandes proporções na produtividade das culturas agrícolas. Estimativas da FAO (2003) prevêem que, dos 270 milhões de hectares irrigados no mundo, aproximadamente, 50% já apresentam problemas de elevação do lençol freático e que 1 milhão de hectares são abandonados, anualmente, em virtude de problema de salinidade.

No Brasil, os solos salinos ocorrem em relevos planos de várzeas e esporadicamente em terraços, principalmente nas regiões áridas e semiáridas nordestinas, no pantanal mato-grossense e nas áreas litorâneas relacionadas com a vegetação de mangue

(OLIVEIRA, 2001). Nas regiões semiáridas do nordeste brasileiro a salinização dos solos é encontrada principalmente no polígono das secas. Nessa região, são comuns baixas precipitações e altas taxas de evaporação, fatores que dificultam a lixiviação dos sais, provocando sua acumulação em quantidades prejudiciais ao crescimento de várias espécies vegetais. De acordo com Barros *et al.* (2005) aproximadamente 25% das áreas irrigadas da região Nordeste encontra-se salinizada. Segundo Medeiro *et al.* (2003) os solos afetados por sais ocupam uma área de aproximadamente 9,1 milhões de ha do Nordeste do Brasil.

2.2. Aspectos gerais dos efeitos da salinidade nas plantas

Os efeitos da salinidade sobre as plantas podem ser causados pelas dificuldades de absorção de água, toxicidade de íons específicos e pela interferência dos sais nos processos fisiológicos (efeitos indiretos) reduzindo o crescimento e o desenvolvimento das plantas (DIAS; BLANCO, 2010). A redução do crescimento da planta devido ao estresse salino pode estar relacionada com os efeitos adversos do excesso de sais sob a homeostase iônica, o balanço hídrico, a nutrição mineral e o metabolismo fotossintético (ZHU, 2001; MUNNS, 2002). Os mecanismos pelos quais o estresse salino afeta as plantas ainda é uma questão discutida devido à natureza muito complexa do estresse salino nas plantas (DIAS; BLANCO, 2010).

Para Ayres e Wescot (1999), as plantas extraem água do solo quando as forças de embebição dos tecidos das raízes são superiores às forças de retenção da água exercida pelo solo. Contudo, à medida que a água é extraída do solo, as forças que a retêm tornam-se maiores, podendo chegar ao ponto em que superam as de absorção, iniciando-se, assim, o estado de escassez de água na planta. De acordo com Pimentel *et al.* (2002), em solos salinos, a deficiência hídrica é a maior causadora de redução na produtividade do vegetal, alterando o crescimento e a fotossíntese. A salinidade, como apontado por diversos autores, inibe os processos de transpiração e fotossíntese (PARIDA; DAS, 2005; TAIZ; ZEIGER, 2008). Essa inibição pode estar correlacionada com o grau de fechamento dos estômatos (GREENWAY; MUNNS, 1980) ou com o acúmulo excessivo dos íons sódio e cloreto nos cloroplastos, os quais afetam as reações bioquímicas e fisiológicas (TAIZ; ZEIGER, 2008). Observa-se, também, que a redução do crescimento foliar e a diminuição da produção de massa seca das partes aérea e radicular podem ser influenciadas diretamente pelo acúmulo de altos teores de Na^+ e Cl^- nas folhas, ocasionando diminuição

no teor relativo de água, na pressão de turgescência e no potencial hídrico celular (LARCHER, 2000). Quando as plantas se encontram em déficit hídrico elas podem utilizar mecanismos de tolerância, como o ajustamento osmótico, para conseguir manter o gradiente de potencial hídrico favorável à absorção de água.

Segundo Taiz e Zeiger (2008), o ajustamento osmótico é um processo pelo qual o potencial hídrico pode ser diminuído sem que haja decréscimo da turgescência ou do volume celular. Assim, com a manutenção da turgescência é possível a continuação do alongamento celular e uma condutância estomática mais alta sob potenciais hídricos mais baixos. Portanto, o ajustamento osmótico é um processo de aclimação que aumenta a tolerância das plantas ao estresse salino e pode ocorrer pela acumulação de altas concentrações de íons inorgânicos ou de solutos orgânicos de baixo peso molecular (ASHRAF; HARRIS, 2004). Dentre os solutos orgânicos que podem ser acumulados e, conseqüentemente, influenciar no ajuste osmótico de plantas cultivadas em condições de estresse salino, destacam-se a prolina, os carboidratos solúveis e os compostos contendo nitrogênio aminossolúvel (N-aminossolúvel). A prolina é o soluto orgânico mais analisado nos trabalhos científicos envolvendo o cultivo de plantas submetidas aos estresses hídrico e salino. Acredita-se que, além do seu papel no ajustamento osmótico, ela possa contribuir para a estabilização de membranas e proteínas e remoção de radicais livres (ASHRAF; FOOLAND, 2007).

Ashraf e Foolad (2007) relatam que os efeitos da salinidade sobre as plantas são consequência de fatores osmóticos e iônicos. O componente osmótico resultante das elevadas concentrações de sais dissolvidos na solução do solo reduz o potencial osmótico dessa solução, diminuindo, conseqüentemente, a disponibilidade de água para as plantas. O efeito iônico refere-se aos íons absorvidos pelas plantas (especialmente Na^+ e Cl^-), os quais podem provocar desequilíbrios nutricionais, toxidez ou ambos no metabolismo da planta (MUNNS, 2002).

Elevadas concentrações de Na^+ e Cl^- na solução do solo acarretam altas relações $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$, Na^+/K^+ e $\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$ na planta (GRATTAN; GRIEVE, 1999). Esses desequilíbrios nutricionais, causados pela salinidade, podem resultar do efeito dos sais sobre a disponibilidade do nutriente, pela competição na absorção, no transporte ou na partição dentro da planta, na integridade estrutural e funcional da membrana plasmática, na redução da atividade de várias enzimas vitais, bem como pela inativação fisiológica de um dado nutriente, resultando no aumento do requerimento da planta por esse elemento essencial

(GRATTAN; GRIEVE, 1994; ZHU, 2001; MANSOUR; SALAMA, 2004). Assim, em geral, o excesso de Na^+ pode conduzir à deficiência de K^+ e Ca^{2+} e a absorção de NO_3^- pode ser inibida por Cl^- (SHANNON, 1992). Como resultado, a planta torna-se susceptível a distúrbios osmóticos ou íons-específicos, bem como a desordens nutricionais que podem resultar na redução da produção ou da qualidade das culturas (GRATTAN; GRIEVE, 1999). A concentração de K^+ nas plantas em ambientes salinos tende a ser menor com o aumento de Na^+ ou da relação $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ na solução do solo (SANTOS; CAVALCANTE; VITAL, 2010). A alta concentração de sódio na solução do solo interfere na absorção de K^+ pelas raízes.

Segundo Santos, Cavalcante e Vital (2010), a maioria dos estudos indica que a absorção ou acumulação de nitrogênio na parte aérea pode ser reduzida pelas condições de salinidade. Os efeitos deletérios da salinidade sobre o metabolismo do N podem ser atribuídos ao decréscimo da absorção de N, ao decréscimo das atividades das enzimas envolvidas no metabolismo do N, na alteração da síntese de aminoácidos e no aumento da atividade de enzimas hidrolíticas, tais como RNase, DNase, protease, dentre outras, levando à degradação de macromoléculas (GRATTAN; GRIEVE, 1994; NATHAWAT *et al.*, 2005; FEIJÃO, 2009). Entretanto, o efeito da salinidade no metabolismo do N depende da fonte de N (NATHAWAT *et al.*, 2005; SANTOS; CAVALCANTE; VITAL, 2010).

A interação salinidade e fósforo é complexa e depende da espécie vegetal, estágio de crescimento das plantas, nível de salinidade e da concentração de fósforo no substrato (GRATTAN; GRIEVE, 1999; SANTOS; CAVALCANTE; VITAL, 2010). De acordo com Oliveira *et al.* (2010), o aumento nas doses de P pode minimizar os efeitos adversos da salinidade sobre o desenvolvimento das plantas. Foram observados acúmulos de fósforo nas folhas de plantas de milho (MAAS; GRIEVE, 1987), arroz (ANDRADE, 1989), tomate (AWAD *et al.*, 1990) e de feijão-de-corda (SILVA *et al.*, 2003) submetidas a estresse salino.

2.3. Fungos micorrízicos arbusculares

O termo micorriza foi empregado pela primeira vez pelo fisiologista de plantas alemão Bernad Frank, em 1885, para se referir a uma peculiar associação entre raízes de plantas e fungos (KOIDE; MOSSE, 2004). A associação micorrízica é considerada a mais antiga e amplamente distribuída simbiose mutualística encontrada na Terra (ALLEN,

1996). Evidências fósseis e análises de sequências de DNA provaram o estabelecimento dessa simbiose há mais de 410 milhões de anos (LOGI *et al.*, 1998).

As micorrizas arbusculares são de ocorrência generalizada nas plantas superiores; estima-se que existam cerca de 300.000 espécies de plantas que sejam capazes de formar associação simbiótica com esses fungos. Essas micorrizas são encontradas na maioria das Fanerógamas (97%), incluindo quase todas as espécies de interesse agrônomo, pastoril e espécies florestais nativas dos trópicos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Segundo Yano-Melo *et al.* (2003), no Brasil, foram registradas cerca de 80 espécies de FMA distribuídas em oito famílias, sendo seis delas encontradas nos solos do semiárido nordestino.

Em condições naturais, a maioria das espécies de plantas se encontra associada a FMA do solo numa simbiose mutualística (BERBARA, 2006). Essa associação é simbiótica pelo fato de os organismos co-existirem em um mesmo ambiente físico (raiz e solo) e mutualística porque em geral ambos os simbiossitos se beneficiam da associação. Ela é considerada como mutualística nutricional porque a planta supre o fungo com energia para seu crescimento e manutenção via produtos fotossintéticos, enquanto o fungo provê a planta com nutrientes e água.

Entretanto, o principal benefício dos FMA para as plantas está relacionado à maior absorção de nutrientes do solo, principalmente de nutrientes de baixa mobilidade como é o caso do fósforo (MARSCHNER, 1995). Segundo Mcarthur e Knowless (1993), considera-se que o principal benefício à planta hospedeira pela micorrização é o aumento na absorção e translocação de fósforo em solos de baixa fertilidade, mas outros nutrientes são relatados como: nitrogênio, enxofre, zinco, cobre e manganês (SYLVIA *et al.*, 1993).

Entre os benefícios proporcionados pelos FMA, ainda pode-se destacar a maior tolerância a doenças, a antecipação da fase de aclimação de mudas micropropagadas (LINS *et al.*, 2003) e a diminuição dos efeitos de diferentes tipos de estresses, como o hídrico (SOUZA *et al.*, 2002), o salino (AL-KARAKI, 2000) e os causados por metais pesados (DAVIES JUNIOR *et al.*, 2001).

Além dos benefícios que os FMA trazem para as plantas, eles influenciam no equilíbrio do solo, na manutenção da sua fertilidade (principalmente na estocagem de C e N no solo) (RILLING, 2004), no intemperismo de minerais (VAN BREEMEN *et al.*, 2000), e por promoverem efeitos positivos sobre a agregação e conservação do solo (WRIGHT *et al.*, 1996; RILLING, 2004, 2005). Eles contribuem com impacto relevante sobre o crescimento e diversidade das comunidades vegetais (VAN DER HEIJDEN *et al.*,

1998), influenciando assim na produtividade primária dos ecossistemas terrestres (BEVER, 1996).

2.4. Glomalina

Os FMA contribuem significativamente para a biomassa microbiana do solo em muitos ecossistemas terrestres. E dentre as estruturas dos FMA, o micélio extra-radicular é o que apresenta a maior extensão e biomassa, em comparação com esporos, vesículas ou arbúsculos, concentrando, talvez, a maior quantidade de carboidratos destinados ao fungo (ZATORRE, 2009).

A contribuição das hifas extra-radulares não se limita a sua biomassa ou a aumentos na capacidade das plantas em mobilizar nutrientes, que são características clássicas e fundamentais na simbiose micorrízica. Tais hifas também são responsáveis pela exsudação (ou incorporação em suas paredes celulares bem como de esporos) de glicoproteínas hidrofóbicas chamadas glomalinas.

A glomalina foi descoberta por Sara Wright e colaboradores, em 1996, sendo quantificada pelo método de Bradford (1976), que indica a quantidade de proteína solúvel total, ou por ELISA (*enzyme-linked immunosorbent assay*) com o emprego de um anticorpo monoclonal (MAb32B11) (WRIGHT *et al.*, 1996; RILLIG, 2004; NICHOLS; WRIGHT, 2004, 2005, 2006). Por imunofluorescência indireta com esse anticorpo, a glomalina foi revelada em hifas fúngicas de FMA em raízes colonizadas, matéria orgânica, partículas do solo e dentro das células das raízes (WRIGHT *et al.*, 1996; WRIGHT; UPADHYAYA, 1999). Segundo Mergulhão (2006), existem duas frações de glomalina: a facilmente extraível (GFE) e a total (GT). A GFE é extraída em solução tampão de citrato de sódio (20 mM; pH 7,0) após um ciclo em autoclave a 121°C por 30 minutos. A GT é extraída em solução tampão de citrato de sódio alcalino (50 mM; pH 8,0), processo esse que pode ser repetido por vários ciclos em autoclave, sendo retirada a glomalina depositada no solo durante o processo simbiótico.

A glomalina apresenta alta estabilidade no solo, podendo permanecer 42 anos até sua completa mineralização. Ela é um importante componente do C orgânico do solo, podendo atingir 1,45 t ha⁻¹ em florestas tropicais apenas nos 10 cm superficiais, estabilizando-se em geral na fração argílica (LOVELOCK *et al.*, 2004). A função da glomalina é incerta, entretanto, é provável que ela tenha impacto sobre a construção de

nichos ao promover a agregação do solo e sua estruturação com a consequente redução dos processos erosivos. Em estudos realizados em um gradiente de textura e classes de solos, comprovou-se que existe estreita e positiva correlação entre estabilidade de agregados e quantidade de glomalina no solo (WRIGHT; UPADHYAYA, 1998). Percebeu-se também que essas glicoproteínas ficam estocadas dentro desses agregados, protegidas dos processos de mineralização. Dessa forma, a glomalina representa uma forma estável de armazenar C no solo (RILLIG, 2004). Estudos demonstram que a introdução de FMA em ambientes contaminados por metais pesados pode exercer efeito positivo na tolerância das plantas a elementos tóxicos, atuando como agentes de proteção para as mesmas (SOARES; SIQUEIRA, 2008), além de aumentar a extração dos metais pesados do solo (SILVA; SOARES; SIQUEIRA, 2006). Este processo é de grande interesse para a fitorremediação, visto que a maioria das plantas forma micorriza mesmo em condições de elevada contaminação por metais (KLAUBERG-FILHO *et al.*, 2005).

Pelo exposto, é clara a necessidade de se criar condições que apontem para o aumento da produção desse metabólito. Sabe-se que o manejo (em especial a mecanização) e a diversidade da cobertura vegetal, além de variáveis físicas e químicas do solo, controlam a produção de glomalina. Sistemas que estimulem a produção de hifas extraradiculares devem também induzir a síntese dessas moléculas, apesar de resultados iniciais serem contraditórios (PIOTROVSKY *et al.*, 2004). Em solos agrícolas, a quantidade de glomalina detectada é baixa em relação àquela observada sob pastagem ou florestas. Isso porque, com o revolvimento e a compactação do solo, a rede micelial é destruída e, com isso, a produção de glomalina diminui drasticamente (BERBARA *et al.*, 2006).

2.5. Fungos micorrízicos arbusculares e salinidade

Desde a primeira publicação sobre a descrição de uma associação micorrízica por Frank, em 1885, muitas pesquisas investigaram seu papel no contexto ecológico e fisiológico das plantas. Embora a maioria dos trabalhos enfoque a absorção de nutrientes, há grande interesse no papel das micorrizas sobre o aumento da habilidade das plantas de se estabelecerem em ambientes naturais ou naqueles alterados pela ação antrópica (REID, 1990).

Os principais benefícios dessa relação simbiótica para as plantas é a ocorrência de alterações metabólicas diversas com reflexos positivos sobre seu desenvolvimento e estado

nutricional. Plantas micorrizadas apresentam maior atividade fotossintética, alta atividade enzimática e maior produção de substâncias reguladoras do crescimento. Essas alterações metabólicas conferem às plantas maior resistência aos efeitos provocados por estresses de natureza biótica (pragas e doenças) ou abiótica (déficits hídricos e nutricionais ou estresses térmicos e salinos) (COLOZZI FILHO; NOGUEIRA, 2007).

Estudos indicam que a associação micorrízica promove maior tolerância das plantas ao estresse salino e, segundo Giri *et al.* (2003), essa tolerância deve-se aos possíveis mecanismos de proteção proporcionados pelos fungos, dentre eles a maior absorção de nutrientes, a alteração na morfologia da raiz (maior número de raízes adventícias) e a influência na condutividade elétrica do solo.

Os fungos micorrízicos mais comumente observados em solos salinos são os do gênero *Glomus*. De acordo com Wilde *et al.* (2009), 80% dos esporos encontrados em solos salinos pertencem à espécie *Glomus geosporum*. Segundo Cantrell e Linderman (2001), em condições salinas, as plantas associadas aos FMA apresentam uma maior resistência devido aos possíveis processos metabólicos mediados por alguns nutrientes, principalmente o fósforo, e ainda pela compartimentalização do sódio nos tecidos da plantas e da hifa fúngica. Resultados descritos por Rabie (2005) mostram que as micorrizas arbusculares são primordiais no manejo de ambientes salinos, pois em trabalho realizado pelo autor, mudas de *Vigna radiata* cultivadas sob condições salinas apresentaram um aumento significativo na quantidade de matéria seca produzida, altura, conteúdo de clorofila, açúcares e proteínas.

Bezerra *et al.* (2010), em estudos de quantificação de esporos de FMA em área cultivada com milho e feijão-de-corda irrigados com águas salinas, observou que o número de esporos de FMA aumentou com a elevação da salinidade na água de irrigação. Além disso, esse autor observou que a maior quantidade de esporos de FMA no solo foi no tratamento com água salina a $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ (o mais baixo nível de salinidade testado), com uma média de 68,5 esporos por 50 g de solo e com uma predominância do gênero *Glomus*.

Apesar de existirem alguns resultados divergentes na literatura, sendo esses associados a mecanismos da associação simbiótica ainda não totalmente elucidados, é possível constatar que há um benefício para as plantas quando associadas aos FMA sob condições salinas e, de acordo com Al-Karaki *et al.* (2000), os benefícios proporcionados pelos FMA, como o aumento no desenvolvimento e na aquisição dos nutrientes pelas plantas demonstram o potencial da colonização dos FMA na proteção do cultivo de plantas

sob estresse salino em regiões áridas e semiáridas.

2.6. O fósforo no solo e na planta

O fósforo (P) é um macronutriente essencial que, apesar de não ser exigido em grandes quantidades pelas plantas, como é o caso do N e K, é o mais estudado devido a sua baixa disponibilidade nos solos, cujas causas estão relacionadas à sorção desse nutriente, que englobam os processos de adsorção e de precipitação. A adsorção ocorre principalmente entre o P e as superfícies dos óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) presentes no solo, enquanto a precipitação pode ocorrer com íons de Fe e de Al, em solos ácidos, ou com o cálcio (Ca^{2+}), em solos neutros ou alcalinos (NOVAIS; SMITH, 1999). Para superar essa limitação, as plantas desenvolveram mecanismos para aumentar a captação de P do solo, incluindo a alteração da estrutura da raiz e função, bem como a modificação da rizosfera.

Os microrganismos, por meio de mecanismos diversos, exercem profunda influência na aquisição de fósforo pelas plantas, atuando na disponibilidade e absorção do nutriente. Os fungos, particularmente aqueles que se associam às raízes formando micorrizas, aumentam a absorção de P através de mecanismos físicos (aumento da superfície de absorção e exploração do solo), fisiológicos (alterações nos parâmetros cinéticos de absorção) e químicos (alterações na rizosfera) (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Respostas típicas de plantas micotróficas, aquelas que dependem do fungo para absorção de nutrientes, apresentam tendência similar à observada por Saggin-Júnior e Siqueira (1996) em mudas de cafeeiro crescendo em substrato com níveis crescentes de P disponível, em que níveis abaixo do ótimo para o crescimento da planta ocorre grande resposta à inoculação e elevada taxa de colonização radicular. À medida que o P no solo aumenta acima da dose de 100 mg kg^{-1} , a colonização das plantas inoculadas com FMA diminui e nas plantas sem micorriza, aumentos nas doses de P acima do mencionado anteriormente, ocasiona crescimento nas plantas, diminuindo, assim, os efeitos da inoculação. Em níveis elevados de P, a colonização é inibida e os benefícios da micorriza para a planta são reduzidos progressivamente.

Existem evidências de que a planta regule o processo de colonização de acordo com sua necessidade através de um balanço existente entre o nível de P no solo, no

desenvolvimento e na atividade do fungo na raiz e na resposta da planta. Para que as plantas se beneficiem das micorrizas é essencial que estejam colonizadas por fungos eficientes, mas a relação entre o grau de colonização das raízes e o benefício ao hospedeiro nem sempre é observada. A colonização é uma resposta fenotípica da relação, enquanto a resposta do hospedeiro a ela é fisiológica e muito mais complexa (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Segundo Oliveira *et al.* (2010), alguns estudos têm sido desenvolvidos para avaliar a influência da adubação fosfatada em plantas cultivadas em condições salinas. Cerda *et al.* (1977) avaliaram o desenvolvimento e a produção de gergelim, cultivado em solução nutritiva com diferentes doses de sal e de fósforo, e verificaram que a tolerância da cultura à salinidade foi reduzida com aumento do nível de fósforo. Lacerda *et al.* (2006a) avaliaram o desenvolvimento de sorgo forrageiro, submetido a concentrações de fósforo em diferentes níveis de salinidade da solução nutritiva, constatando a existência de interação entre salinidade e fósforo sobre o desenvolvimento e nutrição das plantas.

2.7. O milho

O milho, uma planta originária das Américas, pertence à classe Monocotyledonea, ordem Glumiflorae, família Graminae, tribo Maydeae, gênero *Zea* e espécie *Z. mays* L. É uma planta monóica, anual, robusta e ereta, com um a quatro metros de altura. É um alimento energético por excelência, sendo seu grão composto, em média, de 71,3% de carboidratos e 9,1% de proteínas. Além disso, contém as vitaminas A e as do complexo B, além de cálcio, potássio, magnésio e enxofre (PRATA, 1969).

Essa cultura vem sendo utilizada como fonte energética na alimentação humana e animal, representando 70% da demanda mundial, porém, recentemente, seu uso se ampliou para a industrialização com a produção de amido, álcool, adoçantes, óleos, e surge também como fonte de biocombustíveis. Caracteriza-se também por sua importância agrônômica, sendo utilizado em sistemas de rotação de culturas, principalmente em agrossistemas em que a soja é a cultura predominante (MELO FILHO; RICHETTI, 1997).

De acordo com o Agriannual (2007), há duas décadas os três maiores produtores de milho no mundo continuam os mesmos e na mesma ordem, variando apenas as proporções, em que os Estados Unidos aparecem como primeiro, representando 38% do mercado, a

China em segundo com 20% e o Brasil, ocupando a terceira colocação com 7% do mercado mundial.

O melhoramento genético do milho tem sido um importante meio para a adaptação da cultura a novas condições ambientais em que fatores de estresse relacionados ao solo, clima, pragas e doenças, tendem a inviabilizar a atividade (TEIXEIRA *et al.*, 1997). Pesquisas envolvendo melhoramento genético, realizadas em diferentes partes do mundo, têm desenvolvido diferentes tipos de milho (genótipos e/ou variedades), possibilitando o cultivo dessa cultura desde o equador até o limite das terras temperadas e desde o nível do mar até altitudes superiores a 3.600 m. Essa adaptabilidade, representada por genótipos variados, é paralela à variedade de sua utilização como alimento, forragem ou na indústria (MAGALHÃES *et al.*, 2002).

Dentre as pesquisas realizadas para promover melhorias no cultivo do milho existem trabalhos que demonstram os efeitos benéficos da simbiose entre essa cultura com os fungos micorrízicos arbusculares, promovendo um aumento do crescimento e uma melhoria do estado nutricional da cultura do milho (SIQUEIRA *et al.*, 1989; MIRANDA; MIRANDA, 1997), na melhoria do sistema radicular com aumento do número de raízes laterais primárias e secundárias e no aumento do teor de P na planta (BRESSAM; VASCONCELOS, 2002). Segundo Siqueira e Klauberg-Filho (2000), em levantamento realizado no Brasil quanto à resposta de plantas a micorrização, relatam que o milho apresenta maior crescimento e melhor nutrição quando associado às espécies de FMA *Glomus clarum* e *G. etunicatum*.

3. OBJETIVOS

3.1. Geral

Avaliar, mediante parâmetros fisiológicos e bioquímicos, os efeitos da inoculação dos FMA na cultura do milho, sob estresse salino, na presença e ausência de fósforo.

3.2. Específicos

Utilizando-se o milho como material experimental, pretende-se:

1. Estudar os efeitos da salinidade e da inoculação no crescimento, nas trocas gasosas, no potencial osmótico e nos teores relativos de água das folhas;
2. Avaliar os dados de colonização nas raízes e da dependência micorrízica nas plantas;
3. Quantificar os teores de glomalina facilmente extraível e total presentes no solo utilizado no experimento;
4. Analisar se houve mudanças nos teores de nutrientes (N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e Cl⁻) e na relação Na⁺/K⁺ nas folhas e colmos;
5. Verificar se há mudanças no acúmulo de proteínas solúveis, N-aminossolúveis, carboidratos solúveis e prolina livre nas folhas da espécie estudada.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no período de janeiro a março de 2010. As análises bioquímicas e fisiológicas foram realizadas no Laboratório de Fisiologia Vegetal do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade Federal do Ceará (UFC), enquanto as análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Microbiologia do Solo, pertencente ao Departamento de Ciências do Solo da UFC. Durante o período experimental, os valores de temperatura e umidade relativa do ar foram registrados diariamente com o auxílio de um termohigrógrafo, observando-se os valores mínimos e máximos de 23 e 31°C e 53 e 80%, respectivamente.

4.2. Solo

O solo utilizado no experimento foi um argisolo vermelho amarelo coletado na camada arável (0-20 cm) no Campus Universitário do Pici, o qual foi destorroado e passado em tamis de 2 mm, sendo em seguida esterilizado em autoclave a 127 °C por duas horas e pressão de 1 atm. As propriedades químicas do solo estão apresentadas na tabela 1.

Realizou-se calagem, com calcário dolomítico, para diminuir a acidez do solo, sendo colocado 1 g de calcário e 400 mL de água em cada vaso, deixando-se o solo descansar por uma semana.

Tabela 1 – Propriedades químicas da camada do solo na profundidade de 0-20 cm.

cmol _c dm ⁻³		mg dm ⁻³			pH	CE (dS m ⁻¹)
Ca ²⁺	Mg ²⁺	P	K ⁺	Na ⁺		
1,8	1,6	2,0	14	25	6,2	0,36

4.3. Material Vegetal

No experimento, foram utilizadas sementes de milho (*Zea mays* L.), híbrido AG 1051, que passaram por uma seleção, sendo retiradas as sementes defeituosas. Em seguida, elas foram esterilizadas superficialmente com hipoclorito de sódio comercial a 0,7% de

cloro ativo, por 5 minutos. Posteriormente, as sementes foram lavadas exaustivamente com água destilada para a retirada do excesso da substância esterilizante. Esse procedimento evitou que qualquer propágulo de FMA ativo fosse transportado para o solo esterilizado dos vasos.

4.4. Delineamento, tratamentos e condução do experimento

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 2 (plantas inoculadas e não inoculadas) x 2 (ausência e presença de P) x 3 (níveis de salinidade 0,5; 4,0 e 8,0 dS m⁻¹) com 4 repetições, totalizando 48 unidades experimentais. As sementes de milho foram semeadas em vasos de 4 kg, sendo as plantas cultivadas em solo com e sem a presença de propágulos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) da espécie *Gigaspora margarita*, sob três níveis de salinidade: 0,5; 4,0 e 8,0 dS m⁻¹. A inoculação com os FMA foi realizada antes do plantio das sementes. O inóculo foi depositado cinco centímetros abaixo das sementes, sendo constituído de 100 g de solo contendo fragmentos de raízes colonizadas e propágulos da espécie *G. margarita*, cerca de 100 esporos por vaso. Os propágulos foram oriundos do Laboratório de Microbiologia Ambiental e Biotecnologia do Centro Universitário Vila Velha – UVV, localizado na cidade de Vila Velha – Espírito Santo. No tratamento não inoculado foram colocados 5 mL de filtrado obtido do solo inoculado, no intuito de oferecer as mesmas condições presentes no solo com FMA, sendo retirado apenas os propágulos da espécie *G. margarita*. Tal filtrado foi obtido pesando-se 200 g de inóculo (solo contendo esporos, hifas de *G. margarita* e raízes inoculadas) dissolvido em três litros de água destilada, deixando-se decantar por 20 min. Após, a solução foi passada em tamis de 140, 60 e 20 mesh e em papel de filtro qualitativo.

Os níveis de salinidade do solo foram induzidos através da aplicação de água com diferentes níveis de condutividade elétrica (CE). Os sais adicionados à água de irrigação foram NaCl, CaCl₂ e MgCl₂, na proporção 7:2:1, conforme Rhoades *et al.* (2000). A água de irrigação era aplicada diariamente e a quantidade de água aplicada às plantas foi de acordo com o princípio de lisímetro de drenagem (BERNARDO *et al.*, 2008), mantendo-se o solo na capacidade de campo e adicionando frações de lixiviação para prevenir o acúmulo excessivo de sais. No decorrer do experimento foram realizadas seis aplicações de solução nutritiva, de 200 mL cada, sendo as aplicações realizadas semanalmente. A

solução nutritiva utilizada no experimento foi a de Hoagland, sendo que, nos tratamentos com a ausência de fósforo essa solução foi modificada, sendo o composto $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ substituído por NH_4NO_3 .

O plantio das sementes de milho foi realizado no dia 21 de janeiro de 2010 e cada tratamento consistiu de quatro vasos. No mesmo dia do plantio, foi realizada a montagem de uma sementeira nas mesmas condições citadas anteriormente, com o intuito de realizar o transplântio nos vasos em que a germinação das sementes não ocorreu. Sete dias após o plantio (DAP), foi realizado o transplântio para os vasos em que as sementes não germinaram, deixando-se duas plantas por vaso, tal processo ocorreu juntamente com a primeira aplicação da solução nutritiva. A aplicação da solução salina foi iniciada 15 DAP, sendo feita sempre que necessária, diariamente ou a cada dois dias, variando com o desenvolvimento das plantas, sendo mantida uma fração de lixiviação de 15% em cada aplicação. Na figura 1 é mostrada uma visão geral do experimento.



Figura 1 – Disposição dos vasos com as plantas de milho aos 20 dias após o plantio na casa de vegetação, na quarta aplicação de água salina.

4.5. Trocas gasosas e teores relativos de clorofila

Aos 34 DAP foram realizadas medições da taxa fotossintética líquida, da taxa de transpiração e da condutância estomática na primeira folha completamente expandida a partir do ápice, utilizando-se um analisador de gás no infravermelho (IRGA, ADC System, Hoddesdon, UK), em sistema aberto, com fluxo de ar de 300 mL min⁻¹. As medições ocorreram entre 8:00 e 10:00 h, utilizando-se uma fonte de radiação artificial (cerca de 1.200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Os teores relativos de clorofila foram determinados também aos 34 DAP, por meio de método não-destrutivo, através de leituras realizadas com um medidor de clorofila portátil (SPAD-502, Minota Co. Ltd Osaka, Japan). As leituras foram realizadas na mesma folha utilizada para a determinação das trocas gasosas.

4.6. Coleta das plantas, separação do material e análise de crescimento

Aos 40 DAP, as plantas de milho foram coletadas e separadas em folhas, colmos e raízes. A área foliar (AF) foi determinada com um medidor de área (LI-3100, Li-Cor, Inc. Lincoln, NE, USA). Em seguida, as folhas foram separadas em três grupos: a 1ª folha completamente expandida, a partir da base, que após a retirada dos discos foliares para determinação do teor relativo de água, foi utilizada para a obtenção do suco, no qual se determinou o potencial osmótico (Ψ_s); as 2ª e 3ª folhas completamente expandidas, a partir da base, foram imediatamente congeladas em nitrogênio líquido e armazenadas em freezer a -80 °C, depois foram liofilizadas, pesadas para determinação da matéria seca (MS) e maceradas, sendo utilizadas para a determinação dos solutos orgânicos; e o restante das folhas foi seco em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C, por 48 h. Os colmos foram colocados em sacos de papel e postos para secar em estufa nas condições descritas anteriormente, sendo, em seguida, pesados em balança analítica para a determinação da matéria seca (MS). A matéria seca da parte aérea (MSPA) foi obtida somando-se a MS das folhas liofilizadas e das secas em estufa + a MS dos colmos. O material seco em estufa (folhas e colmo) foi utilizado para a determinação dos elementos minerais.

As raízes das unidades experimentais foram coletadas, lavadas com água destilada e armazenadas em álcool 70% para posterior avaliação da colonização micorrízica.

4.7. Teor relativo de água e potencial osmótico

Para a determinação do teor relativo de água (TRA), foram coletados 10 discos foliares de 1 cm de diâmetro, retirados da 1ª folha completamente expandida a partir da base, os quais foram pesados para a obtenção da massa fresca (MF). Os discos foliares foram transferidos para placas de Petri com água destilada e deixados imersos por 8 horas. A seguir, os discos foram removidos e colocados entre duas folhas de papel de filtro, sendo pressionados levemente para eliminação do excesso de água e, em seguida, pesados novamente para a obtenção da massa túrgida (MT). Logo após, os discos foram colocados em sacos de papel e postos em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C, até atingir peso constante (cerca de 48 h), quando então foi determinada a MS dos discos. O teor relativo de água foi calculado pela equação: $TRA = 100[(MF - MS)/(MT - MS)]$, sendo expresso em percentagem.

Para a determinação do potencial osmótico (Ψ_s), o material que sobrou após a retirada dos discos foliares para determinação do TRA foi macerado em almofariz, prensado e filtrado em uma seringa descartável, utilizando-se uma tela de náilon. O suco extraído do material vegetal foi centrifugado a 12.000 x g, por 10 min, a 4 °C, obtendo-se um sobrenadante, a partir do qual uma alíquota de 10 μ L foi retirada e utilizada para a determinação do Ψ_s , com o auxílio de um microosmômetro (VAPRO 5520, Wescor, Logan Utah, USA). Os valores do Ψ_s foram expressos em MPa.

4.8. Colonização micorrízica arbuscular

A colonização micorrízica foi avaliada de acordo com a metodologia de coloração descrita por Philips e Hayman (1970). As raízes coletadas foram clarificadas através de aquecimento com KOH a 10%, por 30 min, em banho-maria a 90°C, sendo em seguida, lavadas com H₂O₂ a 35% e, posteriormente colocadas em solução de tinta de caneta em ácido acético 5% e deixadas em banho-maria por 2 min, a 90°C. A quantificação da colonização foi realizada através da observação das estruturas típicas dos fungos micorrízicos arbusculares na região cortical das raízes coradas (GIOVANETTI; MOSSE, 1980).

4.9. Dependência micorrízica

A dependência micorrízica (DM), definida por Gerdemann (1975), foi estimada pela diferença entre as MSPA das plantas inoculadas e não inoculadas com FMA, como um percentual da MSPA das plantas inoculadas, de acordo com a metodologia descrita por Plenchette *et al.* (1983).

$$DM = \left[\frac{MSPA \text{ planta colonizada} - MSPA \text{ planta não colonizada}}{MSPA \text{ planta colonizada}} \right] \times 100$$

4.10. Extração e determinação da glomalina

O solo contido nos vasos inoculados com fungo micorrízico foram homogeneizados. Em seguida, foram retirados 200 g de solo, que foram peneirados em tamis de 1–2 mm para posterior extração da glomalina. Foram quantificadas duas frações de glomalina: a glomalina facilmente extraível (GFE) e a glomalina total (GT), seguindo-se a metodologia descrita por Wright e Upadhyaya (1998). Para determinar a GFE, 8 mL de citrato de sódio (20 mM; pH 7,0) foram adicionados a 1 g de agregados de solo em tubos de centrifuga, seguindo-se a extração em autoclave (121 °C por 30 min) e posterior centrifugação (10.000 x g por 15 min). A fração GT foi extraída a partir da adição de 8 mL de citrato de sódio (50 mM; pH 8,0) a 1 g de agregados de solo, sendo conduzidos três ciclos de extração em autoclave (121 °C por 60 min). Ao final de cada ciclo, o material foi centrifugado (10.000 x g por 15 min) e o sedimento ressuspensão com 8 mL da solução extratora. Os sobrenadantes de ambas as frações foram armazenados a -4 °C e a glomalina quantificada de acordo com Bradford (1976), utilizando-se albumina de soro bovina como padrão. Cada extrato (repetição) foi dosado em duplicata, sendo o resultado expresso em mg g⁻¹ de solo.

4.11. Determinação dos elementos inorgânicos

Os teores de Na⁺, K⁺ e Cl⁻ foram determinados nas folhas e nos colmos das plantas de milho. Os extratos brutos foram preparados de acordo com o método do Cataldo *et al.* (1975), com pequenas modificações. A proporção entre a massa de tecido seco em estufa e

o volume de água desionizada para os extratos de cada coleta foi de 50 mg de folha ou colmo para 5 mL de água desionizada. Em tubos de ensaio, foram adicionados o pó da massa seca de folhas ou colmos e água desionizada. As amostras foram, então, agitadas vigorosamente e incubadas a 45 °C, por 1 h, em banho-maria, com agitações a cada 15 min. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 3.000 x g, por 10 min, sendo o sobrenadante (extrato) coletado, filtrado em papel de filtro e armazenado em frascos de vidro a -20 °C.

Os íons Na^+ e K^+ foram determinados por fotometria de chama, segundo Malavolta *et al.* (1989). Para a determinação de Cl^- , foram utilizados 3,0 mL do extrato convenientemente diluído, aos quais foram adicionados 0,5 mL da mistura formada por tiocianato de mercúrio [$\text{Hg}(\text{SCN})_2$] a 13,2 mM, em metanol absoluto, e nitrato férrico [$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$] a 20,2%, em água desionizada, na proporção de 4:1. Após agitação, os tubos permaneceram em repouso por 15 min, sendo as concentrações de cloreto estimadas através de leituras de absorbância em 460 nm, utilizando-se NaCl como padrão. Como branco, foi utilizado um tubo de ensaio contendo água desionizada, em substituição ao suco do tecido foliar (GAINES *et al.*, 1984). Para as determinações dos teores de Na^+ e K^+ , foi realizada uma leitura no fotômetro de chama para cada repetição, enquanto que para a de Cl^- cada extrato (repetição) foi dosado em duplicata. As concentrações dos íons Na^+ , K^+ e Cl^- foram expressas g kg^{-1} MS.

Os nutrientes P, Ca^{2+} e Mg^{2+} foram extraídos do material vegetal através de digestão nítrico-perclórica, de acordo com Malavolta *et al.* (1989). O extrato foi preparado a partir da homogeneização, em tubos digestores, de 0,5 g do material vegetal (folhas ou colmos secos em estufa e moídos) em 6 mL da mistura de ácido nítrico (HNO_3) concentrado com ácido perclórico (HClO_4) concentrado na proporção 4:1 (v/v). Logo em seguida, os tubos digestores contendo as amostras foram colocados em uma placa digestora, na qual a temperatura foi gradativamente elevada até atingir 160 °C, permanecendo nessa temperatura até o volume da amostra ser reduzido à metade. Posteriormente, a temperatura foi aumentada para 210 °C até obterem-se fumos brancos de HClO_4 e o extrato apresentar-se incolor. Após o extrato atingir a temperatura ambiente, o mesmo foi transferido para balão volumétrico quando seu volume foi completado com água desionizada para 50 mL. Com o extrato preparado, foram determinados, por espectrofotometria de absorção atômica, os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , sendo necessário a adição de estrôncio nos extratos antes das determinações. Os teores de P foram

determinados por espectrofotometria, de acordo com Fiske e Subbarow (1925), sendo a leitura realizada a 660 nm, sendo cada extrato (repetição) dosado em duplicata. Os teores de P, Ca²⁺ e Mg²⁺ foram expressos em g kg⁻¹ MS.

O nitrogênio total foi determinado por espectrofotometria, de acordo com Baethgen e Alley (1989). Para isso, 0,5 g do material vegetal (folhas ou colmos secos em estufa) foram colocados em tubos digestores, nos quais foram adicionados 2 mL de ácido sulfúrico concentrado e 1,1 g da mistura catalisadora, composta por sulfato de potássio (K₂SO₄), sulfato de cobre (CuSO₄) e selênio (Se), na proporção 100:10:1, em peso, respectivamente, sendo os homogenatos agitados vigorosamente. Os tubos foram colocados em placa digestora a qual teve a temperatura elevada gradativamente até 350 °C. Após parcial resfriamento do extrato, o mesmo foi ressuspenso em água desionizada e o volume aferido para 25 mL em balão volumétrico. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 650 nm, com o extrato devidamente diluído. Cada extrato (repetição) foi dosado em duplicata. Os teores de N foram expressos em g kg⁻¹ MS.

4.12. Determinação dos solutos orgânicos

Para a determinação dos solutos orgânicos (carboidratos solúveis, proteínas solúveis, N-aminossolúveis e prolina), foi preparado um extrato base a partir do pó liofilizado dos tecidos foliares. Na preparação desse extrato, 100 mg do material foram macerados em almofariz com 10 mL de água desionizada, sendo a mistura mantida sob agitação constante por uma hora à temperatura ambiente. Em seguida, o homogenato foi centrifugado a 3.000 x g por 15 min, sendo o precipitado descartado e o sobrenadante congelado a -25 °C, para posterior análise química.

4.12.1. Carboidratos solúveis

Os carboidratos solúveis foram determinados de acordo com Dubois *et al.* (1956). A mistura de reação foi constituída por 0,125 mL do extrato base; 0,125 mL de fenol a 5% e 0,625 mL de ácido sulfúrico concentrado. Utilizou-se como branco a mistura formada por 0,125 mL de água destilada em substituição ao extrato, acrescida dos demais reagentes empregados na reação. A mistura foi agitada vigorosamente e deixada em repouso por 10 min para o seu resfriamento. Em seguida, as amostras foram submetidas à quantificação

dos carboidratos solúveis por meio de leituras de absorvância em 490 nm. A curva padrão foi obtida utilizando-se D(+) glicose anidra. Os resultados de carboidratos solúveis foram expressos em $\mu\text{mol g}^{-1} \text{MS}$, sendo cada extrato (repetição) dosado em duplicata.

4.12.2. Proteínas solúveis

As determinações das concentrações de proteínas solúveis seguiram a metodologia descrita por Bradford (1976). A 0,1 mL do extrato, convenientemente diluído, foi adicionado 1,0 mL do reagente de coomassie. Este reagente foi preparado dissolvendo-se 100 mg de Coomassie Brilliant Blue G-250 (Sigma Chemical Company) em 50 mL de etanol a 95%, acrescidos de 100 mL de ácido fosfórico a 85%. O volume final da solução foi completado para 1.000 mL com água desionizada. As proteínas solúveis foram estimadas pelas medidas de absorvância em 595 nm, utilizando-se como branco a mistura de 0,1 mL de água desionizada e 1,0 mL do reagente de Coomassie. Como padrão foi utilizado a albumina de soro bovina. Os resultados foram expressos em $\text{mg g}^{-1} \text{MS}$, sendo cada extrato (repetição) dosado em duplicata.

4.12.3. N-aminossolúveis

As concentrações de N-aminossolúveis foram determinadas pelo método de Yemm e Cocking (1955). Em tubos de ensaio, com tampas rosqueadas, foram adicionados 0,5 mL do extrato base, 0,25 mL de tampão citrato de sódio a 0,2 M (pH 5,0), 0,5 mL de KCN a 0,2 mM em metilcelosolve a 100% e 0,1 mL de ninhidrina a 5%, também, em metilcelosolve a 100%. Após agitação, os tubos fechados foram deixados em banho-maria a 100°C, por 15 min. Em seguida, interrompeu-se a reação abruptamente por meio de resfriamento dos tubos em banho de gelo, sendo, em seguida, adicionados aos tubos 0,65 mL de etanol a 60%. O branco constituiu-se da mistura formada por 0,5 mL de água desionizada acrescida dos demais constituintes da reação. Os N-aminossolúveis foram quantificados por medidas de absorvância em 570 nm, usando-se como padrão uma curva feita com L-glicina. Os resultados expressos em $\mu\text{mol g}^{-1} \text{MS}$, sendo cada extrato (repetição) dosado em duplicata.

4.12.4. Prolina

As concentrações de prolina foram determinadas de acordo com o método de Bates *et al.* (1973), com o uso do reagente da ninhidrina ácida (1,25 g de ninhidrina, em 30 mL de ácido acético glacial e 20 mL de ácido fosfórico a 6,0 M). Em tubos de ensaio com tampas rosqueadas, foram adicionados 1,0 mL do extrato, 1,0 mL de ninhidrina ácida e 1,0 mL de ácido acético glacial, sendo a mistura colocada em banho-maria em H₂O fervente, por 1 h, para o desenvolvimento da cor. Em seguida, os tubos foram resfriados em banho de gelo por 10 min para interromper a reação. Após o resfriamento, adicionaram-se 2,0 mL de tolueno aos tubos, os quais foram agitados vigorosamente. Em seguida, os tubos foram deixados em repouso, sendo observada a formação de uma fase superior (cromóforo + tolueno) e outra inferior. Com o auxílio de uma pipeta Pasteur, a fase superior foi aspirada e colocada numa cubeta de quartzo para quantificação de prolina, através das leituras de absorbância em 520 nm, sendo o tolueno usado como branco. Utilizou-se como padrão uma curva feita com L-prolina e os resultados foram expressos em $\mu\text{mol g}^{-1} \text{MS}$. Cada extrato (repetição) foi dosado em duplicata.

4.13. Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As análises foram realizadas utilizando-se o programa estatístico SigmaStat®, versão 11.0.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Análise do crescimento

Por meio da análise de variância (valores de F) dos dados de AF (Tabela 2), observa-se que houve efeito significativo ($p \leq 0,05$) da inoculação das plantas de milho com os FMA, bem como os efeitos devido ao fósforo e ao estresse salino. Por outro lado, em relação aos dados de MSPA, os efeitos foram significativos apenas para os fatores fósforo e estresse salino ($p \leq 0,01$) (Tabela 2). Contudo, não foi observada nenhuma interação significativa (dupla ou tripla) entre as fontes de variação ($p \leq 0,01$). O mesmo foi observado por Colla *et al.* (2008) em plantas de abobrinha inoculadas e não inoculadas e sob diferentes níveis de salinidade e teores de fósforo. Contudo, vale ressaltar que a capacidade do fungo micorrízico de estimular o crescimento das plantas é determinada pelas características e por todos os componentes da simbiose, principalmente do microbionte (fungo) que pode apresentar diferentes graus de eficiência, podendo ser até mesmo ineficaz, dependendo da planta hospedeira e das condições de crescimento da planta (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Tabela 2 – Análise de variância (valores de F) para os dados de área foliar (AF) e matéria seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho inoculadas e não-inoculadas com FMA (*G. margarita*), na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade. Diferenças significativas são representadas por (**) e (*) para $p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$, respectivamente. (ns) = não significativo.

Fonte de Variação	AF	MSPA
Inoculação (I)	6,68*	0,16 ^{ns}
Fósforo (P)	5,62*	4,84*
Salinidade (S)	116,12**	19,87**
I x P	1,53 ^{ns}	0,049 ^{ns}
I x S	1,21 ^{ns}	2,29 ^{ns}
P x S	2,63 ^{ns}	1,11 ^{ns}
I x P x S	0,52 ^{ns}	0,66 ^{ns}

Como observado na figura 2A, tanto nas plantas inoculadas como nas não inoculadas e em presença ou ausência de P, a salinidade reduziu a AF das plantas de milho. Segundo Tester e Davenport (2003), o decréscimo da área foliar, possivelmente, está relacionado com um dos mecanismos de aclimação da planta ao estresse salino, ao diminuir a superfície transpirante.

Nas plantas não inoculadas em presença de P, as reduções na AF foram de 27 e 46%, nos níveis de salinidade correspondentes a 4,0 e 8,0 dS m⁻¹ em relação àquele com CE de 0,5 dS m⁻¹, respectivamente. Por outro lado, nas plantas não inoculadas em ausência de fósforo tais reduções foram, respectivamente, de 31 e 42% em relação ao tratamento a 0,5 dS m⁻¹. Além disso, não foram observadas diferenças significativas nos valores de AF das plantas não inoculadas, comparando-se os tratamentos com e sem P, em nenhum dos níveis de salinidade empregados (Figura 2A).

Levando em conta a média de todos os tratamentos, a AF das plantas inoculadas foi 7% menor em relação às plantas não inoculadas (Figura 2A). O contrário foi descrito por Lúcio (2008), que verificou aumento de 47% na AF das plantas de melão colonizadas com FMA das espécies *Glomus clarum* e *G. intraradices*, em relação às plantas não colonizadas sob diferentes níveis de salinidade. Yano-melo *et al.* (2003), estudando bananeira submetida a níveis crescentes de salinidade, também encontraram valores de AF maiores nas plantas inoculadas.

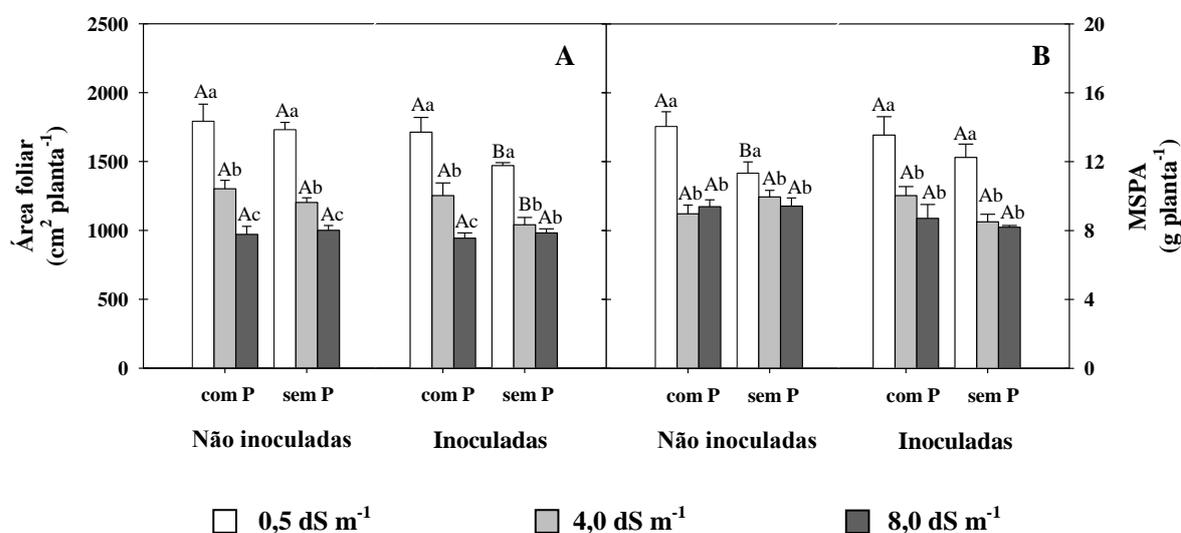


Figura 2 – Área foliar (A) e matéria seca da parte aérea (MSPA, B) de plantas de milho inoculadas e não-inoculadas com FMA, na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade (CE de 0,5; 4,0 e 8,0 dS m⁻¹). As barras representam o erro padrão. Para cada tratamento de fósforo, colunas seguidas de letras minúsculas iguais não diferem significativamente entre si quanto à salinidade. Para cada tratamento de inoculação, colunas seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si de maneira significativa quanto ao fósforo, $p \leq 0,05$.

Nas plantas inoculadas em presença de P, as reduções na AF nos níveis de 4,0 e 8,0 dS m⁻¹, em relação ao nível de 0,5 dS m⁻¹, foram de 27 e 45%, respectivamente (Figura 2A). Contudo, nas plantas inoculadas em ausência de P, a redução na AF nas doses de 4,0

e $8,0 \text{ dS m}^{-1}$ foi cerca de 31%, em relação ao tratamento com a menor dose de sal (Figura 2A). Diferentemente do observado para as plantas não inoculadas, o tratamento com P teve efeito nas plantas inoculadas, sendo que as plantas na ausência de P apresentaram valores de AF 14 e 17% menores que aqueles em presença de P nos níveis de 0,5 e $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ de salinidade, respectivamente (Figura 2A). Segundo Siqueira e Saggin Junior (2004), quando o ambiente é estressante para a planta, com baixo suprimento de água e de nutrientes, particularmente de P, geralmente a simbiose com os FMA garante benefícios para a planta.

A MSPA teve comportamento semelhante ao da AF, apresentando decréscimos com o aumento dos níveis de salinidade (Figura 2B). Esses resultados confirmam uma resposta típica de glicófitas quando expostas à salinidade do meio (KATERJI *et al.*, 1996; AZEVEDO NETO *et al.*, 2004). A maior produção de matéria seca no nível de salinidade de $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ sugere que o Na^+ quando presente em pequenas quantidades na água de irrigação não prejudica o desenvolvimento das plantas de milho. De acordo com Daker (1976), apesar do Na^+ não ser considerado essencial para o desenvolvimento das plantas, quando em pequenas quantidades, pode estimular o crescimento de certas culturas.

Nas plantas não inoculadas em presença de P, as reduções na MSPA nos níveis de $4,0$ e $8,0 \text{ dS m}^{-1}$, em relação ao nível de $0,5 \text{ dS m}^{-1}$, foi de 25% (Figura 2B). Contudo, nas plantas não inoculadas em ausência de P, a redução na MSPA nas doses de $4,0$ e $8,0 \text{ dS m}^{-1}$ foi cerca de 8%, em relação ao tratamento com a menor dose de sal (Figura 2B). Já nas plantas inoculadas tais reduções foram de 31 e 32% nas plantas em presença e ausência de P, nos níveis de $4,0$ e $8,0 \text{ dS m}^{-1}$ em relação ao nível de $0,5 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente.

Neves *et al.* (2002) verificaram redução na massa seca da bananeira “Prata” submetida a diferentes doses de Na^+ na solução nutritiva, salientando que, nos tratamentos que receberam maior concentração de Na^+ , as plantas apresentaram menor produção de matéria seca, que é uma das características mais utilizadas para a avaliação do crescimento de plantas em condições salinas.

5.2. Teor relativo de água e potencial osmótico

A análise de variância para os dados de teor relativo de água (TRA) e potencial osmótico (Ψ_s) é apresentada na tabela 3. Como pode ser visto, o TRA não foi afetado significativamente por nenhum dos fatores estudados. Já o Ψ_s foi afetado apenas pela

salinidade ($p \leq 0,01$). Não foi observada nenhuma interação entre os fatores estudados para nenhuma das variáveis analisadas.

O TRA foliar, que correlaciona a quantidade de água do tecido com a máxima quantidade de água que os tecidos podem armazenar, não foi afetado por nenhum dos tratamentos empregados (Figura 3A). As diferenças obtidas não foram estatisticamente significativas, sugerindo que o TRA não foi influenciado pela colonização micorrízica ou pelos diferentes níveis de P e de salinidade. Colla *et al.* (2008) relatam que plantas inoculadas mantêm alto nível de água nas folhas quando em condições salinas. Outros autores utilizando variados níveis de estresse, porém sem o uso de FMA, também observaram que o TRA não foi alterado pelo estresse salino (PIZARRO, 2006; CAMARGO *et al.*, 2008; FERREIRA-SILVA, 2008; FREITAS, 2010), sugerindo que as plantas, dependendo do nível de estresse salino, desenvolvem efetivos mecanismos de ajustamento osmótico para regular sua homeostase hídrica a valores similares àqueles das plantas controle, através da compartimentagem dos íons Na^+ e Cl^- no vacúolo ou pela síntese de solutos orgânicos no citosol.

Tabela 3 – Análise de variância (valores de F) para os dados de teor relativo de água (TRA) e potencial osmótico (Ψ_s) de folhas de plantas de milho inoculadas e não-inoculadas com FMA (*G. margarita*), na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade. Diferenças significativas são representadas por (**) para $p \leq 0,01$. (^{ns}) = não significativo.

Fonte de Variação	TRA	Ψ_s
Inoculação (I)	1,22 ^{ns}	0,19 ^{ns}
Fósforo (P)	1,61 ^{ns}	0,002 ^{ns}
Salinidade (S)	1,48 ^{ns}	187,02**
I x P	0,21 ^{ns}	2,07 ^{ns}
I x S	0,74 ^{ns}	0,52 ^{ns}
P x S	0,48 ^{ns}	0,21 ^{ns}
I x P x S	0,08 ^{ns}	1,12 ^{ns}

Na figura 3B pode ser observado que o Ψ_s diminuiu com o aumento dos níveis de salinidade. Em relação ao tratamento de mais baixa salinidade, o milho decresceu seu Ψ_s em 27 e 71%, respectivamente, nos níveis de 4,0 e 8,0 dS m^{-1} , independente do tratamento de inoculação, ou da presença ou ausência de P.

A redução no Ψ_s foliar é comum às plantas sob estresse salino (YOKOI *et al.*, 2002), podendo ocorrer pelo acúmulo de íons inorgânicos (RIVELLI *et al.*, 2002; KOYRO, 2006) e solutos orgânicos compatíveis (WOOD *et al.*, 1996; MATSUMURA *et al.*, 1998). Diferentemente do observado por Praxedes (2008), a redução do Ψ_s não foi influenciada pela redução da quantidade de água dos tecidos foliares, já que o TRA não foi alterado.

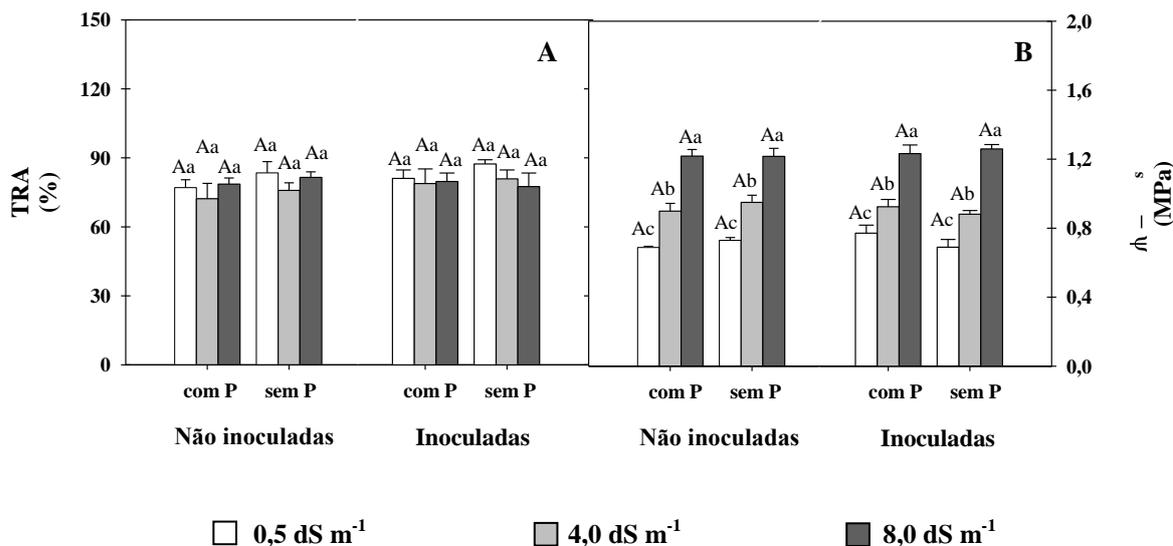


Figura 3 – Teor relativo de água (TRA, A) e potencial osmótico (Ψ_s , B) de plantas de milho inoculadas e não-inoculadas com FMA, na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade (CE de 0,5; 4,0 e 8,0 dS m⁻¹). As barras representam o erro padrão. Para cada tratamento de fósforo, colunas seguidas de letras minúsculas iguais não diferem significativamente entre si quanto à salinidade. Para cada tratamento de inoculação, colunas seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si de maneira significativa quanto ao fósforo, $p \leq 0,05$.

5.3. Trocas gasosas e índice SPAD

As variáveis de trocas gasosas apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,01$) apenas para o fator salinidade como mostrado na análise de variância na tabela 4, não sendo observada nenhuma interação significativa entre os fatores inoculação, fósforo e salinidade.

A taxa fotossintética líquida foi reduzida significativamente quando as plantas de milho foram expostas à dose de salinidade correspondente a 4,0 dS m⁻¹, não observando-se, contudo, diferenças nesse parâmetro quando o nível de salinidade aumentou para 8,0 dS m⁻¹ (Figura 4A). A influência negativa da salinidade sobre a taxa fotossintética também tem sido observada por vários autores (LÚCIO, 2008; SHENG *et al.* 2008; MASCENA, 2010).

A condutância estomática apresentou valores decrescentes à medida que se intensificou o estresse salino, tanto nas plantas inoculadas quanto nas não inoculadas, não sendo influenciada pela aplicação de fósforo ou pelos tratamentos de inoculação (Tabela 4; Figura 4B). Távora *et al.* (2001), estudando o crescimento e as relações hídricas em plantas de goiabeira submetidas a estresse salino, observaram que o tempo de exposição ao estresse salino ocasionou uma diminuição na condutância estomática e na transpiração. Outros autores também observaram essa diminuição da condutância estomática com o aumento do estresse salino (BEZERRA *et al.*, 2003; LÚCIO, 2008; FEIJÃO, 2009; MASCENA, 2010). De acordo com Brugnoli e Lauteri (1991) o efeito primário do estresse salino se dá pelo fechamento dos estômatos, sendo as reações nos cloroplastos afetadas apenas quando vários outros processos são também afetados.

A transpiração também foi reduzida com o incremento dos níveis de salinidade (Figura 4C). As reduções na transpiração foram semelhantes tanto nas plantas inoculadas com os FMA como nas não inoculadas, não ocorrendo diferenças entre os tratamentos com ou sem a presença de fósforo na solução nutritiva. A redução da transpiração está associada ao fechamento parcial dos estômatos que, de acordo com Peyrano *et al.* (1997), pode ocorrer em função da redução na condutividade hidráulica do sistema radicular provocada pelo estresse salino.

O índice SPAD não foi alterado significativamente por nenhum dos fatores analisados (Tabela 4; Figura 4D), dados que diferem dos encontrados por Sheng *et al.* (2008), estudando plantas de milho colonizadas e não colonizadas por FMA sob estresse salino. Esses autores encontraram reduções no teor relativo de clorofila com o aumento da salinidade.

Tabela 4 – Análise de variância (valores de *F*) para os dados de trocas gasosas e índice SPAD de plantas de milho inoculadas e não inoculadas com FMA (*G. margarita*), na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas de diferentes níveis de salinidade. Diferenças significativas são representadas por (**) para $p \leq 0,01$. (^{ns}) = não significativo.

Fonte de Variação	Fotossíntese (A)	Condutância estomática (g _s)	Transpiração (E)	SPAD
Inoculação (I)	0,95 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,94 ^{ns}	1,53 ^{ns}
Fósforo (P)	0,07 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,05 ^{ns}	1,00 ^{ns}
Salinidade (S)	6,99**	22,54**	25,41**	11,23 ^{ns}
I x P	1,73 ^{ns}	3,73 ^{ns}	1,21 ^{ns}	2,79 ^{ns}
I x S	0,01 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,11 ^{ns}
P x S	0,41 ^{ns}	0,56 ^{ns}	1,31 ^{ns}	0,60 ^{ns}
I x P x S	0,26 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,22 ^{ns}

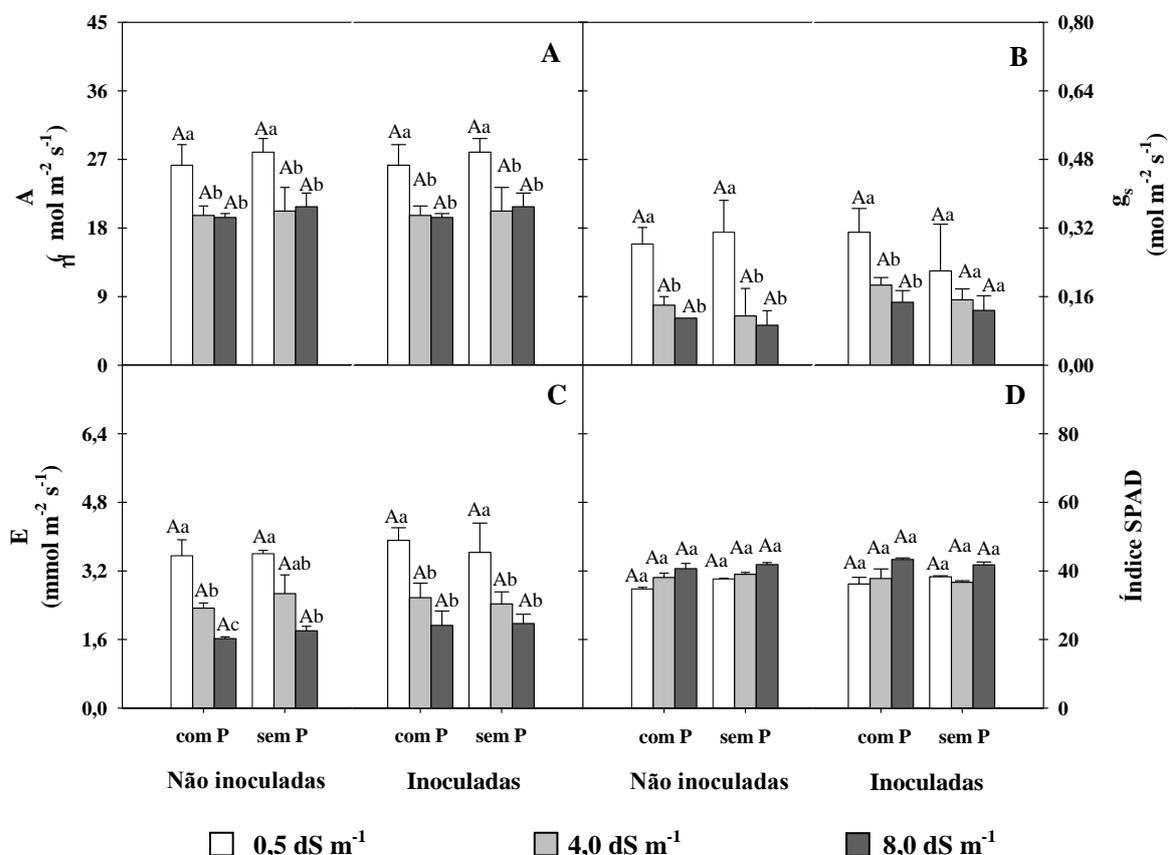


Figura 4 – Taxa fotossintética líquida (A, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , B, $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E, C) e índice SPAD (D) de plantas de milho inoculadas e não-inoculadas com FMA, na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade (CE de 0,5; 4,0 e 8,0 dS m^{-1}). As barras representam o erro padrão. Para cada tratamento de fósforo, colunas seguidas de letras minúsculas iguais não diferem significativamente entre si quanto à salinidade. Para cada tratamento de inoculação, colunas seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si de maneira significativa quanto ao fósforo, $p \leq 0,05$.

5.4. Variáveis microbiológicas

5.4.1. Colonização e dependência micorrízicas

Na avaliação da colonização micorrízica radicular verificou-se que em todas as plantas inoculadas ocorreu a presença de estruturas características dos FMA (Figura 5) (resultados não apresentados). Já nas plantas não inoculadas não houve colonização. De acordo com a análise de variância (Tabela 5) apenas o fator salinidade foi estatisticamente significativo ($p \leq 0,01$) para o parâmetro colonização.



Figura 5 - Células auxiliares de *Gigaspora margarita* na raiz de milho.

Tabela 5 – Análise de variância (valores de F) para os dados de colonização micorrízica das raízes de plantas de milho inoculadas e não inoculadas com FMA(*G. margarita*), na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade. Diferenças significativas são representadas por (**) para $p \leq 0,01$. (^{ns}) = não significativo.

Fonte de Variação	Colonização micorrízica
Fósforo (P)	0,21 ^{ns}
Salinidade (S)	14,98**
P x S	1,21 ^{ns}

As plantas inoculadas com os FMA na presença de P apresentaram redução média de colonização micorrízica de 41%, nos níveis de salinidade de 4,0 e 8,0 dS m⁻¹, em relação ao nível de 0,5 dS m⁻¹ (Figura 5A), enquanto nas plantas inoculadas na ausência de P a redução foi de 57%. Colla *et al.* (2008) estudando abobrinha nas mesmas condições do presente estudo, verificaram que a colonização micorrízica foi maior nas condições de baixo teor de fósforo (0,3 mM de P) e alta salinidade (5,0 dS m⁻¹). Kaya *et al.* (2009), estudando pimenteira inoculada sob diferentes níveis de salinidade também verificaram diminuição na colonização das raízes à medida que os níveis de salinidade aumentaram. Asghari *et al.* (2005) também verificaram que plantas de *Atriplex nummularia* diminuíram a colonização de raízes por FMA com o aumento da salinidade. Além disso, esses autores verificaram que a colonização apresentava-se maior quando as plantas estavam em seu ambiente natural do que quando cultivadas em casa de vegetação.

É evidente que a diminuição da taxa de colonização em níveis elevados de salinidade (Figura 6) indica que o excesso de sais inibiu o crescimento dos FMA. Pesquisas anteriores já haviam mostrado que a salinidade pode reduzir a colonização de micorrizas arbusculares, inibindo a germinação de esporos e o crescimento de hifas no solo, mesmo após ocorrida a infecção inicial (JUNIPER; ABBOTT, 2006).

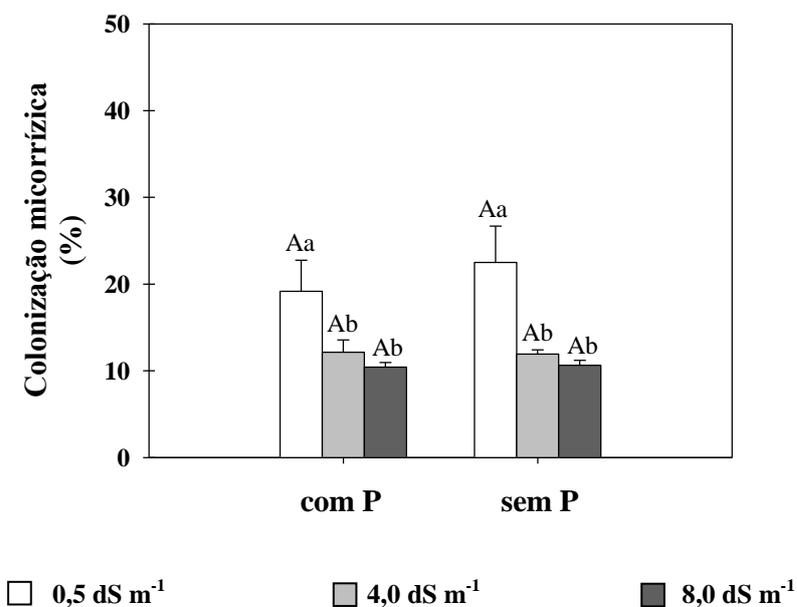


Figura 6 – Colonização micorrízica de raízes, inoculadas com fungo micorrízico arbuscular da espécie *Gigaspora margarita*, de plantas de milho na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade (CE de 0,5; 4,0 e 8,0 dS m⁻¹). As barras representam o erro padrão. Para cada tratamento de fósforo, colunas seguidas de letras minúsculas iguais não diferem significativamente entre si quanto à salinidade. Entre os tratamentos de fósforo, colunas seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente entre si quanto ao fósforo, $p \leq 0,05$.

A dependência micorrízica (DM) das plantas de milho, associadas ao estresse salino e à presença ou a ausência de fósforo no meio de crescimento apresentou valores percentuais baixos, apresentando valores abaixo de zero (tabela 6), o que pode evidenciar que o fungo, *G. margarita*, estava agindo como parasita e não como um simbiote mutualístico. Observa-se que o maior valor de DM encontrado foi de 15% nas plantas inoculadas na ausência de fósforo e no tratamento salino a 0,5 dS m⁻¹ de CE. De acordo com Habte e Manjunath (1991), com base em Plenchette *et al.* (1983), as plantas de milho inoculadas com *G. margarita*, apresentam DM marginal quando os valores são inferiores a 25%. Tavares (2007) verificou que plantas de sabiá sofreram reduções nos valores de DM com o aumento dos níveis de salinidade da água de irrigação, observação encontrada também no presente estudo, onde os níveis de maior estresse salino (4,0 e 8,0 dS m⁻¹)

obtiveram valores da DM menor (valores abaixo de zero) em comparação ao menor nível de estresse, 0,5 dS m⁻¹.

Tabela 6 – Valores médios da dependência micorrízica de plantas de milho inoculadas com FMA (*G. margarita*), na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade. PI com P (planta inoculada com fósforo); PI sem P (planta inoculada sem fósforo).

Tratamentos	Dependência micorrízica (%)
PI com P (0,5 dS m ⁻¹)	0,8
PI sem P (0,5 dS m ⁻¹)	15
PI com P (4,0 dS m ⁻¹)	-3,5
PI sem P (4,0 dS m ⁻¹)	-18,5
PI com P (8,0 dS m ⁻¹)	-11
PI sem P (8,0 dS m ⁻¹)	-15

5.4.2. Teores de glomalina: total e facilmente extraível

A glomalina não foi detectada no solo onde plantas não inoculadas foram cultivadas (resultados não apresentados), confirmando a afirmação de Leake *et al.* (2004) de que essa proteína, muito provavelmente, é produzida pelos FMA, uma vez que, em sua ausência, a glomalina não é encontrada. As fontes de variação, salinidade e fósforo, bem como a interação fósforo x salinidade, não foram estatisticamente significativos de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade, como pode ser verificado na tabela 7.

A glomalina pode servir como fonte de nutrientes no solo (HARNER; RAMSEY; RILLING, 2005), sendo sua produção dependente da espécie de FMA (RILLIG *et al.*, 2005) e da espécie vegetal (BIRD *et al.*, 2002; RILLING; WRIGHT; EVINER, 2002).

Tabela 7 – Análise de variância (valores de *F*) para as concentrações de glomalina total (GT) e glomalina facilmente extraível (GFE) do solo em que plantas de milho foram cultivadas e submetidas à inoculação com FMA (*G. margarita*), na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e irrigadas com águas com diferentes níveis de salinidade. (^{ns}) = não significativo.

Fonte de Variação	GT	GFE
Fósforo (P)	0,03 ^{ns}	0,42 ^{ns}
Salinidade (S)	1,62 ^{ns}	3,06 ^{ns}
P x S	1,64 ^{ns}	0,28 ^{ns}

Segundo Bird *et al.* (2002), nas regiões semiáridas, os valores de glomalina total no solo não excedem $0,6 \text{ mg g}^{-1}$. O valor médio encontrado de glomalina total no presente estudo foi de $0,10 \text{ mg g}^{-1}$, valor, portanto, 83% menor que o encontrado por Bird *et al.* (2002). Essa glicoproteína é capaz de absorver naturalmente o carbono, mantendo-o no solo, e ainda ajuda a fertilizar a terra devido a sua característica de adesão, de modo a agregar as partículas do solo, criando espaços sobre a superfície que permitem a penetração de água e oxigênio para as raízes (RILLIG, 2004; MERGULHÃO, 2006).

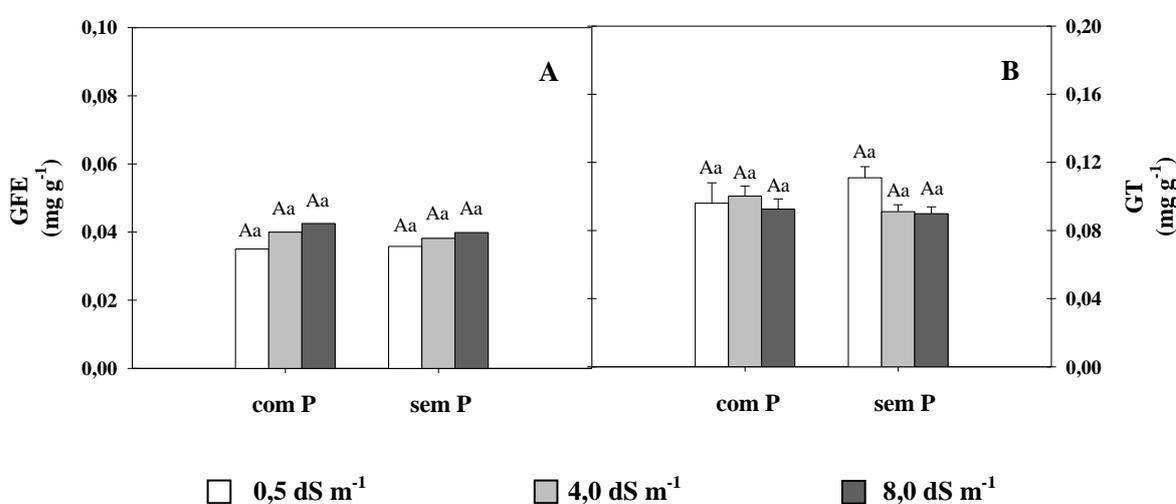


Figura 7 – Glomalina facilmente extraível do solo (GFE, A) e glomalina total (GT, B) de plantas de milho inoculadas com FMA, na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade (CE de 0,5; 4,0 e 8,0 dS m^{-1}). As barras representam o erro padrão. Para cada tratamento de fósforo, colunas seguidas de letras minúsculas iguais não diferem significativamente entre si quanto à salinidade. Entre os tratamentos de fósforo, colunas seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente entre si quanto ao fósforo, $p \leq 0,05$.

5.5. Elementos inorgânicos

5.5.1. Nitrogênio, fósforo e potássio

Nas folhas, os teores de nitrogênio (N) foram afetados significativamente ($p \leq 0,01$) pelos fatores inoculação e salinidade, não sendo observadas interações significativas entre as fontes de variação analisadas. Já nos colmos, os teores de N foram afetados significativamente pelos fatores fósforo e salinidade ($p \leq 0,01$), sendo observada também interação significativa entre ambos (Tabela 8).

Nas plantas não inoculadas, os teores de N nas folhas diminuíram significativamente com a salinidade nas plantas em presença de P, o mesmo ocorrendo nas

plantas inoculadas, porém em ausência de P (Figura 8A). Cantrell e Linderman (2001), estudando alface e cebola micorrizadas e não micorrizadas com FMA isolados de áreas salinas e não salinas, verificaram que os teores de N da parte aérea da alface não apresentaram diferenças significativas em relação aos tratamentos micorrízicos sob níveis crescentes de salinidade no solo. Porém, os teores de N na parte aérea das plantas de cebola não micorrizadas apresentaram maiores teores de N em todos os níveis de salinidade estudados.

Tabela 8 – Análise de variância (valores de *F*) para os teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) de plantas de milho inoculadas e não inoculadas com FMA (*G. margarita*), na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade. Diferenças significativas são representadas por (**) e (*) para $p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$, respectivamente. (ns) = não significativo.

Fonte de Variação	N		P		K ⁺	
	Folha	Colmo	Folha	Colmo	Folha	Colmo
Inoculação (I)	15,92**	7,75 ^{ns}	4,16*	0,31 ^{ns}	3,04 ^{ns}	1,68 ^{ns}
Fósforo (P)	2,64 ^{ns}	21,29**	26,49**	49,35**	9,58**	8,54**
Salinidade (S)	7,37**	76,18**	1,88*	3,22*	0,55 ^{ns}	9,02**
I x P	2,65 ^{ns}	6,14 ^{ns}	1,19 ^{ns}	0,0001 ^{ns}	3,34 ^{ns}	0,41 ^{ns}
I x S	0,02 ^{ns}	1,51 ^{ns}	0,77 ^{ns}	2,68 ^{ns}	0,91 ^{ns}	1,15 ^{ns}
P x S	0,44 ^{ns}	5,96*	0,93 ^{ns}	5,22*	2,89 ^{ns}	2,25 ^{ns}
I x P x S	1,93 ^{ns}	0,75 ^{ns}	2,37 ^{ns}	2,73 ^{ns}	1,79 ^{ns}	0,84 ^{ns}

De maneira geral, nos colmos, os teores de N foram afetados negativamente com o aumento da salinidade (Figura 8B). A redução nos teores de N foi mais acentuada nas plantas supridas com fósforo, tanto naquelas inoculadas com os FMA como nas não inoculadas. Reduções nos teores de N pela salinidade também foram observados por Lúcio (2008) em plantas de meloeiro inoculadas e não inoculadas com *Glomus clarum* e *G. intraradices*. Por outro lado, Tavares (2007), analisando plantas de sabiá submetidas a estresse salino, constatou que tanto nas plantas inoculadas quanto nas não inoculadas com FMA os teores de N no caule aumentaram de forma significativa com o aumento dos níveis de salinidade, dados que são contrários aos encontrados no presente estudo. Por outro lado, os níveis de N nos colmos das plantas inoculadas ou não, principalmente no mais baixo nível de salinidade (Figura 8B), aumentaram com a presença de P na solução nutritiva, dados também relatados por Colla *et al.* (2008) estudando plantas de abobrinha inoculadas com FMA sob estresse salino e diferentes teores de P.

Os teores de P nas folhas variaram significativamente com as fontes de variação: inoculação, fósforo e salinidade, não se observando, contudo, nenhuma interação

significativa entre esses fatores (Tabela 8). Já nos colmos, os fatores fósforo e salinidade e a interação entre ambos foram significativos de acordo com a análise de variância.

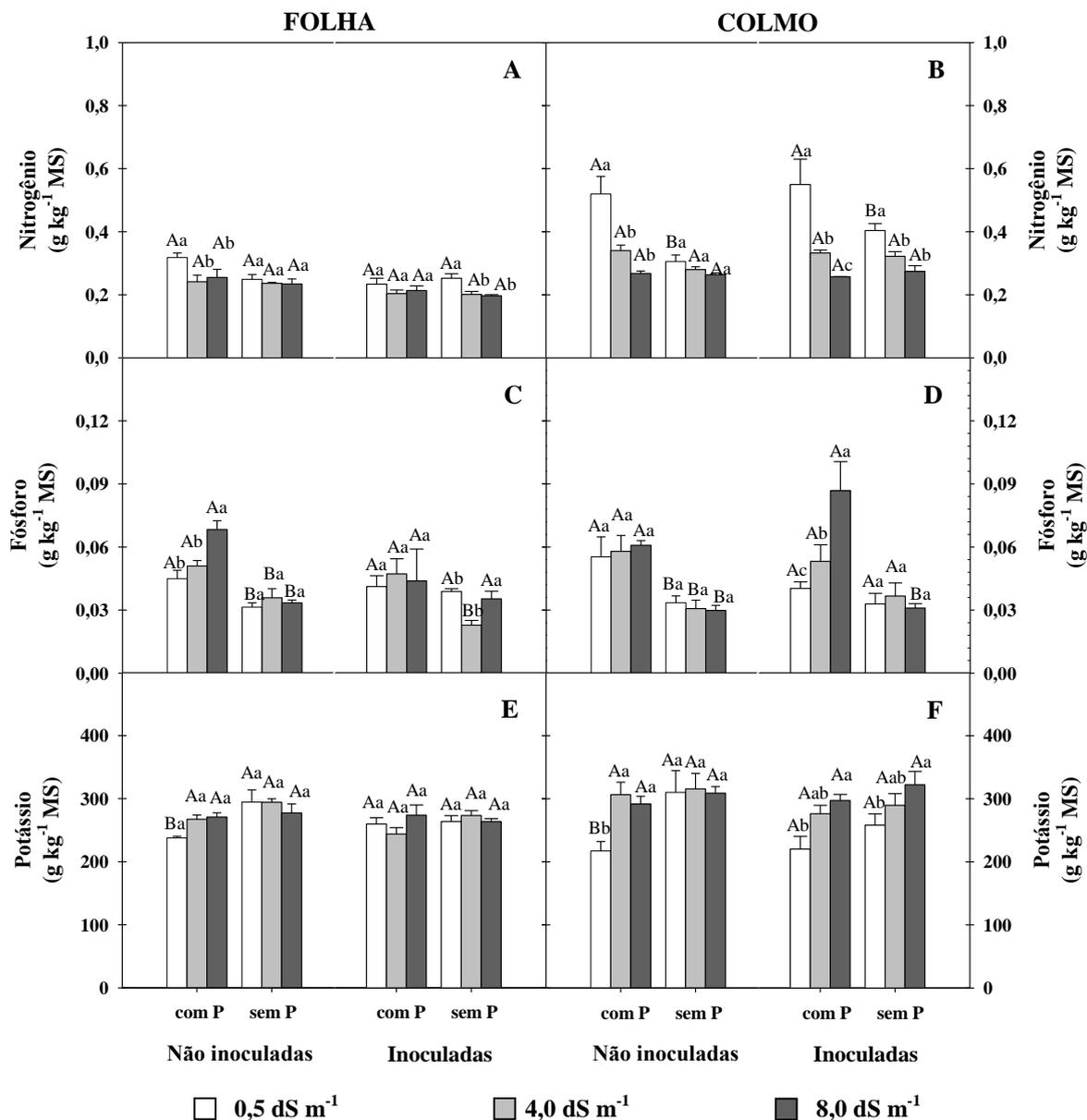


Figura 8 – Nitrogênio em folha (A) e colmo (B), fósforo em folha (C) e colmo (D), potássio em folha (E) e colmo (F) de plantas de milho inoculadas e não inoculadas com FMA, na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade (CE de 0,5; 4,0 e 8,0 dS m⁻¹). As barras representam o erro padrão. Para cada tratamento de fósforo, colunas seguidas de letras minúsculas iguais não diferem significativamente entre si quanto à salinidade. Para cada tratamento de inoculação, colunas seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si de maneira significativa quanto ao fósforo, $p \leq 0,05$.

De modo geral, tanto nas plantas inoculadas como nas não inoculadas, os teores de P nas folhas foram maiores naquelas na presença de P (Figura 8C). Levando em conta a média de todos os tratamentos, constatou-se que as plantas em presença de P apresentaram maiores teores desse nutriente em relação às que não o receberam, com acréscimos de 37 e 31% nas plantas não inoculadas e inoculadas, respectivamente. Nas plantas não inoculadas em presença de P e nas plantas inoculadas na ausência de P, no maior nível de salinidade ($8,0 \text{ dS m}^{-1}$) os teores de P nas folhas foram maiores em relação àqueles no mais baixo nível de salinidade (Figura 8C). Lacerda *et al.* (2006b) verificaram um aumento nos teores de fósforo nas folhas de feijão-de-corda sob estresse salino, porém essa resposta foi influenciada pelo tempo e pela idade da folha. O mesmo autor ressalta que o acúmulo de fósforo em folhas de plantas estressadas pode ser consequência apenas da redução na retranslocação desse nutriente, não tendo contribuído para a aclimatização da planta ao estresse.

Nos colmos das plantas não inoculadas com os FMA, os teores de P foram significativamente maiores nas plantas supridas com P, para todos os níveis de salinidade estudados (Figura 8D). Por outro lado, nas plantas inoculadas e em presença de P, os teores desse elemento aumentaram com o aumento da salinidade, atingindo na maior dose de sal um valor 115% maior que aquele na menor dose de sal. Nas plantas não inoculadas (com ou sem P) e naquelas inoculadas em ausência de P os teores desse elemento não sofreram alterações com salinidade (Figura 8D). Al-Karaki (2006), trabalhando com plantas de tomate, observou que o cultivo das plantas em níveis crescentes de salinidade proporcionou diminuição dos teores de P na parte aérea, tanto das plantas inoculadas quanto nas não inoculadas com FMA, tendo as primeiras apresentado maiores teores desse nutriente. Grattan e Grieve (1999) advertem que a interação entre salinidade e os teores de fósforo nas plantas é complexa e dependente da espécie, do cultivar, do estágio fenológico da planta, da concentração de fósforo no substrato, dos tipos de sais e do nível de salinidade. É interessante ressaltar que os níveis de P, em quase todos os níveis de salinidade (Figura 8C, B) aumentaram com a presença de P na solução nutritiva, resultado semelhante ao observado por Colla *et al.* (2008), estudando plantas de abobrinha inoculadas com FMA sob estresse salino e diferentes doses de P.

Os teores de potássio (K^+) nas folhas foram significativamente afetados ($p \leq 0,01$) apenas pela presença de fósforo no meio de crescimento não ocorrendo interações significativas entre os demais fatores estudados (Tabela 8). Por outro lado, nos colmos, os

teores de K^+ foram alterados significativamente pelos fatores fósforo e salinidade ($p \leq 0,01$), também não sendo observada nenhuma interação significativa entre as diversas fontes de variação analisadas.

De modo geral, tanto nas plantas inoculadas como nas não inoculadas, em presença ou ausência de P, os teores de K^+ nas folhas praticamente não foram afetados pela salinidade (Figura 8E). De acordo com Lúcio (2008), a manutenção do K^+ nas folhas das plantas inoculadas com FMA pode contribuir tanto para o ajustamento osmótico quanto para a manutenção do movimento estomático, dentre outros processos celulares. Sharifi *et al.* (2007) encontraram diminuição nos teores de K^+ na parte aérea de plantas submetidas a estresse salino. Esses mesmos autores verificaram que as plantas inoculadas com FMA quando comparadas com as não inoculadas, apresentaram maiores teores de K^+ , na maioria dos tratamentos salinos, com exceção do tratamento com maior concentração de sais (200 mM).

Nos colmos das plantas não inoculadas e na presença de P, no nível intermediário de salinidade ($4,0 \text{ dS m}^{-1}$) ocorreu um aumento nos teores de K^+ que se manteve no tratamento salino a $8,0 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 8F). Diferentemente do observado aqui, Maathuis e Amtmann (1999) observaram que houve redução no conteúdo de potássio nas plantas sob estresse salino, redução causada pelo processo competitivo entre o K^+ e o Na^+ . Já no tratamento com as plantas inoculadas, os teores de K^+ nos colmos aumentaram à medida que os níveis de salinidade se intensificaram, não sendo observadas diferenças entre os tratamentos com ou sem P (Figura 8F). Dados semelhantes foram encontrados por Giri *et al.* (2003) com relação aos teores de K^+ na parte aérea de *Acácia auruculiformis*, que aumentaram sob condições de estresse salino.

Tavares (2007) encontrou resultados que diferem dos encontrados no presente trabalho, ao estudar o efeito da inoculação com FMA e da adubação orgânica no desenvolvimento de mudas de sábia (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.), sob estresse salino, onde o aumento da salinidade promoveu um incremento nos teores de K^+ nas folhas das plantas micorrizadas que receberam água de irrigação a partir de 4 dS m^{-1} , enquanto nas raízes e no caule não se observaram diferenças nos teores de K^+ nas plantas que receberam diferentes níveis de salinidade.

5.5.2. Cálcio e magnésio

Os teores de cálcio (Ca^{2+}) nas folhas sofreram influência apenas do fator salinidade ($p \leq 0,01$), não sendo observadas diferenças significativas nas interações entre os fatores analisados, enquanto nos colmos não foram observadas diferenças significativas para nenhum dos fatores analisados e nem para suas interações (Tabela 9).

Tabela 9 – Análise de variância (valores de F) para os teores de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) de plantas de milho inoculadas e não inoculadas com FMA (*G. margarita*), na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade. Diferenças significativas são representadas por (**) e (*) para $p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$, respectivamente. (ns) = não significativo.

Fonte de Variação	Ca^{2+}		Mg^{2+}	
	Folha	Colmo	Folha	Colmo
Inoculação (I)	0,33 ^{ns}	1,06 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Fósforo (P)	0,07 ^{ns}	0,14 ^{ns}	2,04*	3,87*
Salinidade (S)	10,31**	0,42 ^{ns}	3,63*	29,26**
I x P	0,42 ^{ns}	1,16 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,49 ^{ns}
I x S	1,46 ^{ns}	0,45 ^{ns}	4,67*	0,41 ^{ns}
P x S	0,05 ^{ns}	1,43 ^{ns}	2,71 ^{ns}	3,23 ^{ns}
I x P x S	0,75 ^{ns}	1,27 ^{ns}	5,37**	0,45 ^{ns}

Como observado na figura 9A, os teores de Ca^{2+} nas folhas das plantas não inoculadas e em presença de P aumentaram com a salinidade, apresentando um aumento médio de 54%, nas doses de 4,0 e 8,0 dS m^{-1} , em relação à dose mais baixa de sal (Figura 9A). Numerosos estudos têm demonstrado que a salinidade acarreta redução nos teores de cálcio em plantas de milho (IZZO, NAVARI-IZZO, QUARTACCI, 1991; ALBERICO e CRAMER, 1993; CRAMER, ALBERICO, SCHMIDT, 1994), fato contrário ao observado no presente estudo. Já Niu *et al.* (1995) comentam que o NaCl promove um rápido aumento de Ca no citoplasma, atuando como um sinal de estresse geral, mas esse aumento não poderia ser confirmado como efeito de tolerância à salinidade, já que é transitório. O Na compete com o Ca na absorção e/ou mudança nos níveis internos de Ca, além de aumentar a permeabilidade da membrana e reduzir a seletividade de absorção (ASHRAF e O'LEARY, 1997).

Já nas plantas não inoculadas em ausência de P os teores de Ca^{2+} não variaram significativamente com a salinidade. Por outro lado, nas plantas inoculadas, tanto na presença quanto na ausência de P, os teores de Ca^{2+} aumentaram fortemente com a salinidade; nas plantas inoculadas, na presença de P, ocorreu um aumento de 93% no nível

de $8,0 \text{ dS m}^{-1}$, em relação ao nível mais baixo de salinidade, enquanto na ausência de P o aumento foi de 221% (Figura 9A). Nos colmos, os teores de Ca^{2+} não variaram com a salinidade ou com os níveis de P (Figura 9B).

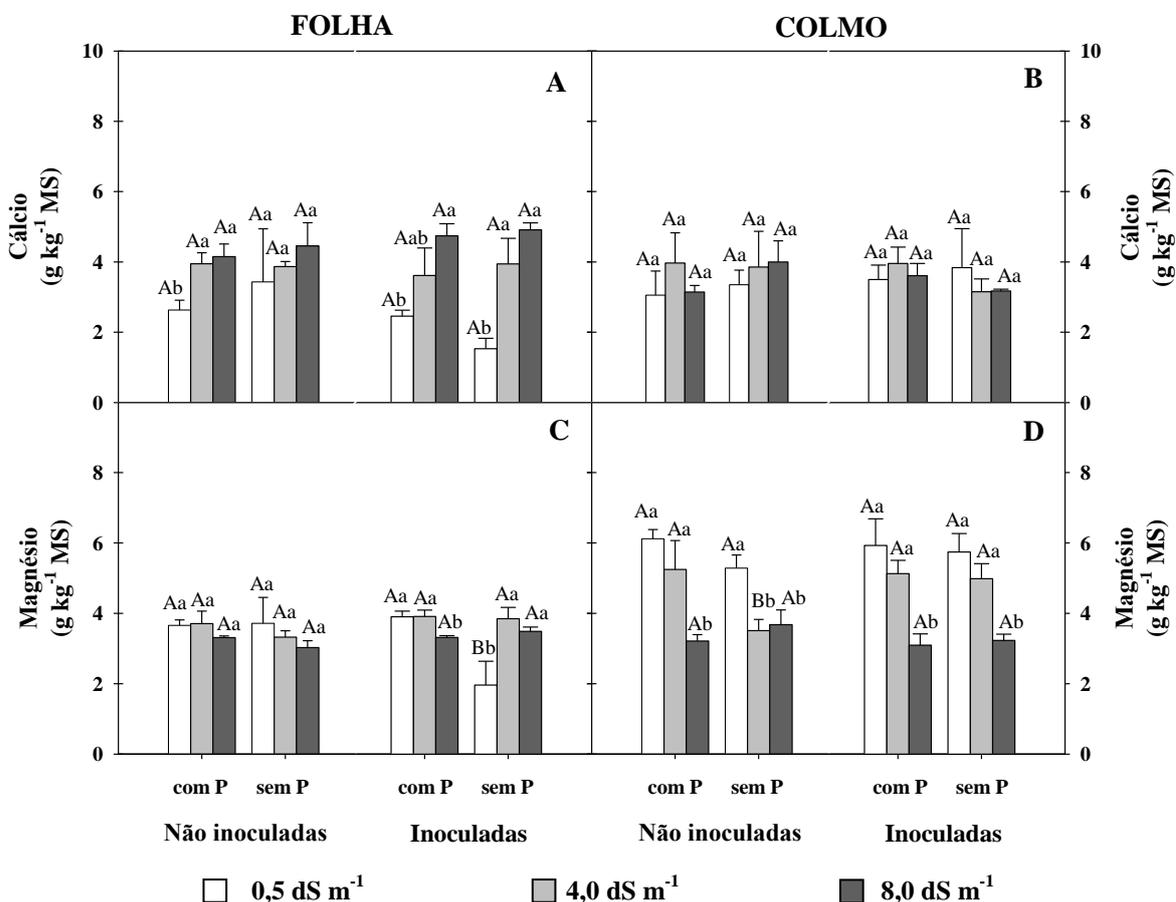


Figura 9 – Cálcio em folha (A) e colmo (B), magnésio em folha (C) e colmo (D) de plantas de milho inoculadas e não inoculadas com FMA, na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade (CE de 0,5; 4,0 e $8,0 \text{ dS m}^{-1}$). As barras representam o erro padrão. Para cada tratamento de fósforo, colunas seguidas de letras minúsculas iguais não diferem significativamente entre si quanto à salinidade. Para cada tratamento de inoculação, colunas seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si de maneira significativa quanto ao fósforo, $p \leq 0,05$.

Colla *et al.* (2008), estudando plantas de abobrinha inoculadas com FMA sob estresse salino e diferentes doses de P, também observaram um aumento nos teores foliares de Ca^{2+} à medida que os níveis de salinidade aumentavam. Tavares (2007) também observou um aumento nos teores de Ca^{2+} , em folhas de plantas de sabiá inoculadas e não inoculadas com FMA, em função dos níveis crescentes de salinidade. Yano-Melo *et al.* (2003) constatou que os teores de Ca^{2+} da parte aérea de bananeira inoculadas com *Glomus clarum* e *G. etunicatum* apresentaram um aumento em relação aos níveis crescentes de

salinidade da água de irrigação. Em contraste, Rabie (2005) observou uma redução na concentração de Ca^{2+} em plantas inoculadas com FMA com o aumento da salinidade.

Os teores de magnésio (Mg^{2+}), tanto nas folhas como nos colmos das plantas de milho, variaram significativamente em função dos fatores fósforo e salinidade (Tabela 9). Nas folhas, as interações inoculação x salinidade ($p \leq 0,05$) e inoculação x fósforo x salinidade ($p \leq 0,01$) foram significativas, enquanto nos colmos não foram observadas interações significativas para nenhum dos fatores analisados.

Nas plantas não inoculadas, os teores de Mg^{2+} nas folhas não variaram em função da salinidade ou da presença ou ausência de fósforo (Figura 9C). Nas plantas inoculadas na presença de P, os teores de Mg^{2+} nas folhas só foram reduzidos no mais alto nível de salinidade (15%) em relação ao mais baixo. Por outro lado, em plantas inoculadas sem P, os teores de Mg^{2+} aumentaram com a salinidade, atingindo no nível de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$, o qual não diferiu daquele a $8,0 \text{ dS m}^{-1}$, um valor 105% maior que aquele no nível mais baixo de salinidade (Figura 9C). Nas plantas inoculadas, os teores de Mg^{2+} , no mais baixo nível de salinidade, foi maior nas plantas sem a presença de P. Já dados relatados por Colla *et al.* (2008), estudando plantas de abobrinha inoculadas com FMA em baixa e alta concentração de P, mostram que não houve diferenças entre os teores de Mg^{2+} nas diferentes concentrações de P.

Nos colmos, tanto nas plantas não inoculadas como nas inoculadas em presença ou ausência de P, os teores de Mg^{2+} foram reduzidos pela salinidade (Figura 9D). Nas plantas não inoculadas, na presença de P, foi observada uma redução de 48% no tratamento salino a $8,0 \text{ dS m}^{-1}$, quando comparado com aquele no mais baixo nível de salinidade, enquanto na ausência de P esta redução foi de 30%. Redução nos teores de Mg^{2+} semelhante àquela observada nos colmos das plantas não inoculadas (em presença de P) no mais alto nível de salinidade, também foi observada para as plantas inoculadas (em presença ou ausência de P) nesse mesmo nível de salinidade (Figura 9D). Azevedo Neto e Tabosa (2000) estudando estresse salino em plântulas de milho observaram que na raiz e no colmo, as concentrações de magnésio diminuíram com a salinidade, enquanto permaneceram relativamente constantes na bainha e no limbo. Porém, Lúcio (2008) observou que os níveis de Mg^{2+} foram maiores nas plantas de melão colonizadas com FMA sob diferentes níveis de salinidade. Esta variabilidade dos resultados mostra a importância de maiores estudos sobre os teores deste nutriente nos diferentes tecidos da plantas mediante estresse salino.

5.5.3. Sódio e cloreto

Os teores de sódio (Na^+), nas folhas, sofreram influência do fator salinidade ($p \leq 0,01$) e da interação inoculação x salinidade, enquanto nos colmos os teores desse íon variaram significativamente com os fatores fósforo e salinidade ($p \leq 0,01$), sendo também significativa a interação inoculação x salinidade (Tabela 10).

Tabela 10 – Análise de variância (valores de F) para os teores de sódio (Na) e cloreto (Cl) de plantas de milho submetidas inoculadas e não-inoculadas com FMA (*G. margarita*), na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade. Diferenças significativas são representadas por (**) e (*) para $p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$, respectivamente. (ns) = não significativo.

Fonte de Variação	Na^+		Cl^-	
	Folha	Colmo	Folha	Colmo
Inoculação (I)	1,15 ^{ns}	1,61 ^{ns}	1,65 ^{ns}	1,19 ^{ns}
Fósforo (P)	1,69 ^{ns}	8,67**	0,51 ^{ns}	11,76**
Salinidade (S)	148,36**	654,93**	51,97**	170,65**
I x P	2,91 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,36 ^{ns}
I x S	3,42*	3,62*	6,77**	3,88**
P x S	0,11 ^{ns}	2,93 ^{ns}	3,12 ^{ns}	6,01**
I x P x S	1,42 ^{ns}	0,04 ^{ns}	3,77*	0,38 ^{ns}

Nas folhas, tanto nas plantas inoculadas quanto nas não inoculadas em presença ou ausência de P, os teores de Na^+ aumentaram progressivamente à medida que os níveis de salinidade aumentaram (Figura 10A). Os teores de Na^+ nas folhas nos níveis de 4,0 e 8,0 dS m^{-1} de salinidade foram maiores que aquele no nível a 0,5 dS m^{-1} em 128 e 318% e 187 e 388% para as plantas não inoculadas na presença e ausência de P, respectivamente. Já nas plantas inoculadas na ausência de P, esses teores aumentaram em 29 e 138%, respectivamente, nos níveis de 4,0 e 8,0 dS m^{-1} em relação ao mais baixo nível de salinidade (Figura 10A). Nas plantas inoculadas, porém na presença de P, esses aumentos nos teores de Na^+ foram de 41 e 180% nos níveis de 4,0 e 8,0 dS m^{-1} . Diferentemente do observado por Colla *et al.* (2008), em que a concentração de Na^+ foi menor nas plantas de abobrinha cultivadas com baixos teores de P, não foram observadas diferenças significativas nos teores foliares de sódio das plantas de milho em presença ou ausência de fósforo (Figura 10A).

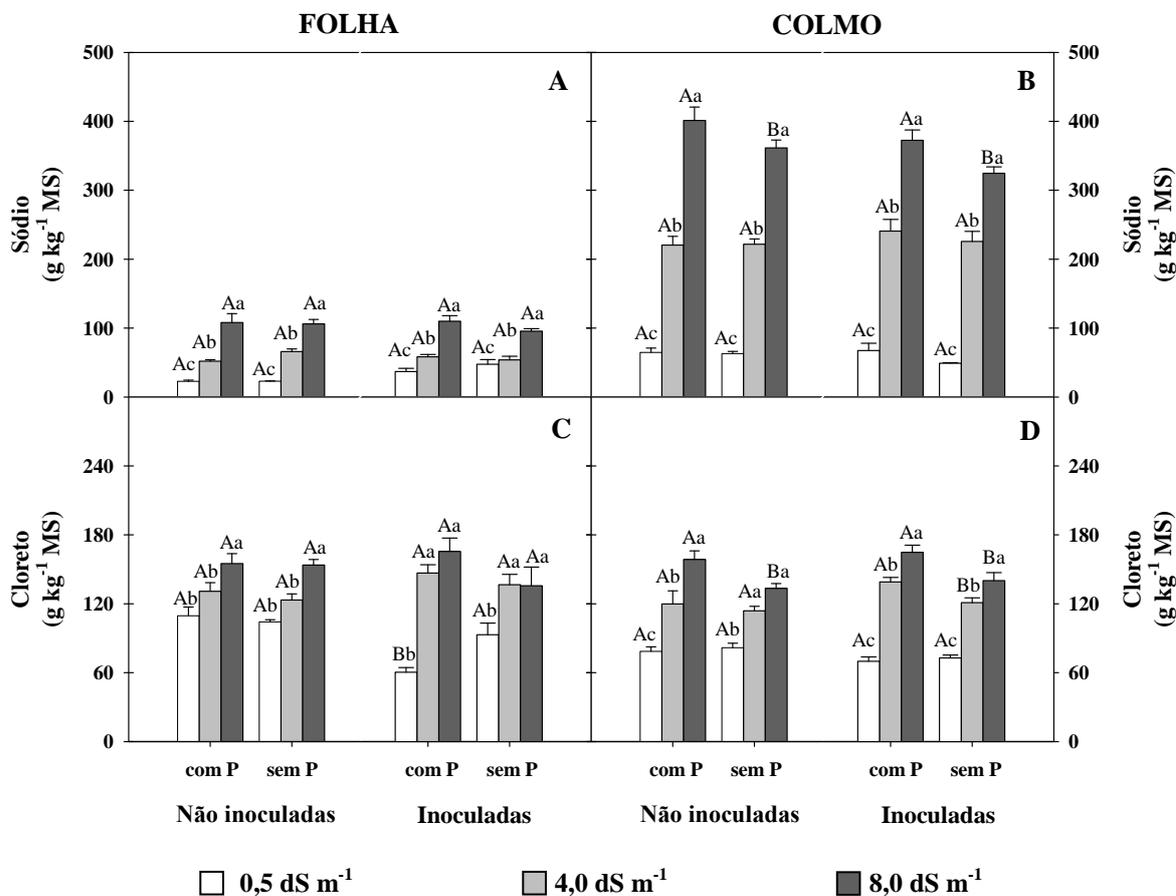


Figura 10 - Sódio em folha (A) e colmo (B), cloreto em folha (C) e colmo (D) de plantas de milho inoculadas e não inoculadas com FMA, na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade (CE de 0,5; 4,0 e 8,0 dS m⁻¹). As barras representam o erro padrão. Para cada tratamento de fósforo, colunas seguidas de letras minúsculas iguais não diferem significativamente entre si quanto à salinidade. Para cada tratamento de inoculação, colunas seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si de maneira significativa quanto ao fósforo, $p \leq 0,05$.

Nos colmos, assim como nas folhas, os teores de Na⁺ aumentaram fortemente em função do aumento nos níveis de salinidade, observando-se maior valor nas plantas não inoculadas e em presença de fósforo no nível de 8,0 dS m⁻¹ de salinidade (Figura 10B). Nas plantas não inoculadas, na presença de P, ocorreram acréscimos nos teores de Na⁺ de 241 e 521%, nos níveis de 4,0 e 8,0 dS m⁻¹ de salinidade em comparação com o nível de 0,5 dS m⁻¹, respectivamente. Quando feitas as mesmas comparações para as plantas não inoculadas na ausência de P tais aumentos foram de 252 e 474%. Já nas plantas inoculadas, na presença de P, os teores de Na⁺ aumentaram em 257 e 452% para os níveis de 4,0 e 8,0 dS m⁻¹ de CE em relação ao menor nível de salinidade, sendo observado aumentos de 362

e 564% nas plantas inoculadas em ausência de P, respectivamente, para os níveis de 4,0 e 8,0 dS m⁻¹ CE em relação ao de 0,5 dS m⁻¹ (Figura 10B).

Em termos absolutos, os teores de Na⁺ apresentaram-se maiores nos colmos em comparação com os valores encontrados nas folhas (Figura 10A, B). Esse resultado sugere a existência de uma barreira seletiva fazendo com que grande parte desse íon absorvido pelo sistema radicular fique retida no colmo, protegendo os tecidos fotossintéticos (folhas) desse íon tóxico (SILVA, 2003).

De acordo com a análise de variância apresentada na tabela 10, os teores de cloreto (Cl⁻) nas folhas variaram significativamente com o fator salinidade, sendo significativas as interações inoculação x salinidade e inoculação x fósforo x salinidade. Por outro lado, nos colmos, os teores de Cl⁻ variaram com os fatores fósforo e salinidade e as interações inoculação x salinidade e fósforo x salinidade significativas.

Nas folhas, os teores de Cl⁻ aumentaram com a elevação dos níveis de salinidade, tanto nas plantas inoculadas como nas não inoculadas, na presença ou ausência de P (Figura 10C). Esses resultados foram semelhantes aos observados por Tian *et al.* (2004) ao estudarem plantas de algodão inoculadas com FMA sob diferentes níveis de salinidade. Por outro lado, Colla *et al.* (2008) observaram que os níveis foliares de Cl⁻ foram aumentados em plantas de abobrinha inoculadas com FMA, nos tratamentos com baixo nível de P. O mesmo foi observado no presente estudo. Nas plantas não inoculadas, os teores de cloreto não sofreram influência do fósforo na solução nutritiva, porém nas plantas inoculadas o teor desse íon tóxico foi maior nas plantas supridas com P, no mais baixo nível de salinidade (Figura 10C). Em termos percentuais, os maiores aumentos nos teores de Cl⁻ ocorreram nas plantas inoculadas em presença de fósforo.

Nos colmos, de modo geral, os teores de Cl⁻ aumentaram progressivamente com o aumento da salinidade, tanto nas plantas inoculadas como nas não inoculadas independentemente da presença ou não de P (Figura 10D).

Diferentemente do que ocorreu nas folhas com os teores de Na⁺, que foram nitidamente maiores nos colmos do que nas folhas (Figura 10A, B), não foram observadas diferenças significantes entre folhas e colmos com relação aos teores de Cl⁻ (Figura 10C, D). Esses dados diferem parcialmente dos encontrados por Lúcio (2008), estudando plantas de melão inoculadas com FMA sob diferentes níveis salinos, em que foram observados maiores teores de Na⁺ e Cl⁻ nos caules dessas plantas, indicando a possibilidade do meloeiro estar operando um mecanismo de tolerância à salinidade, limitando a absorção

e/ou transporte desses dois íons tóxicos da zona radicular para a parte aérea, evitando seus acúmulos em níveis que excedam a habilidade das células em compartimentalizá-los no vacúolo. No caso do milho aqui estudado, esta habilidade somente foi evidente para a exclusão do íon Na^+ .

5.5.4. Relação Na^+/K^+

De acordo com análise de variância (Tabela 11) a relação Na^+/K^+ foi estatisticamente significativa nas folhas apenas para o fator salinidade ($p \leq 0,01$). Já nos colmos os fatores fósforo e salinidade ($p \leq 0,01$) e a interação inoculação e salinidade ($p \leq 0,05$) se apresentaram significativos.

Tabela 11 – Análise de variância (valores de F) para os teores da relação Na^+/K^+ de plantas de milho inoculadas e não inoculadas com FMA (*G. margarita*), na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade. Diferenças significativas são representadas por (**) e (*) para $p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$, respectivamente. (^{ns}) = não significativo.

Fonte de Variação	Relação Na^+/K^+	
	Folha	Colmo
Inoculação (I)	2,71 ^{ns}	0,07 ^{ns}
Fósforo (P)	0,13 ^{ns}	10,39**
Salinidade (S)	123,95**	201,86**
I x P	1,45 ^{ns}	0,36 ^{ns}
I x S	2,02 ^{ns}	3,63*
P x S	0,51 ^{ns}	1,91 ^{ns}
I x P x S	1,45 ^{ns}	0,06 ^{ns}

Nas folhas e nos colmos das plantas inoculadas ou não, em presença ou ausência de P, a relação Na^+/K^+ apresentou valores crescentes com o aumento dos níveis de salinidade (Figura 11). Esse resultado foi semelhante ao observado por Tavares (2007) em plantas jovens de sabiá inoculadas e não inoculadas com FMA submetidas a níveis crescentes de salinidade. De acordo com Maathuis e Amtmann (1999), valores da relação Na^+/K^+ , em células vegetais, igual a 1,0 é geralmente considerada como o valor máximo a partir do qual pode ocorrer inibição dos processos metabólicos. No presente estudo, os valores dessa relação no colmo, nos níveis de salinidade de 4,0 e 8,0 dS m^{-1} , ultrapassaram esse valor considerado crítico para inibição de processos metabólicos na planta (Figura 11B). Os elevados valores dessa relação, especialmente nos colmos, devem-se ao fato dos teores dos

íons Na^+ terem sido fortemente elevados pela salinidade (Figura 10B) já que os teores de K^+ foram poucos alterados pela salinidade (Figura 8F).

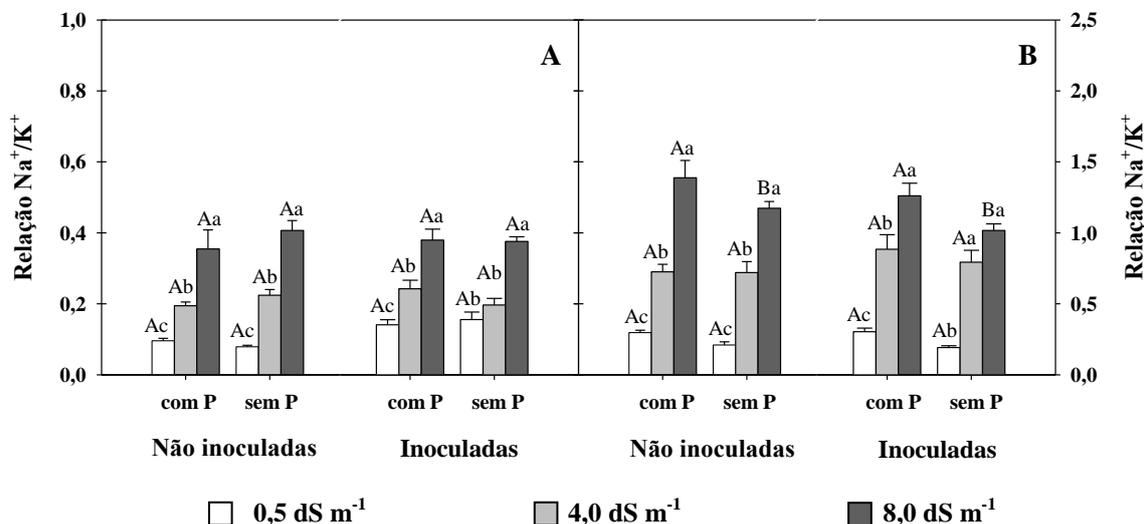


Figura 11 – Relação Na^+/K^+ em folha (A) e colmo (B) de plantas de milho inoculadas e não inoculadas com FMA, na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade (CE de 0,5; 4,0 e 8,0 dS m⁻¹). As barras representam o desvio padrão. Para cada tratamento de fósforo, colunas seguidas de letras minúsculas iguais não diferem significativamente entre si quanto à salinidade. Para cada tratamento de inoculação, colunas seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si de maneira significativa quanto ao fósforo, $p \leq 0,05$.

Considerando-se o tratamento salino a 8,0 dS m⁻¹, os colmos das plantas cultivadas na presença de P apresentaram valores da relação Na^+/K^+ maiores que aqueles em que o P não foi adicionado, tanto para as plantas inoculadas quanto para as não inoculadas com os FMA (Figura 11B).

Segundo Giri *et al.* (2007), o Na^+ é prejudicial ao metabolismo vegetal por sua capacidade de competir com o K^+ por sítios de ligação essencial para várias funções celulares dependentes deste último íon, como por exemplo vários processos enzimáticos que ocorrem no citoplasma. Ainda de acordo com esses autores, é possível que o maior acúmulo de K^+ por plantas micorrizadas sob condições de estresse salino contribua para a manutenção de uma baixa relação Na^+/K^+ , evitando assim a ruptura de vários processos de hidrólise enzimática e inibição da síntese protéica. Contudo, isso não parece ter sido o caso aqui observado, pois as plantas micorrizadas não apresentaram maiores acúmulos em K^+ em comparação às plantas não micorrizadas.

5.6. Solutos orgânicos

Os teores de carboidratos solúveis não variaram significativamente para nenhum dos fatores estudados (Tabela 12). Já os níveis de N-aminossolúveis apresentaram diferenças significativas para os fatores fósforo ($p \leq 0,05$) e salinidade ($p \leq 0,01$), assim como para a interação inoculação x fósforo x salinidade ($p \leq 0,05$).

Tabela 12 – Análise de variância (valores de F) para os teores foliares de carboidratos solúveis, proteína solúvel, N-aminossolúvel e prolina de plantas de milho inoculadas e não inoculadas com FMA (*G. margarita*), na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade. Diferenças significativas são representadas por (**) e (*) para $p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$, respectivamente. (ns) = não significativo.

Fonte de Variação	Carboidratos Solúveis	N-aminossolúvel	Prolina	Proteína solúvel
Inoculação (I)	0,09 ^{ns}	0,21 ^{ns}	14,73**	13,21**
Fósforo (P)	1,98 ^{ns}	4,22*	0,56 ^{ns}	3,46*
Salinidade (S)	3,22 ^{ns}	19,54**	31,56**	0,91*
I x P	0,11 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,01 ^{ns}	2,19 ^{ns}
I x S	2,38 ^{ns}	0,96 ^{ns}	17,46**	12,11**
P x S	0,36 ^{ns}	1,64 ^{ns}	0,69 ^{ns}	7,09**
I x P x S	3,42 ^{ns}	4,28*	2,43 ^{ns}	20,51**

Os teores de carboidratos solúveis, tanto em plantas inoculadas como não inoculadas na presença e ausência de fósforo não sofreram alterações pela salinidade, apresentando um valor médio em torno de $600 \mu\text{mol g}^{-1} \text{MS}$ (Figura 12A). Esses dados, pelo menos para as plantas não inoculadas em presença de P, diferiram daqueles observados por Azevedo Neto *et al.* (2004), que encontraram aumentos nos teores de carboidratos solúveis em folhas de plantas de milho sob estresse salino.

Nas plantas não inoculadas, em presença ou ausência de P, bem como naquelas inoculadas com FMA e supridas com P os teores de N-aminossolúveis aumentaram com a salinidade (4,0 e $8,0 \text{ dS m}^{-1}$) (Figura 12B). Todavia, nas plantas inoculadas na ausência de P, os teores de N-aminossolúveis não foram alterados pela salinidade.

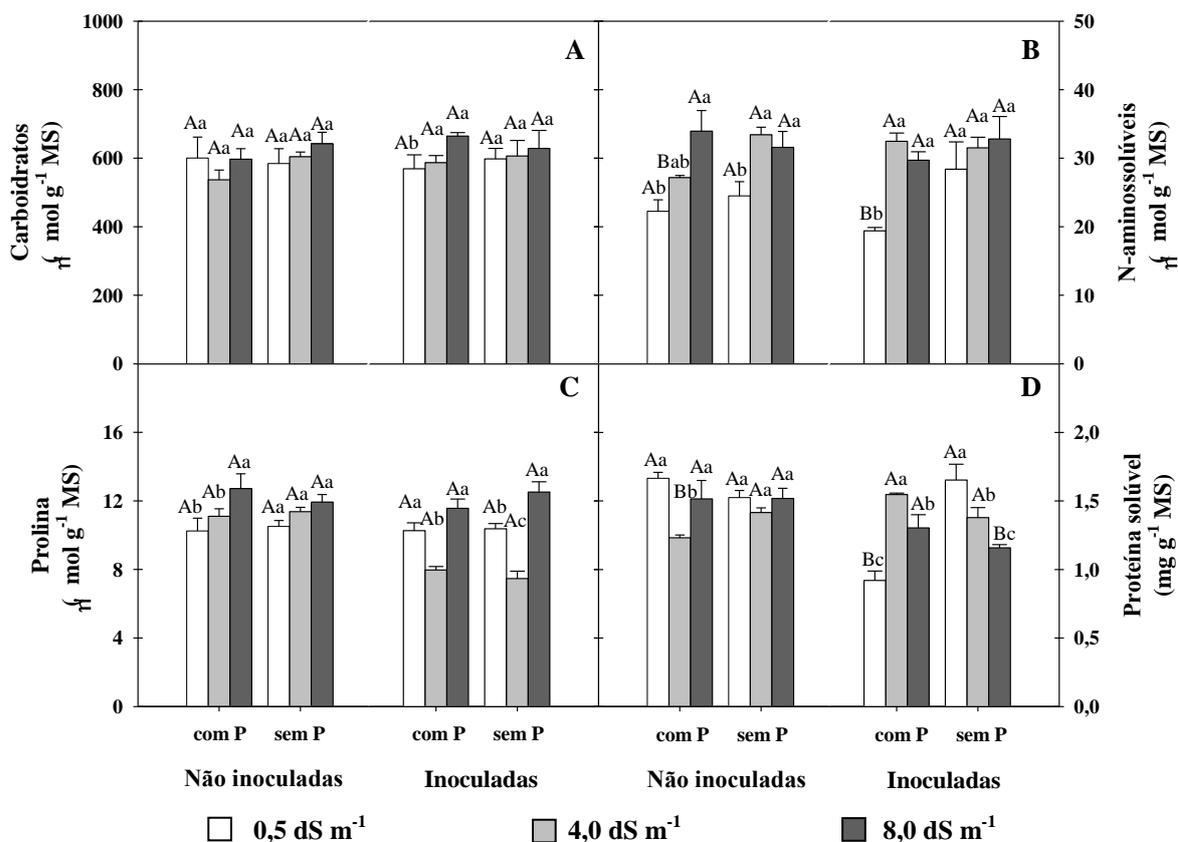


Figura 12 – Carboidratos solúveis (A), N-aminossolúveis (B), prolina (C) e proteína solúvel (D) em folhas de plantas de milho inoculadas e não-inoculadas com FMA, na presença ou ausência de fósforo na solução nutritiva e submetidas à irrigação com águas com diferentes níveis de salinidade (CE de 0,5; 4,0 e 8,0 dS m⁻¹). As barras representam o desvio padrão. Para cada tratamento de fósforo, colunas seguidas de letras minúsculas iguais não diferem significativamente entre si quanto à salinidade. Para cada tratamento de inoculação, colunas seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si de maneira significativa quanto ao fósforo, $p \leq 0,05$.

Acúmulo de N-aminossolúveis nas folhas em função da salinidade tem sido observado em milho (AZEVEDO NETO *et al.*, 2004), trigo (MATTIONI *et al.*, 1997) e girassol (ASHRAF; TUFAIL, 1995). Em milho esta resposta ao estresse salino foi observada tanto para genótipos sensíveis como tolerantes aos sais (AZEVEDO NETO *et al.*, 2004). O papel da maioria desses N-aminossolúveis que são acumulados ainda não está bem esclarecido. É provável que esses compostos presentes em altas concentrações contribuam para processos de regulação osmótica e de osmoproteção. Além de aumentar a pressão osmótica do citosol, baixando seu potencial hídrico, eles podem proteger macromoléculas, ou servir como fonte de N e energia (MANSOUR, 2000).

No mais baixo nível de salinidade, os teores foliares de N-aminossolúveis nas plantas inoculadas foram menores nas plantas supridas com P do que naquelas na ausência desse nutriente (Figura 12B).

Os teores de prolina variaram significativamente com os fatores inoculação e salinidade ($p \leq 0,01$), bem como a interação entre esses dois fatores foi significativa (Tabela 12). Já os teores de proteínas solúveis variaram com os fatores inoculação, fósforo e salinidade, sendo significativas as interações inoculação x salinidade, fósforo x salinidade e inoculação x fósforo x salinidade.

Nas plantas não inoculadas em presença de P, os teores de prolina aumentaram com a salinidade apenas na dose mais elevada ($8,0 \text{ dS m}^{-1}$), enquanto nessas mesmas plantas, porém em ausência de P, os teores desse soluto não foram alterados significativamente pela salinidade (Figura 12C). Já nas plantas inoculadas ocorreu um decréscimo nos teores de prolina no nível de salinidade de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$, comparado aos demais níveis de salinidade, independentemente da presença ou ausência de P. Considerando a média de todos os tratamentos, os teores de prolina foram maiores em 10% nas plantas não inoculadas em comparação aqueles das plantas inoculadas (Figura 11C). Resultados semelhantes foram encontrados por Kaya *et al.*, (2009) que também observaram menores teores de prolina em plantas de pimenta inoculadas e submetidas à salinidade.

O acúmulo de prolina nos tecidos vegetais é tido como uma resposta ao estresse salino, podendo favorecer o ajustamento osmótico (CARVALHO *et al.*, 2003; LUCIO, 2008). Porém, a verdadeira função desempenhada por esse aminoácido em plantas sob salinidade permanece controversa (DEMIRAL; TÜRKAN, 2005). Alguns autores, dentre eles Lacerda *et al.* (2003), consideram que o aumento nos teores desse soluto não represente uma resposta adaptativa ao estresse, sendo, possivelmente uma reação ao grau de injúria causado pela acumulação de sais, ou do processo de desidratação desencadeado pelos sais nos tecidos das plantas.

As variações nos teores de proteínas solúveis diferiram para todos os fatores analisados ($p \leq 0,01$) (Tabela 12 e Figura 12D). Nas plantas não inoculadas na presença de P houve uma redução nos teores de proteínas solúveis no nível de salinidade de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$, quando comparado ao nível de $0,5 \text{ dS m}^{-1}$, com posterior aumento no nível de $8,0 \text{ dS m}^{-1}$. Contudo nessas mesmas plantas em ausência de P, os teores de proteínas solúveis não variaram significativamente com a salinidade. Já nas plantas inoculadas na presença de P, os níveis de proteínas solúveis aumentaram em, média, 45% nos níveis de salinidade de

4,0 e 8,0 dS m⁻¹ (que não diferiram entre si), em relação ao nível de 0,5 dS m⁻¹. Nas plantas inoculadas na ausência de P os níveis de proteína solúvel decresceram à medida que os níveis de salinidade aumentaram (Figura 12D). De acordo com Freitas (2010), o decréscimo no conteúdo de proteína pode ser devido ao retardamento na síntese protéica ou na aceleração de sua degradação, levando ao aumento na quantidade de aminoácidos livres ou à inibição da incorporação destes aminoácidos nas proteínas. Isto, no entanto, não foi observado aqui, pois os teores de N-aminossolúveis, que em sua maioria são aminoácidos livres (KARAMANOS, 1995) e seus derivados (NOLTE; HANSON; GAGE, 1997), nas plantas não foram afetados pela salinidade justamente nas plantas inoculadas não supridas com P (Figura 12B).

O aumento na concentração de solutos orgânicos no citoplasma de plantas submetidas a estresse salino tem sido considerado como um mecanismo utilizado pelas plantas para balancear o potencial osmótico entre o citoplasma e o vacúolo e evitar danos aos sistemas enzimáticos (MUNNS, 2002). Entretanto, em alguns casos, a manutenção dos teores desses solutos em níveis elevados de salinidade possivelmente está associada à redução de sua demanda pelos tecidos em crescimento, conseqüentemente não influenciando no ajuste osmótico (ABREU, 2007).

6. CONCLUSÕES

1. A associação entre plantas de milho e o fungo micorrízico arbuscular (*G. margarita*) não minorou os efeitos deletérios da salinidade no crescimento dessas plantas;
2. A presença de P nas plantas micorrizadas ocasionou aumento na área foliar dessa gramínea no nível de salinidade de $0,5 \text{ dS m}^{-1}$, bem como na matéria seca da parte aérea das plantas não inoculadas;
3. Não houve influência da associação das plantas de milho com o fungo *G. margarita* com as trocas gasosas;
4. O teor relativo de água e o potencial osmótico (Ψ_s) não foram influenciados pela associação micorrízica (milho e *G. margarita*), sendo o Ψ_s reduzido com o aumento dos níveis de salinidade;
5. A colonização micorrízica decresceu com o incremento dos níveis de salinidade;
6. Os teores de glomalina (livre ou total) não foram influenciados pela presença de P e nem pelos níveis crescentes de salinidade;
7. A associação micorrízica utilizada no presente estudo não acarretou incrementos nos teores de solutos inorgânicos;
8. A associação micorrízica não ocasionou aumentos nos teores de carboidratos solúveis e prolina, sob condições de salinidade, porém aumentou os teores de N-aminossolúveis e proteína nessas condições, especialmente nas plantas supridas com P.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, E.B. **Alterações fisiológicas e bioquímicas em plântulas de cajueiro anão-precoce submetidas à salinidade em duas condições de cultivo.** 2007. 126 p. Tese (Doutorado em Bioquímica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

AGRIANUAL: **Anuário Estatístico da Agricultura Brasileira.** São Paulo: Argos Comunicação, 2007.

ALBERICO, G.J.; CRAMER, G.R. Is the salt tolerance of maize related to sodium exclusion? I. Preliminary screening of seven cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.16, p.2289-2303, 1993.

AL-KARAKI, G.N. Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress. **Mycorrhiza**, v. 10, p. 51-54, 2000.

AL-KARAKI, G.N. Benefit, cost and water-use efficiency of arbuscular mycorrhizal durum wheat grown under drought stress. **Mycorrhiza**, v. 8, p. 41-45, 2006.

ALLEN, M.F. The ecology of arbuscular mycorrhizas: a look back into the 20th century and a peek into the 21st. **Mycological Research**, v. 7, p. 769-782, 1996.

ANDRADE, S.M.G. **Efeito do Ca na germinação, composição mineral e crescimento de arroz (*Oryza sativa* L.) cultivado em solução de NaCl.** 1989. 94 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

ASGHARI, H.R.; MARSCHNER, P.; SMITH, S.E.; SMITH, F.A. Growth response of *Atriplex nummularia* to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi at different salinity levels. **Plant and soil**, v. 273, p. 245-256. 2005.

ASHRAF, M; TUFAIL, M. Variation in salinity tolerance in sunflower (*Heliantus annus* L.). **Journal Agronomy Soil Science**, v. 174, p. 351-362, 1995.

ASHRAF, M.; O'LEARY, J.W. Responses of a salt-tolerant and a salt-sensitive line of sunflower to varying sodium/calcium rations in saline sand culture. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.20, p.361-377, 1997.

ASHRAF, M.; HARRIS, P.J.C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science**, v. 166, p. 3-16, 2004.

ASHRAF, M.; FOOLAND, M.R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, p. 206-216, 2007.

AWAD, A.S.; EDWARDS, D.G.; CAMPBELL, L.C. Phosphorus enhancement of salt tolerance of tomato. **Crop Science**, v. 30, p. 23-128, 1990.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W.A. **Qualidade da água na agricultura**. Tradução de Hans Raj Gheyi, José Francismar de Medeiros, Francisco Ademilton Damasceno. Campina Grande: UFPB, (Estudos da FAO, Irrigação e Drenagem, 29). 218 p. 1999.

AZEVEDO NETO, A.D.; TABOSA, J.N. Estresse salino em plântulas de milho: Parte II distribuição dos macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, p.165-171, 2000.

AZEVEDO-NETO, A.D.; PRISCO, J.T.; ENÉAS-FILHO, J.; LACERDA, C.F.; SILVA, J.V.; COSTA, P.H.A.; GOMES-FILHO, E. Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize genotypes. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 16, p. 31-38, 2004.

BAETHGEN, W.E.; ALLEY, M.M.A manual colorimetric procedure for measuring ammonium nitrogen in soil and plant Kjeldahl digest. **Community Soil Science and Plant Anals**, v. 20, p. 961-969, 1989.

BARROS, M. DE F. C.; FONTES, M. P. F.; ALVAREZ V., V. H.; RUIZ, H. A. Aplicação de gesso e calcário na recuperação de solos salino-sódicos do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, n.3, p.320-326, 2005.

BATES, L.S.; WALDREN, R.P.; TEARE, J.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, p. 205-207, 1973.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2008. 596 p.

BERBARA, R.L.L.; SOUZA, F.A.; FONSECA, H.M.A.C. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: _____. **Nutrição Mineral de Plantas**. ed. FERNANDES, M.S. SBCS, Viçosa, 2006. cap. 3, 54-79.

BEVER, J.D.; MORTON, J.B.; ANTONOVICS, J.; SCHULTZ, P.A. Host dependent sporulation and species diversity of arbuscular mycorrhizal in a mown grassland. **Journal of Ecology**, v. 84, p. 71-82, 1996.

BEZERRA, M.E.J.; LACERDA, C.F.; SOUSA, G.G.; GOMES, V.F.F.; MENDES FILHO, P.F. Biomassa, atividade microbiana e FMA em rotação cultural milho/feijão-de-corda utilizando-se águas salinas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, p. 562-570, 2010.

BEZERRA, M.A.; OLIVEIRA, R.A.; LACERDA, C.F.; PRISCO, J.T.; GOMES FILHO, E. Fotossíntese de plantas de cajueiro-anão precoce submetidas ao estresse salino. **Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture**, v. 47, p. 149-52, 2003.

BIRD, S.B.; HERRICK, J.E.; WANDER, M.M.; WRIGHT, S.F. Spatial heterogeneity of aggregate stability and soil carbon in semi-arid rangeland. **Environmental Pollution**, v. 116, p. 445-455, 2002.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, p. 248-254, 1976.

BRESSAM, W.; VASCONCELLOS, C.A. Alterações morfológicas no sistema radicular do milho induzidas por fungos micorrízicos e fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p. 509-17, 2002.

BRITO, L.K.F.L. **Avaliação da resposta *in vitro* de duas variedades de abacaxizeiro (*Ananas comosus* (L.) Merr) a um segundo cultivo na presença de NaCl.** 2002. 63 p. Monografia – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

BRUGNOLI, E.; LAUTERI, M. Effects of salinity on stomatal conductance, photosynthetic capacity, and carbon isotope discrimination of salt-tolerant (*Gossypium hirsutum* L.) and saltsensitive (*Phaseolus vulgaris* L.) C3 non-halophytes. **Plant Physiology**, v. 95, p. 628-635, 1991.

CAMARGO, P.M.P.; COSTA, R.C.; BARRETO, A.G.T.; NETO, C.F.O.; CRUZ, F.J.R. Mecanismos de tolerância ao estresse salino relacionados com o metabolismo de nitrogênio e ajustamentos osmótico em plantas de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. In: Seminário de Iniciação Científica, 4./Seminário de Iniciação Científica da EMBRAPA, 12., 2008, Manaus. **Anais...**Manaus: Embrapa Amazonia Oriental, 2008.

CANTRELL, I.V.C., LINDERMAN, R.G. Preinoculation of lettuce and onion with mycorrhizal fungi reduces deleterious effects of soil salinity. **Plant and Soil**, v. 201, p. 269-281, 2001.

CARVALHO, L.M.; CASALI, V.W.D.; SOUZA, M.A.; CECON, P.R. Disponibilidade de água no solo e crescimento de Artemísia. **Horticultura Brasileira**, v. 21, p. 726-730, 2003.

CATALDO, D.A.; HAROON, M.; SCHRADER, L.E.; YOUNGS, V.L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 6, p. 71-80, 1975.

CERDA, A.; BINGHAM, F.T.; HOFFMANN, G.J. Interactive Effect of salinity and phosphorus on Sesame. **Soil Science Society of America Journal**. v. 41, p. 915-918, 1977.

COLLA, G.; ROUPHAEL, Y.; CARDARELLI, M.; TULLIO, M.; RIVERA, C. M.; REA, E. Alleviation of salt stress by arbuscular mycorrhizal in zucchini plants grown at low and high phosphorus concentration. **Biology and Fertility of Soils**, v. 44, p. 501-509, 2008.

COLOZZI FILHO, A.; NOGUEIRA, M.A. Micorrizas arbusculares em plantas tropicais: café, mandioca e cana-de-açúcar. In: SILVEIRA, A.P.D.; FREITAS, S.S. (ed.) **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agronômico, 312p. 2007.

COSTA, C.M.C. **Estudos da associação micorrízica arbuscular em mudas de mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes)**. 2004. 177 p. Tese (Doutorado em Biologia de Fungos) - Universidade Federal do Pernambuco, Recife.

CRAMER, G.R.; ALBERICO, G.J.; SCHMIDT, C. Salt tolerance is not associated with the sodium accumulation of two maize hybrids. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.21, p.675-692, 1994.

DAKER, A. A água na agricultura: Manual de hidráulica agrícola. 5.ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1976. v.3, 453p.

DAVIES JUNIOR, F.T.; PURYEAR, J.D.; NEWTON, R.J.; EGILLA, J.N.; GROSSI, J.A.S. Mycorrhizal fungi enhance accumulation and tolerance of chromium in sunflower (*Helianthus annuus*). **Journal of Plant Physiology**, v. 158, p. 777-786, 2001.

DEMIRAL, T.; TÜRKAN, I. Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and praline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 53, p. 247-257, 2005.

DIAS, N.S.; BLANCO, F.F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: _____. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 1. ed. Fortaleza, INCTSal, 2010. cap. 9, p. 129-140.

DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P.A.; SMILTH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substance. **Analytical Chemistry**, v. 28, p. 350-356, 1956.

FAGERIA, N.K.; GHEYI, H.R. **Melhoramento genético das culturas e seleção de cultivares**. In: GHEYI, H.R., QUEIROZ, J.E., MEDEIROS, J.F. (Eds.). Simpósio “Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada”. Campina Grande: UFPB, 383p, 1997.

FANNING, D.S.; FANNING, M.C.B. **Soil morphology, genesis and classification**. New York: John Wiley & Sons, 1989. 395p.

FAO. The irrigation challenge: increasing irrigation contribution to food security through higher water productivity. 2003. Rome, IPTRID. Issue Paper No. 4, 25p.

FEIJÃO, A.R. **Crescimento, trocas gasosas, partição de íons e metabolismo do nitrogênio em plantas de milho submetidas à salinidade e diferentes fontes de N**. 2009. 111p. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

FERREIRA-SILVA, S.L. **Mecanismos de proteção oxidativa contra estresses isolados e combinados de seca, salinidade e temperatura elevada em cajueiro**. 2008. 162 p. Tese (Doutorado em Bioquímica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

FISKE, C.H.; SUBBAROW, Y. The colorimetric determination of phosphorus. **Journal of Biological Chemistry**, v. 66, p. 375-400, 1925.

FREITAS, V.S. **Aspectos fisiológicos e bioquímicos relacionados com a tolerância à salinidade em algodão, feijão-de-corda e sorgo**. 2010. 95p. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

GAINES, T.P.; PARKER, M.B.; GASCHO, G.J. Automated determination of chlorides in soil and plant tissue by sodium nitrate. **Agronomy Journal**, v. 76, p. 371-374, 1984.

GERDEMANN, J.W. Vesicular-arbuscular mycorrhizal. In: TORREY, J.G.; CRARKSON, D.T. (Ed.). **The development and functions of roots**. London: Academic Press, 1975. 16 p.

GIOVANETTI, M; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal fungi infection in roots. **New Phytologist**, v. 84, p. 489-500, 1980.

GIRI, B.; KAPOOR, R.; MUKERJI, K.G. Improved tolerance of *Acacia nilotica* to salt stress by arbuscular mycorrhiza, *Glomus fasciculatum* may be partly related to elevated K/Na ratios in root and shoot tissues. **Microbial Ecology**, v. 54, p. 753-760, 2007.

GIRI, B.; KAPOOR, R.; MUKERJI, K.G. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and salinization growth, biomass, and mineral nutrition of *Acacia auriculiformes*. **Biology and Fertility of Soils**, v. 38, p. 170-175, 2003.

GRATTAN, S.R.; GRIEVE, C.M. Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. In: PESSARAKLI, M. (Ed.). **Handbook of plant and crop stress**. New York: Marcel Dekker, 1994. 23p.

GRATTAN, S.R.; GRIEVE, C.M. Salinity-mineral nutrient relation in horticultural crops. **Scientia Horticulturae**, v. 78, p. 127-157, 1999.

GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 31, p. 149-190, 1980.

HABTE, M.; MANJUNATH, A. Categories of vesiculararbuscular mycorrhizal dependency of host species. **Mycorrhiza**, v. 1, p. 3–12, 1991.

HARNER, M.J.; RAMSEY, P.W.; RILLIG, M.C. Protein accumulation and distribution in floodplain and river foam. **Ecology Letters**, v. 7, p. 829-836, 2005.

IZZO, R. NAVARI-IZZO, F.; QUARTACCI, F. Growth and mineral absorption in maize seedlings as affected by increasing NaCl concentrations. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.14, p.687-699, 1991.

JUNIPER, S.; ABBOTT, L.K. Soil salinity delays germination and limits growth of hyphae from propagules of arbuscular mycorrhizal fungi. **Micorrhiza**, v. 16, p. 371-379, 2006.

KARAMANOS, A.J. The involvement of proline and some metabolites in water stress and their importance as drought resistance indicator. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, v. 21, p. 98-100, 1995.

KATERJI, N.; van HOORN, J.W.; HAMDY, A.; KARAM, F.; MASTRORILLI, M. Effect of salinity on water stress, growth, and yield of maize and sunflower. **Agricultural Water Management**, v. 30, p. 237-249, 1996.

KAYA, C.; ASHRAF, M.; SONMEZ, O.; AYDEMIR, S.; TUNA, A.L.; CULLU, M.A. The influence of arbuscular mycorrhizal colonisation on key growth parameters and fruit yield of pepper plants grown at high salinity. **Scientia Horticulturae**, v. 3176, p. 01-06, 2009.

KLAUBERG-FILHO, O.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; SOARES, C.R.F.S.; SILVA, S. Ecologia, função e potencial de aplicação de fungos micorrízicos arbusculares em condições de excesso de metais pesados. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P.; CARDOSO, E.J. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: UFV; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. p.85-144.

KOIDE, T.R.; MOSSE, B. A history of research on arbuscular mycorrhiza. **Mycorrhiza**, v. 14, p. 145-163, 2004.

KOYRO, H.W.. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* L. **Environmental and Experimental Botany**. v. 56, p. 136-146, 2006.

LACERDA, C.F.; CAMBRAIA, J.; CANO, M.A.O.; RUIZ, H.A.; PRISCO, J.T. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 49, p. 107-120, 2003.

LACERDA, C.F.; MORAIS, H.M.M.; PRISCO, J.T.; GOMES FILHO, E.; BEZERRA, M.A. Interação entre salinidade e fósforo em plantas de sorgo forrageiro. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 37, p. 258-263, 2006a.

LACERDA, C.F.; JÚNIOR, J.O.A.; FILHO, L.C.A.L.; OLIVEIRA, T.S.; GUIMARÃES, F.V.A.; GOMES FILHO, E.; PRISCO, J.T.; BEZERRA, M.A. Morpho-physiological responses of cowpea leaves to salt stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, p. 455-465, 2006b.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RIMA, 2000. 531p.

LEAKE, J.R.; JOHNSON, D.; DONNELLY, D.P.; MUCKLE, G. E.; BODDY, L.; READ, D.J. Networks of power and influence: the role of mycorrhizal mycelium in controlling plant communities and agroecosystem functioning. **Canadian Journal of Botany**, v. 82, p. 1016-1045, 2004.

LIU, A.; HAMEL, C.; HAMILTON, R.I.; MA, B.L.; SMITH, D.L. Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by micorrhizal maize (*Zea mays* L.) grow in soil at different P and micronutrient levels. **Mycorrhiza**, v. 9, 5p. 2000.

LINS, G.M.L.; TRINDADE, A.V.; ROCHA, H.S. Utilização de *Gigaspora margarita* em plantas micropropagadas de bananeira em diferentes estágios de enraizamento. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, p. 143-147, 2003.

LOGI, C.; SBRANA, C.; GIOVANNETTI, M. Cellular events involved in survival of individual arbuscular mycorrhizal symbionts growing in the absence of the host. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 9, p. 3473-3479. 1998.

LOVELOCK, C.E.; WRIGHT, S.F.; NICHOLS, K.A. Using glomalin as an indicator for arbuscular mycorrhizal hyphal growth: an example from a tropical rain forest soil. **Soil Biology Biochemistry**, v. 36, p. 1009-1012, 2004.

LÚCIO, W.S. **Respostas fisiológicas e bioquímicas em meloeiro (*Cucumis melo* L.) inoculado com fungos micorrízicos arbusculares sob estresse salino**. 2008. 75p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MAAS, E.V.; GRIEVE, C.M. Sodium-induced deficiency in salt stressed corn. **Plant, Cell and Environment**, v. 10, p. 559-564, 1987.

MAATHUIS, F.J.M.; AMTAMANN, A. K^+ nutrition and Na^+ toxicity: the basis of cellular K/Na ratios. **Annals of Botany**, v. 84, p. 123-133, 1999.

MAGALHÃES, P.C.; DURAES, F.O.M.; CARNEIRA, N.R.; PAIVA, E. **Fisiologia do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2002, 23 p. (Ministério da Agricultura e Pecuária e Abastecimento, Circular Técnica, nº 22).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa do Potássio e do Fósforo, 1989.

MANSOUR, M.M.F. Nitrogen containing compounds and adaptation of plants to salinity stress. **Biologia Plantarum**, v. 43, p. 491-500, 2000.

MANSOUR, M.M.F.; SALAMA, K.H.A. Cellular basis of salinity tolerance in plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 52, p. 113-122, 2004.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. (5.ed.) London: Academic Press, 1995. 889p.

MASCENA, A.M. **Desenvolvimento inicial da bananeira micorrizada e atividade microbiana em neossolo quatzarênico irrigado com água salina**. 2010. 88p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MATSUMURA, T.; KANECHI, M.; INAGAKI, N.; MAEKAWA, S. The effects of salt stress on ion uptake, accumulation of compatible solutes, and leaf osmotic potential in safflower, *Chrysanthemum paludosum* and sea aster. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, v. 67, p.426-431, 1998.

MATTIONI, C.; LACERENZA, N.G.; TROCCOLI, A.; DE LEONARDIS, A.M.; DI FONZO, N. Water and salt stress-induced alterations in proline metabolism of *Triticum durum* seedlings. **Physiologia Plantarum**, v. 101, p. 787-792, 1997.

McARTHUR, D.A.J.; KNOWLES, N.R. Influence of species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus nutrition on growth, development and mineral physiology of potato. **Plant Physiology**, v. 102, p. 771-782, 1993.

MEDEIROS, J. F.; LISBOA, R. A.; OLIVEIRA, M.; SILVA JÚNIOR, M. J. S.; ALVES, L. P. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, p. 469-472, 2003.

MELO FILHO, G.A., RICHETTI, A. Aspectos socioeconômicos da cultura do milho. In: **MILHO: informações técnicas. Circular Técnico Científico de Pesquisa Agropecuária**. Oeste/EMBRAPA, n.5, p.13-38, 496p, 1997.

MERGULHÃO, A.C.E.S. **Aspectos ecológicos e moleculares de fungos micorrízicos arbusculares**. 2006. 152p. Tese (Doutorado em Microbiologia) – Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco.

MIRANDA, J.C.C.; MIRANDA L.N. Micorriza arbuscular. In: VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos Solos dos Cerrados**. Embrapa – CPAC, Planaltina. p.67-123, 1997.

MOREIRA, F.M.S; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2 ed. Atualizada e ampliada. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729p.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, p. 239-250, 2002.

NATHAWAT, N.S.; KUHAD, M.S.; GOSWAMI, C.L.; PATEL, A.L.; KUMAR, R. Nitrogen-metabolizing enzymes: effect of nitrogen sources and saline irrigation. **Journal of Plant Nutrition**, v. 28, p. 1089-1101, 2005.

NEVES, L. L. de M.; SIQUEIRA, D. L. de.; PAULO, R. C.; MARTINEZC. A.; SALOMÃO, L. C. C. Crescimento, trocas gasosas e potencial osmótico da bananeira-“prata”, submetida a diferentes doses de sódio e cálcio em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 24, p. 524-529, 2002.

NICHOLS, K.A.; WRIGHT, S.F. Carbon and nitrogen in operationally-defined soil organic matter pools. **Biology and Fertility of Soils**, v. 43, p. 215-220, 2006.

NICHOLS, K.A.; WRIGHT, S.F. Comparison of glomalin and humic acid in eight native U.S. soils. **Soil Science**. v. 170, p. 985-997, 2005.

NICHOLS, K.A.; WRIGHT, S.F. Contributions of soil fungi to organic matter in agricultural soils. In: MAGDOFF, F.; WEIL, R. (Eds.), **Functions and Management of Soil Organic Matter in Agroecosystems**. Washington DC: CRC, 2004. 19p.

NIU, X.; BRESSAN, R.A.; HASEGAWA, P.M.; PARDO, J.M. Ion Homeostasis in NaCl stress environments. **Plant Physiology**, Rockville, v.109, p.735-742, 1995.

NOLTE, K.D.; HANSON, A.D.; GAGE, D.A. Proline accumulation and methylation to proline-betaine in *Citrus*: implications for genetic engineering of stress resistance. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, v. 122, p. 8-13, 1997.

NOVAIS, R.F.; SMITH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, DPS, 1999. 399p.

OLIVEIRA, F.R.A.; OLIVEIRA, F.A.; MEDEIROS, J.F.; SOUSA, V.F.L.; FREIRE, A.G. Interação entre salinidade e fósforo na cultura do rabanete 1. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, p. 519-526, 2010.

OLIVEIRA, M. de. Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J. M. (ed.) **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB/SBEA, 2001. 36p.

PARIDA, A.K.; DAS, A.B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environment Safety**, v. 60, p. 324-349, 2005.

PEYRANO, G.; TALEISNIK, E.; QUIROGA, M.; FORCHETTI, S.M.; TIGIER, H. Salinity effects on hydraulic conductance, lignin content and peroxidase activity in tomato roots. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 35, p. 387-393, 1997.

PHILLIPIS, J.M.; HAYMAN, A.S. Improved produces for clearing roots and attaining parasite and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for assessment of infection. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 55, p. 158-161, 1970.

PIMENTEL, C. Tolerância protoplasmática foliar à seca, em dois genótipos de caupi cultivadas em campo. **Revista Universidade Rural**. Série Ciências da vida, v. 1, p. 7-14, 2002.

PIOTROWSKI, J.S.; DENICH, T.; KLIRONOMOS, J.N.; GRAHAM, J.M.; ROLLING, M.C. The effects of arbuscular mycorrhizas on soil aggregation depends on the interaction between plant and fungal species. **New Phytologist**, v. 164, p. 365-373, 2004.

PIZARRO, J.C.A. **Caracteres fisiológicos e bioquímicos da tolerância à salinidade em clones de cajueiro anão-precoce**, 2006. 163 p. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

PLENCHETTE, C.; FORTIN, J.A.; FURLAN, V. Growth responses of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility. **Plant and Soil**, v. 70, p. 199-209, 1983.

PRATA, F.C. **Principais culturas do Nordeste**. v. 1. Fortaleza: Imprensa Universitária do Ceará, 1969. 191 p.

PRAXEDES, S.C. Alterações fisiológicas e bioquímicas em dois cultivares de feijão-de-corda com tolerância diferencial à salinidade. 2008. 145 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

RABIE, G.H. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and kinetin on the response of mungbean plants to irrigation with seawater. **Mycorrhiza**, v. 15, p. 225-230, 2005.

REID, C.P.P. Mycorrhizas. In: LYNCH, J.M. (ed.). **The Rhizosphere**. Chichester: John Wiley & Sons, 1990. p. 34p.

RHOADES, J.D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A.M. **Uso de águas salinas para a produção agrícola**. Campina Grande: UFPB, 2000. 117 p.

RIBEIRO, M.R. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: _____. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 1. ed. Fortaleza, INCTSal, 2010. cap. 2, p. 12-19.

RICHARDS, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Salinity Laboratory Staff. US Dept. Agric. Handbook n° 60. USA. 1954. In: _____. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 1. ed. Fortaleza, INCTSal, 2010. cap. 2, p. 12-19.

RICHARDS, L.A. Suelos salinos y sodicos: Diagnostico y rehabilitacion. 1974. In: AZEVEDO NETO, A.D.; TABOSA, J.N. **Estresse salino em plântulas de milho: Parte 1, análise do crescimento 1**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 4, p. 159-164, 2000.

RILLIG, M.C. A connection between fungal hydrophobins and soil water repellency. **Pedobiologia** v. 49, p. 395–399, 2005.

RILLIG, M.C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 28, p. 355-363, 2004.

RILLIG, M.C.; WRIGHT, S.F.; EVINER, V. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. *Plant and soil*, v. 238, n. 2, p. 325-333, 2002. In: MARGULHÃO, A.C.E.S. **Aspectos ecológicos e moleculares de fungos micorrízicos arbusculares**. 2006. 152p. Tese (Doutorado em Microbiologia) – Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco.

RIVELLI, A.R.; JAMES, R.A.; MUNNS, R.; CONDON, A.G. Effect of salinity on water relations and growth of wheat genotypes with contrasting sodium uptake. **Functional Plant Biology**, v. 29, p. 1065-1074, 2002.

SANTOS, R.V.; CAVALVANTE, L.F.; VITAL, A.F.M. Interações salinidade-fertilidade do solo. In: _____. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 1. ed. Fortaleza, INCTSal, 2010. cap. 14, p. 221-250.

SAGGIN JÚNIOR, O.J.; SIQUEIRA, J.O. Micorrizas arbusculares em cafeeiro. In: SIQUEIRA, J.O. (Ed.) **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas**. Lavras: DCS/DCF, 1996. 51p.

SHANNON, M.C. The effects of salinity on cellular and biochemical processes associated with salt tolerance in tropical plants. In: DAVENPORT, T.L.; HARRINGTON, H.M. (eds.). **Proceedings in Plant Stress in the Tropical Environment**. Kailu-Kona: University of Florida, 1992, p. 56-63.

SHENG M.; TANG M.; CHAN H.; YANG B.; ZHANG F.; HUANG Y. Influence of arbuscular mycorrhizae on photosynthesis and water status of maize plants under salt stress. **Mycorrhiza**, v. 18, p.287-296, 2008.

SILVA, J.V.; LACERDA, C.F.; COSTA, P.H.A.; ENÉAS FILHO, J.; GOMES-FILHO, E.; PRISCO, J.T. Physiological responses of NaCl stressed cowpea plants grown in nutrient solution supplemented with CaCl₂. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 15, p. 99-105, 2003.

SILVA, S.; SIQUEIRA, J.O.; SOARES, C.R.F.S. Fungos micorrízicos no crescimento e na extração de metais pesados pela braquiária em solo contaminado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1749-1757, 2006.

SIQUEIRA, J.O.; COLOZZI-FILHO, A.; OLIVEIRA, E. Ocorrência de micorrizas vesicular-arbusculares em agro e ecossistemas do Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.24, p.1499-1506, 1989.

SIQUEIRA, J.O.; KLAUBERG-FILHO, O. Micorrizas arbusculares: a pesquisa brasileira em perspectiva. In: MOREIRA, F.M.S; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2 ed. Atualizada e ampliada. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729p.

SIQUEIRA, J.O.; SAGGIN JUNIOR, O.J. The importance of mycorrhizae association in natural in low fertility. In: CARNEIRO, M.A.C.; SIQUEIRA, J.O.; DAVIDE, A.C. Fósforo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares no estabelecimento de mudas de embaúba (*Cecropia pachystachya* Trec). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 34, p. 119-125, 2004.

SOARES, C.R.F.S.; SIQUEIRA, J.O. Mycorrhiza and phosphate protection of tropical grass species against heavy metal toxicity in multi-contaminated soil. **Biology and Fertility of soils**, v. 44. p. 833-841, 2008.

SOMMERFELDT, T.G.; RAPP, E. **Management of saline soils**. Ottawa: Canada Department of Agriculture, 1978. 30p.

SOUZA, R.F.; PINTO, J.C.; SIQUEIRA, J.O.; MENDES, L.A. Micorriza e fósforo no crescimento de *Andropogon gayanus* e *Stylosanthes guianensis* cultivados sob estresse hídrico em um latossolo vermelho escuro distrófico. **Pasturas tropicales**, v. 22, p. 42-46, 2002.

SYLVIA, D.M.; HAMMOND, L.C.; BENNETT J.M. Field response of maize to a VAM fungus and water management. **Agronomy Journal**, v. 85, p. 193–198, 1993.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2008. 719p.

TAVARES, R.C. **Efeitos da inoculação com fungo micorrízico arbuscular e da adubação orgânica no desenvolvimento de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.), sob estresse salino**. 2007. 63p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

TAVORA, F.J.A.F.; FERREIRA, R.G.; HERNANDEZ, F.F.F. Crescimento e relações hídricas em plantas de goiabeira submetidas a estresse salino com NaCl. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, p. 441-446, 2001.

TEIXEIRA, M.R.O.; ARIAS, E.R.A.; MUNIZ, J.A. Cultivares. In: EMBRAPA. **Milho: informações técnicas**. Dourados: Embrapa - CPAO, 1997. 6p.

TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. **Annals of Botany**, v. 91, p. 503-527, 2003.

USSL STAFF – United States Salinity Laboratory. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: U.S. Department of Agriculture, 1954. 160p.

VAN BREEMEN N.; LUNDSTROM U.S.; JONGMANS A.G.; VAN BREEMEN N.; LUNDSTROM U.S.; BAIN D.C. Do plants drive podzolization via rock-eating mycorrhizal fungi? **Geoderma**, v. 94, p. 163-171, 2000.

VAN DER HEIJDEN, M.G.A.; KLIRONOMOS, J.N.; URSIC, M.; MOUTOGLIS, P.; STRETWOLFENGEL, R.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A.; SANDERS, I.R. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. **Nature**, v. 369, p. 69-72, 1998.

WILDE P.; MANAL A.; STODDEN M.; SIEVERDING E.; HILDERBRANDT U.; BOTHE H. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in roots and soils of two salt marshes. **Environmental Microbiology**, v. 11, p. 1548-1561, 2009.

WOOD, A.J.; SANEOKA, H.; RHODES, D.; JOLY, R.J.; GOLDSBROUGH, P.B. Betaine aldehyde dehydrogenase in sorghum. **Plant Physiology**, v. 110, p. 1301-1308, 1996.

WRIGHT, S.F.; UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, v. 198, p. 97-107, 1998.

WRIGHT, S.F.; FRANKE-SNYDER, M.; MORTON, J.B.; UPADHYAYA, A. Timecourse study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. **Plant and Soil**, v. 181, p. 193-203, 1996.

WRIGHT, S.F., UPADHYAYA, A. Quantification of arbuscular mycorrhizal activity by the glomalin concentration on hyphae. **Mycorrhiza**, v. 8, p. 283–285, 1999.

YANO-MELO, A.M.; SAGGIN, O.J.; MAIA, L.C. Tolerance of mycorrhized banana (*Musa* spp.. Cv. Pacovan) plantlets to stress. **Agriculture, Ecosystems Environment**, v. 95, p. 343-348, 2003.

YANO-MELO, A.M.; GOTO, B.T.; SILVA, G.A.; MAIA, L.C. Diversidade de fungos micorrizicos arbusculares no Brasil. In: JARDIM, M.A.G.; BASTOS, M.N.C.; SANTOS, J.V.M. (Eds.). **Desafios da Botânica Brasileira do Novo Milênio: Inventário, Sistematização e Conservação da Diversidade Vegetal**. 54° Congresso Nacional de Botânica e 3ª Reunião Amazônica de Botânica. Belém: MPEG, UFRA, EMBRAPA, 2003 a, p. 173-174.

YEMM, E.W.; COCKING, E.C. The determination of amino-acids with ninhydrin. **The Analyst**, v. 80, p. 209-213, 1955.

YOKOI, S.; BRESSAN, R.A.; HASEGAWA, P.M. Salt stress tolerance of plants. **JIRCA Working Report**, p. 25-33, 2002.

ZATORRE, N.P. **Influência da mudança no uso do solo em ecossistemas na Amazônia sul ocidental**. 2009. 85p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

ZHU, J.K. Plant salt tolerance. **Trends in Plant Science**, v. 6, p. 66-71, 2001.