



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

JOSÉ MARIA TUPINAMBÁ DA SILVA JÚNIOR

**PADRÃO DE COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA ARBUSCULAR EM PLANTAS DE
ACEROLA, MILHO E FEIJÃO**

FORTALEZA

2016

JOSÉ MARIA TUPINAMBÁ DA SILVA JÚNIOR

PADRÃO DE COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA ARBUSCULAR EM PLANTAS DE
ACEROLA, MILHO E FEIJÃO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo Área de concentração: Química, Fertilidade e Biologia do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Furtado Mendes Filho.

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S58p Silva Júnior, José Maria Tupinambá da.
Padrão de colonização micorrízica arbuscular em plantas de acerola, milho e feijão / José Maria
Tupinambá da Silva Júnior. – 2016.
134 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-
Graduação em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas), Fortaleza, 2016.
Orientação: Prof. Dr. Paulo Furtado Mendes Filho.

1. Malpighia emarginata D.C. 2. agricultura familiar. 3. Vigna unguiculata (L.). 4. Zea mays. I. Título.
CDD 631.4

JOSÉ MARIA TUPINAMBÁ DA SILVA JÚNIOR

PADRÃO DE COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA ARBUSCULAR EM PLANTAS DE
ACEROLA, MILHO E FEIJÃO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo. Área de concentração: Química, Fertilidade e Biologia do Solo.

Aprovada em: 26/02/2016

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Furtado Mendes Filho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Vânia Felipe Freire Gomes
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Ricardo Luiz Lange Ness
Universidade Federal do Cariri (UFCA)

Pesquisador Dr. Olmar Baller Weber
Embrapa Agroindústria Tropical (EMBRAPA)

A Deus.

Aos meus pais, José Maria e Maria do Socorro.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará, de modo especial ao Departamento de Ciências do Solo, pela oportunidade de realizar o curso de Doutorado;

Ao Professor Dr. Paulo Furtado Mendes Filho pela orientação, apoio, confiança, amizade e contribuição para a realização da pesquisa;

A Professora Dra. Vânia Felipe Freire Gomes pelo ótimo convívio, amizade e sugestões valiosas para este trabalho;

Ao Professor Dr. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez pela disponibilidade em colaborar na realização da pesquisa e sugestões;

Ao Professor Dr. Ricardo Luiz Lange Ness pela disponibilidade em colaborar na realização da pesquisa e sugestões;

Ao Pesquisador Dr. Olmar Baller Weber por contribuir com a realização da pesquisa com sugestões, além de permitir a utilização do laboratório na Embrapa para a montagem de lâminas microscópicas;

A Pesquisadora Dra. Marcela Pagano pela disponibilidade de tempo para realizar a identificação das espécies de fungos micorrízicos arbusculares;

Aos Professores do Departamento de Ciências do Solo, pelos conhecimentos transmitidos durante o curso;

Aos Agricultores Familiares residentes em Maracanaú, Maranguape e Pacatuba por permitirem a coleta de material em suas áreas;

Aos amigos Aldênia, Mário, Kaio e Dennis pela disponibilidade em ajudar nas análises laboratoriais;

Aos colegas do curso de Doutorado, em especial, aos do Laboratório de Microbiologia do Solo, Aldênia, Cillas, Elimário, Kaio e Mário, pelo ótimo convívio e amizade.

RESUMO GERAL

Aprimorar tecnologias que buscam a redução do uso de fertilizantes fosfatados é essencial, considerando que grande parte dos solos brasileiros possui baixa disponibilidade de fósforo (P), acabando por limitar o crescimento das plantas e gerando uma dependência elevada de adubos fosfatados. O uso de micro-organismos, como os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), que se associam com a maioria das espécies vegetais é uma alternativa viável principalmente pelos efeitos benéficos desses fungos para o crescimento das plantas, como maior absorção de nutrientes, notadamente o P. A associação entre FMA e plantas frutíferas ou anuais poderá fomentar a produtividade dessas espécies, além de reduzir o consumo de adubos fosfatados. Com o intuito de avaliar se diferentes manejos impostos ao sistema solo-planta podem alterar o padrão de colonização micorrízica arbuscular em plantas cultivadas foram realizados dois estudos, o primeiro em áreas de agricultores familiares que cultivam acerola e residem em Maranguape-Ce. O segundo estudo, foi conduzido em casa de vegetação e no Laboratório de Microbiologia do Solo pertencente ao Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, com plantas de feijão de corda e milho adubadas com doses crescentes de P. Na primeira pesquisa, o padrão morfológico *Paris*, com a presença de hifas intracelulares e vesículas, foi observado em todas as áreas coletadas. Com a extração de esporos de FMA do solo, a predominância dos gêneros, *Glomus* sp. e *Scutelospora* sp, foi constatada nas quatro áreas em que foram coletadas amostras de solo. Na pesquisa conduzida em casa de vegetação, observou-se que o crescimento do feijão de corda e do milho foi favorecido pela adubação fosfatada até a dose 600 mg P vaso⁻¹. A colonização micorrízica foi diminuída pelas maiores doses de P adicionados ao solo e o padrão morfológico de colonização micorrízica intermediário foi observado nas duas espécies vegetais, não ocorrendo influência da adubação fosfatada sobre sua morfologia. Além disso, foram identificados até quinze morfotipos de espécies de FMA no solo cultivado com feijão de corda ou milho.

Palavras-chaves: *Malpighia emarginata* D.C.; agricultura familiar; *Vigna unguiculata* (L.), *Zea mays*.

GENERAL ABSTRACT

Improve technologies that seek to reduce the use of phosphate fertilizers is essential, considering that most Brazilian soils have low availability of phosphorus (P), ultimately limit the growth of plants and generating a high dependence of phosphate fertilizers. The use of microorganisms as the arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) which are associated with the majority of plant species is now a viable alternative, mainly by beneficial effects of these fungi for plant growth such as increased absorption of nutrient, especially, P. Association between FMA and fruit or annual plants can enhance productivity of these species, in addition to reducing the consumption of phosphate fertilizers. So to evaluate the morphological pattern of colonization by AMF, two studies were conducted, the first in areas of family farmers who grow acerola and reside in Maranguape-Ce. The second study was conducted in a greenhouse and in Soil Microbiology Laboratory of the Department of Soil Science of the University Federal of Ceará, with cowpea plants and corn fertilized with increasing doses of P. In the first survey, *Paris* morphology, the presence of intracellular vesicles and hyphae was observed in all areas collected. With the extraction of soil AMF spores, the predominance of genres, *Glomus* sp. and *Scutelospora* sp, was found in the four areas where soil samples were collected. In research conducted in the greenhouse, it was observed that the growth of the cowpea and corn was favored by phosphorus fertilization to dose 600 mg P pot⁻¹. The mycorrhizal colonization was reduced by higher doses of P added to the soil and the morphology of mycorrhizal colonization intermediate was observed in both species, not occurring influence of phosphorus fertilization on their morphology. In addition, they identified up to fifteen morphotypes especies AMF in the soil cultivated with cowpea or corn.

Keyword: *Malpighia emarginata* D.C.; family farming; *Vigna unguiculata* (L.), *Zea mays*.

LISTA DE FIGURAS

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Figura 1 – Colônia típica de uma micorriza arbuscular mostrando a raiz e a penetração pelo fungo.....21

Figura 2 – Estruturas dos tipos de morfologia de FMA observado em plantas.....22

ESTUDO 1 - PADRÃO MORFOLÓGICO DE COLONIZAÇÃO POR FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E ATIVIDADE MICROBIANA EDÁFICA EM CULTIVOS DE ACEROLA.

Figura 1 - Áreas de coletas de solos no município de Maranguape-Ce.....41

Figura 2 - Box-plots da análise descritiva dos parâmetros: colonização micorrízica radicular (A), número de esporos de FMA (B), respiração basal do solo (C), carbono da biomassa microbiana do solo (D), quociente metabólico do solo (E).....45

Figura 3 - Fotomicrografias das raízes das plantas de acerola coletadas nas áreas 1 (A), 2 (B), 3 (C) e 4 (D), respectivamente, após a coloração radicular.....48

ESTUDO 2 - PADRÃO MORFOLÓGICO DA COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA ARBUSCULAR EM PLANTAS DE FEIJÃO E MILHO ADUBADAS COM FÓSFORO.

Figura 1 - Mapa da área de coleta do solo na fazenda Raposa em Maracanaú-Ce.....64

Figura 2 - Condução dos experimentos em casa de vegetação para as culturas do feijão de corda (A) e milho (B).....66

Figura 3 - Altura da planta (A), diâmetro do caule (B), número de folhas (C) e massa da matéria seca da parte aérea (D) em plantas de feijão de corda adubadas com fósforo (mg P kg⁻¹ solo).....72

Figura 4 - Teor de nitrogênio na parte aérea do feijão de corda adubado com P.....	77
Figura 5 - Teor de fósforo na parte aérea do feijão de corda adubado com P.....	79
Figura 6 - Teor de potássio na parte aérea do feijão de corda adubado com P.....	81
Figura 7 - Teor de cálcio na parte aérea do feijão de corda adubado com P.....	82
Figura 8 - Teor de magnésio na parte aérea do feijão de corda adubado com P.....	83
Figura 9 - Colonização micorrízica em solo adubado com fósforo e cultivado com feijão de corda.....	84
Figura 10 - Padrão morfológico de colonização micorrízica em raízes de feijão de corda cultivado em solo sob diferentes doses de P.....	87
Figura 11 - Densidade de esporos de FMA em solo adubado com fósforo e cultivado com feijão de corda.....	91
Figura 12 - Altura da planta (A), diâmetro do colmo (B), número de folhas (C) e massa da matéria seca da parte aérea (D) em plantas de milho adubadas com P (mg P kg ⁻¹ solo).....	96
Figura 13 - Teor de nitrogênio na parte aérea do milho adubado com P.....	101
Figura 14 - Teor de fósforo na parte aérea do milho adubado com P.....	103
Figura 15 - Teor de potássio na parte aérea do milho adubado com P.....	104
Figura 16 - Teor de cálcio na parte aérea do milho adubado com P.....	105
Figura 17 - Teor de magnésio na parte aérea do milho adubado com P.....	106

Figura 18 - Colonização micorrízica em solo adubado com fósforo e cultivado com milho.....	109
Figura 19 - Padrão morfológico de colonização micorrízica em raízes de milho cultivado em solo sob diferentes doses de P.....	111
Figura 20 - Densidade de esporos de FMA em solo adubado com fósforo e cultivado com milho.	115

LISTA DE TABELAS

ESTUDO 1 - PADRÃO MORFOLÓGICO DE COLONIZAÇÃO POR FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E DA ATIVIDADE MICROBIANA EDÁFICA EM CULTIVOS DE ACEROLA.

Tabela 1 - Histórico das áreas de cultivos de acerola em Maranguape-Ce.....	41
Tabela 2 - Atributos físicos e químicos da camada superficial (0-20 cm) dos solos coletados nas quatro áreas no município de Maranguape-CE.....	42
Tabela 3 - Tratos culturais e principais manejos realizados pelos agricultores familiares nas quatro áreas localizadas em Maranguape-CE.....	43
Tabela 4 - Colonização micorrízica, padrão de colonização radicular e densidade de esporos de FMA em pomares de acerola coletadas em quatro áreas no município de Maranguape-Ce.....	47
Tabela 5 Respiração basal do solo (RBS) ($\text{mg de C-CO}_2 \text{ dia}^{-1}/100 \text{ cm}^3$ de solo), carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS) ($\text{mg g}^{-1} \text{ C}$ no solo) e quociente metabólico, de um solo coletado em quatro áreas com cultivo de acerola em Maranguape-Ce.....	51

ESTUDO 2 - PADRÃO MORFOLÓGICO DA MICORRIZAÇÃO DE PLANTAS DE FEIJÃO DE CORDA E MILHO ADUBADAS COM FÓSFORO.

Tabela 1 - Características físicas e químicas do solo coletado na Fazenda Raposa em Maracanaú-CE.....	64
Tabela 2 - Tratamentos utilizados nos experimentos com feijão de corda e milho.....	66
Tabela 3 - Resultado do Teste de Normalidade (Shapiro-Wilk) a 5% de probabilidade, para as variáveis altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas e massa da matéria seca da parte aérea em plantas de feijão de corda.....	70

Tabela 4 - Altura das plantas (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA) de feijão de corda cultivado sob seis doses de P. Média de cinco repetições.....	70
Tabela 5 - Resultado do Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) para os teores de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio e Magnésio na parte aérea das plantas de feijão de corda.....	76
Tabela 6 - Teores de Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) na parte aérea de feijão de corda cultivado sob seis doses de P. Média de cinco repetições.....	76
Tabela 7 - Resultado do Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) para a variável colonização micorrízica arbuscular em raízes de feijão de corda.....	83
Tabela 8 - Colonização micorrízica em raízes de feijão de corda cultivado em solo adubado com doses crescentes de P. Média de cinco repetições.....	84
Tabela 9 - Resultado do Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) para a variável densidade de esporos em solo cultivado com feijão de corda.....	89
Tabela 10 - Densidade de esporos para o solo adubado com doses crescentes de P e cultivado com feijão de corda. Média de cinco repetições.....	90
Tabela 11 - Espécies e número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em diferentes níveis de P em solo cultivado com feijão de corda.....	92
Tabela 12 - Resultado do Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$), para as variáveis altura da planta, diâmetro do colmo, número de folhas e massa da matéria seca da parte aérea em plantas de milho.....	94
Tabela 13 - Altura das plantas (AP), diâmetro do colmo (DC), número de folhas (NF) e massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA) do milho cultivado sob seis doses de P.	

Média de cinco repetições.....	95
Tabela 14 - Resultado do Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) para os teores de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio e Magnésio na parte aérea das plantas de milho.....	99
Tabela 15 - Teores de Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) na parte aérea do milho cultivado sob seis doses de P. Média de cinco repetições.....	100
Tabela 16 - Resultado do Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) para a variável colonização micorrízica em solo cultivado com milho.....	106
Tabela 17 - Colonização micorrízica em solo adubado com doses crescentes de P e cultivado com milho. Média de cinco repetições.....	107
Tabela 18 - Resultado do Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) para a variável colonização micorrízica arbuscular em solo cultivado com milho.....	113
Tabela 19 - Densidade de esporos no solo adubado com doses crescentes de P e cultivado com milho. Média de cinco repetições.....	114
Tabela 20. - Espécies e número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em diferentes níveis de P em solo cultivado com milho.....	116

SUMÁRIO

CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	15
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	15
2. HIPÓTESE E OBJETIVOS.....	17
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	18
REFERÊNCIAS.....	30
ESTUDO 1 – PADRÃO MORFOLÓGICO DE COLONIZAÇÃO POR FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E ATIVIDADE MICROBIANA EDÁFICA EM CULTIVOS DE ACEROLA.....	37
1. INTRODUÇÃO.....	39
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4. CONCLUSÕES.....	53
REFERÊNCIAS.....	54
ESTUDO 2 – PADRÃO MORFOLÓGICO DA MICORRIZAÇÃO DE PLANTAS DE FEIJÃO DE CORDA E MILHO ADUBADAS COM FÓSFORO.....	59
1. INTRODUÇÃO.....	61
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	63
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	69
4. CONCLUSÕES.....	118
REFERÊNCIAS.....	119
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	132
APÊNDICE A – FOTOS DOS ESPOROS DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES IDENTIFICADOS NO SOLO UTILIZADO NO EXPERIMENTO COM FEIJÃO DE CORDA E MILHO.....	133

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1. INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura familiar é responsável por parcela significativa de alimentos que chegam à mesa das famílias brasileiras e, com a consolidação dos avanços promovidos por políticas públicas integradas de fortalecimento do setor, os agricultores familiares diversificam sua produção, aumentando a produtividade a cada ano. Todavia, devem ser incentivados a utilização de tecnologias que diminuam a dependência dos agricultores por alguns insumos, como os fertilizantes minerais.

A produtividade de culturas, sejam estas plantas frutíferas, arbóreas ou espécies anuais, é sustentada por uma diversidade de fatores, entre os quais, condições climáticas, fertilidade da área de cultivo e interações com micro-organismos presentes no solo. Entre esses, destacam-se os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) com reconhecida habilidade em estimular o crescimento de plantas por meio do incremento na absorção de nutrientes, a minimização dos efeitos de estresses bióticos e abióticos como os gerados em decorrência do transplântio, caso das espécies que passam pela fase de viveiro. Esses micro-organismos também contribuem para a agregação e estabilidade de agregados do solo por meio de sua rede micelial, atuam no aumento da absorção de água, proporcionando maior resistência às plantas em caso de déficit hídrico, além de protegê-las contra o ataque de organismos patogênicos. Devido à importância dessa interação no sistema solo-planta-água muitos estudos têm sido conduzidos desde as últimas décadas do século XIX pelos microbiologistas do solo.

A inoculação com FMA constituirá um importante manejo no cultivo de plantas, principalmente para as que passam pela fase de formação de mudas em viveiros, como as plantas frutíferas ou arbóreas. Essa prática influenciaria diretamente no crescimento das mudas devido, principalmente, a maior absorção de nutrientes propiciada pela associação mutualística, reduzindo o tempo de formação da muda e o estresse decorrente do transplântio para o local definitivo, contribuindo para um melhor “pegamento” das mudas em campo. Além disso, é preciso avaliar a população nativa de FMA e sua capacidade em beneficiar naturalmente o crescimento das plantas de interesse agrônômico.

A morfologia das micorrizas arbusculares é classificada em *Arum*, *Paris* e intermediário, denominação relacionada às espécies vegetais em que foram descritas pela primeira vez, *Arum maculatum* e *Paris quadrifolia*, respectivamente. O tipo *Paris* apresenta

hifas intracelulares, podendo ser enoveladas e são comuns em plantas florestais, enquanto no tipo *Arum* são observadas hifas intercelulares, arbúsculos e estão presentes principalmente em plantas herbáceas cultivadas. O tipo “intermediário” apresenta características dos tipos *Arum* e *Paris*. O que determina um tipo ou outro de morfologia ainda não está totalmente esclarecido, havendo evidências da importância tanto da espécie vegetal como da espécie de fungo micorrízico arbuscular que formam a associação simbiótica.

O estabelecimento da simbiose entre FMA e plantas pode ser afetado pelo manejo adotado pelo produtor na área de cultivo, tornando-se essencial conhecer o efeito dos diversos tipos de manejos realizados pelos agricultores sobre a população nativa de FMA no solo e, conseqüente, na colonização micorrízica arbuscular.

2. HIPÓTESE E OBJETIVOS

Hipótese – Diferentes manejos impostos ao sistema solo-planta podem alterar o padrão de colonização micorrízica arbuscular em plantas cultivadas.

Objetivos - Estudar o padrão morfológico de colonização por FMA bem como a atividade microbiana do solo cultivado com plantas de acerola em áreas de agricultores familiares no estado do Ceará;

Avaliar o crescimento e o padrão morfológico de colonização micorrízica em plantas de feijão de corda e milho cultivado em solo com diferentes doses de fósforo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

Micorrizas são associações mutualistas formadas por fungos e raízes de plantas. Entre os diversos tipos de micorrizas existentes, as micorrizas arbusculares, também chamadas de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) ou endomicorrizas, são o grupo mais estudado pelos pesquisadores em biologia do solo. Os FMA são simbiotróficos obrigatórios, ou seja, não são capazes de completar seu ciclo de vida, sem estarem associados com um hospedeiro metabolicamente ativo. Atualmente pertencem ao filo Glomeromycota, classe Glomeromycetes, ordem Glomerales estando distribuídos em quatro ordens (Archaeosporales, Diversisporales, Glomerales e Paraglomerales), 11 famílias, 19 gêneros e possuem reconhecidas cerca de 273 espécies (REDECKER *et al.*, 2013).

Esses micro-organismos conseguem estabelecer relação simbiótica mutualística com raízes de angiospermas, gimnospermas, além de alguns representantes das briófitas e pteridófitas. As células do córtex radicular apresentam estruturas típicas desse tipo de micorriza, que são os arbúsculos. Também é possível observar em alguns grupos taxonômicos a presença de vesículas, que possivelmente apresentam função de armazenamento de substâncias de reserva (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Os esporos são a principal unidade de propagação dos FMA e, de acordo com algumas características apresentadas por estes, como coloração, tamanho, aspecto da parede, é possível distinguir as famílias, gêneros e espécies. Além dos esporos, existem outros tipos de propágulos que seriam potencialmente viáveis e infectivos, os quais teriam também capacidade de gerar uma nova micorriza, como as vesículas e as hifas extra radiculares.

Os benefícios dessa relação simbiótica para as plantas colonizadas foram demonstrados em condições edafoclimáticas diversas (TALAAT; SHAWKY, 2014). Todavia, o efeito favorável mais destacado por pesquisadores são a maior absorção de água e nutrientes, especialmente os de baixa mobilidade no solo como o fósforo, contribuindo para o aumento do crescimento das plantas (ZHAO *et al.*, 2015). Essa maior capacidade de absorver nutrientes que a planta micorrizada adquire, deve-se principalmente ao aumento da superfície de absorção e exploração do solo pelas hifas fúngicas (MIRANDA; MIRANDA, 2007). Riter Netto *et al.* (2014) confirmaram a capacidade dos FMA em aumentar a absorção de nutrientes, pois plantas de maracujá doce (*Passiflora alata* Curtis) inoculadas com diferentes espécies de micorrizas tiveram incremento de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na

parte aérea em relação as plantas não inoculadas. Mau; Utami (2014), avaliando o efeito da inoculação de FMA em plantas de milho (*Zea mays*) cultivadas em casa de vegetação, observaram resultado positivo da presença de FMA em fomentar a absorção de P. Almeida *et al.* (2014) constataram efeito benéfico da inoculação de *Glomus fasciculatum* em promover maior crescimento e acumulação de biomassa em plântulas de mamão em comparação às plantas não inoculadas. Gerlach *et al.* (2015) observaram efeito favorável da inoculação de FMA em plantas de milho, as quais absorveram maiores quantidade de P quando comparadas às plantas não inoculadas.

De acordo com Souza *et al.* (2011) as hifas dos fungos micorrízicos são, em geral, muito mais eficientes na aquisição e no transporte de P do solo até as raízes do que o sistema radicular das plantas, principalmente em condições de baixa disponibilidade, como é o caso da maioria dos solos brasileiros. Deve ser ressaltado que a importância dos FMA não se restringe somente em aumentar a capacidade de absorção de P, já tendo sido constatado experimentalmente em plantas cultivadas, devido à presença de FMA em suas raízes, um maior incremento na absorção de cobre (Cu), manganês (Mn) e ferro (Fe) (LEHMANN; RILLIG, 2015).

Todavia, as espécies vegetais diferem quanto à capacidade de formar simbiose e de se beneficiarem dela pelo crescimento das plantas serem predominantemente nutricionais e em razão de características próprias das plantas e da fertilidade do local onde estão sendo cultivadas (FERREIRA *et al.*, 2015). Por conseguinte, não pode ser generalizado que plantas micorrizadas terão sempre um maior crescimento devido à presença de FMA em suas raízes.

Outro efeito que vem sendo estudado é a proteção que os FMA conferem às plantas em relação aos efeitos nocivos de altas concentrações no solo de metais pesados (ALGUACIL *et al.*, 2011). Esse fato indica a possibilidade de associar inoculação de plantas com FMA à fitorremediação (LIU *et al.*, 2015; BAN *et al.*, 2015), que é uma técnica utilizada para remover contaminantes do solo através do cultivo de espécies vegetais tolerantes aos metais. A fitorremediação com plantas micorrizadas teria, portanto, um grande potencial para remover ou diminuir a quantidade de elementos tóxicos de solos. Pois os FMA são microorganismos que têm ampla ocorrência em solos contaminados e fortes de evidências que melhoram a tolerância das plantas ao excesso de alguns elementos tóxicos que prejudicam o desenvolvimento dos vegetais (CABRAL *et al.*, 2015).

Estudos ainda indicam que a interação entre FMA e diversas espécies de plantas é considerada uma importante estratégia de sobrevivência para plantas em condições de semiárido, onde é relevante a escassez de água (PAGANO *et al.*, 2011). Além dos efeitos que

afetam diretamente o crescimento das plantas, efeitos não nutricionais também devem ser destacados, como a melhoria da estabilidade dos agregados do solo, através da produção da proteína do solo relacionada a glomalina (PSRG). Segundo Sousa *et al.* (2012) a deposição da PSRG no solo é resultante, principalmente, da decomposição de esporos e hifas. É provável que a PSRG, por estar contida dentro das paredes de hifas e esporos, cumpra funções fisiológicas no decorrer da vida do fungo, como favorecer a aderência das hifas nas superfícies, reduzir a palatabilidade das hifas para predadores ou contribuir para a imobilização de poluentes na interface solo-hifa.

O efeito negativo da salinidade sobre o crescimento de plantas já é bastante conhecido, no entanto pesquisas têm sido realizadas para avaliar a proteção que plantas micorrizadas teriam em relação aos efeitos prejudiciais da salinidade. De acordo com Liu *et al.* (2016) os FMA nativos têm papel importante no aumento do crescimento do milho e na absorção de P, aliviando os efeitos adversos da alta salinidade em sistemas de cultivo intensificados. Abd Allah *et al.* (2015) obtiveram resultado semelhante ao avaliar o impacto da salinidade no crescimento de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), constatando que as plantas inoculadas com FMA tiveram os efeitos negativos da salinidade diminuídos significativamente em relação às plantas não inoculadas.

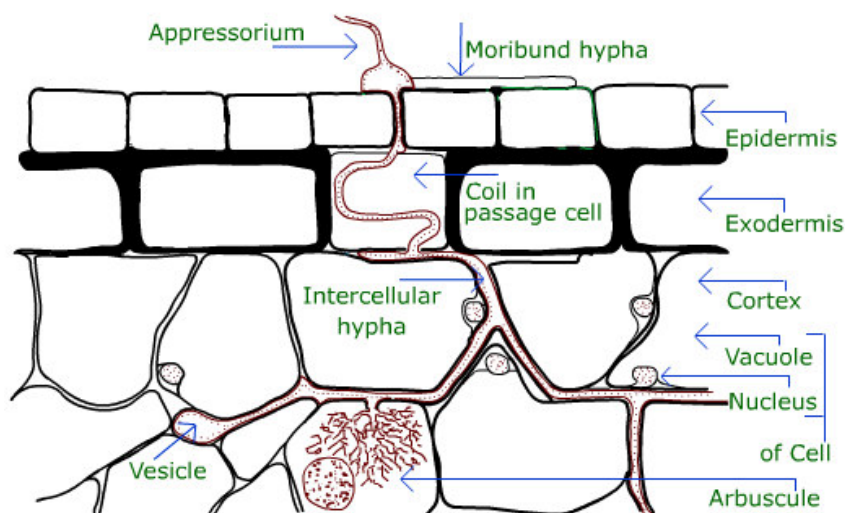
A influência dos FMA sobre doenças de plantas tem sido alvo de estudos por diversos pesquisadores também. Sampaio *et al.* (2012) observaram que plantas de banana micorrizadas foram mais resistentes à fusariose, corroborando para a tese de que plantas inoculadas com FMA possuem uma maior proteção contra doenças.

3.2 Colonização Micorrízica Radicular.

A formação da associação simbiótica se inicia a partir da interface formada entre os propágulos do fungo no solo, que podem ser esporos, células auxiliares e hifas que crescem de raízes colonizadas. Dos propágulos, formam-se as hifas infectivas que, estimuladas pelos componentes bióticos dos exsudatos e pelas condições físicas e químicas da rizosfera, crescem abundantemente, aumentando as chances de contato entre a raiz e o fungo. Essas hifas, ao encontrarem as raízes, aderem à sua superfície (epiderme ou pêlos radiculares) e formam um apressório, através do qual penetram nas células da epiderme na zona de diferenciação e alongamento, formando a “unidade de infecção” (Figura 1). A partir deste ponto, as hifas se espalham pelo córtex intercelularmente, através da lamela média tornando-se, posteriormente, intracelulares, quando formam as hifas enoveladas nas camadas mais

externas do córtex, diferenciando-se em arbúsculos nas camadas mais internas e, finalmente, em vesículas e esporos (SOUSA *et al.*, 2006).

Figura 1. Colônia típica de uma micorriza arbuscular mostrando a raiz e penetração pelo fungo.



Fonte: Smith; Read (2008).

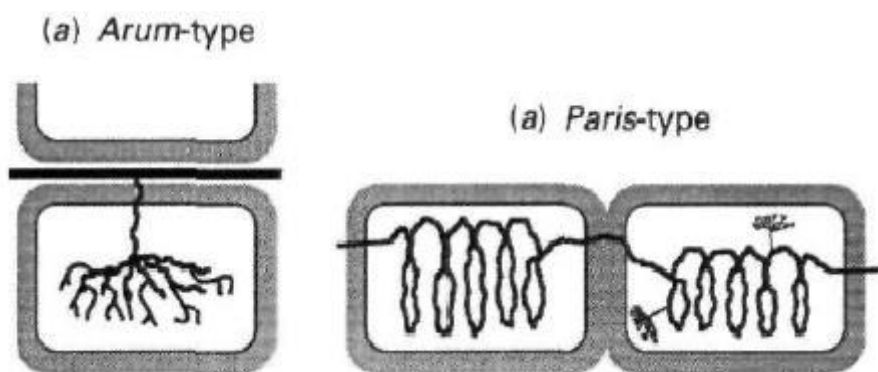
A colonização micorrízica é uma característica que pode ser afetada por inúmeros fatores como a espécie vegetal, a idade da planta, a densidade de raízes, a eficiência da colonização de FMA, fertilidade e manejo do solo, entre outros. Os efeitos da fertilidade do solo sobre a colonização micorrízica arbuscular vêm sendo estudados há vários anos, relacionando principalmente o efeito do teor de P no solo e sua influência na colonização.

Segundo Hippler *et al.* (2011), em solos com altos teores de nutrientes, especialmente P, as plantas apresentam tendência a diminuição da colonização micorrízica e com isso terão menor dependência aos FMA. Conforme Machineski *et al.* (2011) a mamona mostrou-se dependente de FMA em solo com baixo nível de P, porém o aumento nos teores de P disponível reduziram a colonização micorrízica arbuscular e o número de esporos, constatando-se o impacto dos altos teores de P no desenvolvimento dos FMA. Dados obtidos por Nyaga *et al.* (2015) ratifica esse fato, pois os autores observaram redução na colonização micorrízica em plantas de milho cultivadas em solos com altos teores de P.

Oliveira; Alixandre (2013) também constataram que com a elevação dos níveis de fósforo no solo ocorreram diminuição na taxa de colonização radicular por *Claroideoglossum etunicatum* e FMA nativos, em plantas de sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth). Portanto, em geral, altos níveis de P no solo diminuem a eficiência dos FMA em promover o crescimento das plantas.

Conforme Dickson (2004), o padrão morfológico dos FMA pode ser classificado em *Arum*, *Paris* e intermediário, este último possuindo estruturas dos tipos *Arum* e *Paris* (Figura 2).

Figura 2. Estrutura dos tipos de morfologia de FMA observados em plantas.



Fonte: Smith; Smith (1997)

O tipo *Paris* é caracterizado por um desenvolvimento extensivo do micélio intracelular, podendo apresentar hifas e poucos arbúsculos, às vezes enovelados. Ocorre com frequência em espécies florestais. O tipo *Arum* é encontrado em raízes de crescimento rápido como a maioria das espécies de plantas herbáceas cultivadas, sendo caracterizado pela colonização e espalhamento rápido pelo córtex via hifas intercelulares, apresentando arbúsculos que, ao contrário do encontrado no tipo *Paris*, não são enovelados (DICKSON, 2004).

De acordo com padrão morfológico de colonização micorrízica apresentado na raiz da espécie hospedeira, a habilidade do fungo para colonizar e fornecer nutrientes, como P, Cu, além de outros macro e micronutrientes, poderá diferir em razão do tipo morfológico que ocorre na raiz, justificando estudos sobre a ocorrência do padrão morfológico em plantas consideradas de interesse agrônômico, como espécies produtoras de grãos, plantas frutíferas, arbóreas e até mesmo em plantas de crescimento espontâneo, pois essas possuem rápido desenvolvimento e impactam negativamente a produção das plantas cultivadas (MAJEWSKA *et al.*, 2015; GALVÃO *et al.*, 2014).

Conforme Dickson *et al.* (2007) as estruturas típicas dos FMA que são observadas no interior das raízes, tais como hifas (inter e intracelular), vesículas, arbúsculos e hifas enovelados ou não, têm funções diversas na simbiose. A presença ou ausência de algumas dessas estruturas é o que classificará o tipo morfológico predominante na espécie hospedeira. Segundo Smith; Smith (2011) estudos envolvendo a observação de estruturas comuns aos

FMA, como arbúsculos enovelados e hifas intracelulares, comprovaram que estas estão envolvidos no processo de transferências de nutrientes para a espécie vegetal colonizada apresentando, dessa maneira função semelhante aos arbúsculos típicos (*Arum*).

Chaudhry *et al.* (2012) avaliaram a colonização micorrízica arbuscular nas espécies de gramíneas *Cymbopogon jwarancusa* e *Veteviria zizanioides* e observaram a ocorrência de dois tipos de morfologia na colonização por FMA destas plantas. O tipo *Arum* foi o predominante nas raízes de *V. zizanioides*. Hifas intracelulares não foram observadas nas raízes de *C. jwarancusa*. Conforme os autores, vários fatores podem ter afetado o padrão morfológico da colonização tais como a espécie vegetal, abundância das estruturas no córtex, nível e extensão da colonização micorrízica, além de características químicas do próprio solo, temperatura, intensidade luminosa, tornando-se necessárias mais pesquisas para avaliar a influência desses fatores.

Silva Júnior; Cardozo (2006) constataram a presença dos tipos morfológicos *Paris* e intermediário ao avaliarem a colonização micorrízica em pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth) e cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* K. Schum) sob diferentes sistemas de manejo na Amazônia. Em todos os sistemas de manejo avaliados foi constatado o padrão intermediário para pupunha e o padrão *Paris* para cupuaçu. Como ambas as espécies têm origem amazônica, confirma-se a importância das espécies de FMA que estavam colonizando as raízes e também da espécie hospedeira na determinação da morfologia micorrízica predominante na planta.

Também vem sendo estudado pelos microbiologistas do solo a presença do fungo endofítico do tipo *dark septate* (DSEF), apesar de que o benefício dessa associação ainda não esteja totalmente esclarecido (DETMANN *et al.*, 2008). É possível que possa ocorrer tal qual como nos FMA, uma associação mutualística simbiótica entre as raízes das plantas e esses fungos, beneficiando o desenvolvimento das espécies vegetais associadas. Uma *et al.* (2012) realizou pesquisa para determinar a ocorrência de fungo micorrízico arbuscular (FMA) e do fungo endofítico do tipo *dark septate* em diversas espécies arbóreas e, pela primeira vez, foi constatado a ocorrência dupla desses fungos em 40% das espécies vegetais pesquisadas. Em relação ao padrão morfológico mais comum presente nas plantas, o tipo intermediário teve maior ocorrência nas árvores utilizadas no estudo. Segundo os autores, a presença dos fungos endofíticos, FMA e *dark septate* é economicamente importante e indica a possibilidade de explorar estas associações em programas de conservação das espécies vegetais citadas na referida pesquisa.

3.3 Fungos Micorrízicos Arbusculares em plantas frutíferas.

A fruticultura no Brasil é crescente, tornando o país um dos maiores produtores e exportadores de diversas frutas. Vários fatores bióticos e abióticos têm contribuído para o sucesso dessa atividade produtiva. No entanto, com o objetivo de otimizar a produção reduzindo o consumo de insumos como fertilizantes principalmente, tem-se dado destaque para a simbiose mutualística observada entre as raízes de plantas frutíferas com fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Essa associação beneficia o crescimento das plantas frutíferas, pois o FMA proporciona maior absorção de nutrientes para o hospedeiro, sobretudo em solos com baixo teor de nutrientes (FARIAS *et al.*, 2014).

Pesquisas têm sido desenvolvidas com diferentes plantas frutíferas inoculadas com FMA para estudar o efeito da inoculação no crescimento das espécies hospedeiras (SILVA *et al.*, 2008; LIMA *et al.*, 2011; VITORAZI FILHO *et al.*, 2012). O período ideal para ser realizada a inoculação com FMA seria no preparo das mudas, pois estas ao serem transplantadas para o local definitivo já estariam inoculadas com FMA (MELLO *et al.*, 2011).

Segundo Silva *et al.* (2004) a inoculação com FMA pode constituir importante ferramenta biotecnológica para melhorar a adaptação, reduzir o estresse do transplante, aumentar a absorção de nutrientes como o fósforo, beneficiando desta forma o desenvolvimento das mudas de espécies frutíferas.

Balota *et al.* (2011) avaliaram o manejo da adubação fosfatada em plantas de acerola (*Malpighia emarginata* D.C) inoculadas com diferentes espécies de FMA e observaram que a colonização micorrízica e a densidade de esporos diminuíram com o aumento dos níveis de P no solo. Com objetivo de analisar o crescimento das mudas de maracujazeiro-doce sob diferentes níveis de concentração de inóculo e diferentes espécies FMA foi conduzida pesquisa em condições controladas. O maracujazeiro-doce respondeu melhor a inoculação com *Gigaspora albida*, sendo bastante dependente dessa inoculação para obter crescimento satisfatório (SILVA *et al.*, 2009).

LESSA *et al.* (2013) comprovaram a importância da utilização FMA na produção de mudas de mamoeiro pois as plantas que estavam inoculadas com *Glomus fasciculatum* tiveram melhor desempenho de crescimento a partir da inoculação de 2 gramas de inóculo, com 20 esporos por grama. Conforme Ratke *et al.* (2011), a bananeira apresenta melhor desenvolvimento em associação com FMA, pois a inoculação de *Glomus clarum* e a adubação fosfatada em níveis adequados, favoreceram o crescimento de três cultivares de banana.

Almeida *et al.* (2014) comprovaram efeito positivo da inoculação com FMA e da

adição de biofertilizante a base de algas marinhas na produção de porta-enxerto de acerola, tendo esse manejo proporcionado um aumento no crescimento das plantas e menor tempo de produção do porta-enxerto de acerola. Conforme Soares *et al.* (2012) mudas de jenipapo inoculadas com as espécies *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus clarum* e *Glomus etunicatum* colonizaram mais intensamente o sistema radicular e promoveram melhor desenvolvimento das mudas de jenipapeiro em relação às inoculadas com outras espécies de FMA ou mesmo não inoculadas, demonstrando que quanto maior a compatibilidade funcional entre macro e microsimbionte maior será o desenvolvimento da planta hospedeira. Nunes *et al.* (2013) corroboram com esse resultado ao observarem maior eficiência simbiótica de isolados de FMA oriundos de pomares de pêsego quando comparados aos isolados de pomares de vinhedo no crescimento de plântulas de pêsego.

Experimento conduzido em casa de vegetação para avaliar o desenvolvimento de mudas de gravioleira (*Annona muricata* L.) inoculadas com três espécies de FMA e cultivadas em solo não-esterilizado com diferentes doses de fósforo (P) concluíram que a inoculação com FMA, aliada à adubação fosfatada, incrementa o crescimento e promove um melhor status nutricional de mudas de gravioleira que foram cultivadas em substrato não-estéril (SAMARÃO *et al.*, 2011).

3.4 A cultura do feijão de corda.

O feijão de corda, feijão caupi ou feijão macassar (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) constitui um dos principais componentes da dieta alimentar da população residente nas regiões Nordeste e Norte do Brasil, especialmente na zona rural.

Devido ao seu valor nutritivo, possui entre 23-25% de proteína e contém todos os aminoácidos essenciais, o feijão de corda é cultivado principalmente para a produção de grãos, secos ou verdes, visando o consumo humano *in natura*, na forma de conserva ou desidratado. Além disso, o caupi também é utilizado como forragem verde, feno, ensilagem, farinha para alimentação animal e, ainda, como adubação verde e proteção do solo (EMBRAPA, 2015).

A produção de feijão na safra 2014/2015 no Estado do Ceará aponta para um valor de 132,5 mil toneladas, com uma área plantada de 404,1 mil hectares e uma produtividade média de 328 kg/ha (CONAB, 2016a). Ressalta-se que o Estado do Ceará atravessa o quarto ano consecutivo de chuvas abaixo da média histórica, o que tem comprometido uma maior produção.

Pesquisas vêm sendo conduzidas no Brasil e no mundo avaliando a colonização micorrízica arbuscular por FMA nativos ou o efeito da inoculação com FMA no crescimento do feijão. Na associação micorrízica é importante a compatibilidade funcional entre a planta e o micro-organismo para ocorrer benefícios como maior crescimento e absorção de nutrientes, ao macrosimbionte. Johnson *et al.* (2015) analisando a rizosfera em áreas cultivadas com feijão de corda, através da extração do DNA total do solo, observaram uma grande diversidade de espécies de FMA colonizando as raízes do feijão, mas com uma prevalência da família Glomeraceae. Apesar da ausência de especificidade do hospedeiro na ocorrência da simbiose, houve uma associação preferencial entre algumas espécies de FMA e a cultivar de feijão de corda IT96D-610, o que poderá contribuir de forma positiva ao desenvolvimento da espécie hospedeira.

Fernandes *et al.* (2010) avaliaram a ocorrência de FMA em áreas cultivadas por agricultores familiares com diferentes espécies vegetais e observaram que na área cultivada com feijão os gêneros de FMA predominantes foram *Glomus* e *Gigaspora*. Como na área avaliada é comum a rotação de cultura, essa diversificação de espécies vegetais em áreas cultivadas é determinante na incidência quantitativa (número de espécies e de esporos) e qualitativa (diversidade de espécie) de fungos micorrízicos arbusculares no solo.

O efeito benéfico dos FMA na associação com feijoeiro vai além de uma maior absorção de nutrientes e desenvolvimento das plantas, pois em solo com problemas de salinidade, a colonização desses micro-organismos e de rizobactérias promotoras do crescimento de plantas (RPCP) conseguiram amenizar o efeito desfavorável do excesso de sais no crescimento do feijão (YOUNESI; MORADI, 2014).

Estudos envolvendo a dupla inoculação com FMA e rizóbio em feijoeiro também foram conduzidos com resultados positivos em relação a esse manejo biotecnológico, o qual pode estimular o desenvolvimento dos hospedeiros (BALLHORN *et al.*, 2014). Tajini *et al.* (2012) observaram efeito significativo da dupla inoculação (FMA e *Rhizobium tropici*) em relação ao crescimento de plantas de feijoeiro cultivadas em casa de vegetação. Acrescenta-se que a inoculação combinada FMA e rizóbio incrementou significativamente o teor de nitrogênio e fósforo na parte aérea das plantas quando comparadas às não inoculadas.

Andrade *et al.* (2013) avaliaram o efeito de biofertilizante em conjunto com bactérias diazotróficas e FMA no desenvolvimento do feijão de corda em condições controladas e de campo. Constataram efeito positivo dos FMA nativos em promover o crescimento do feijoeiro em condições de casa de vegetação e o biofertilizante adicionado ao solo no experimento de campo mostrou potencial para ser utilizado como fonte de nitrogênio

(N), fósforo (P) e potássio (K) podendo ser uma alternativa ao uso da fertilização mineral com NPK.

Taffouo *et al.* (2014) realizaram experimento em condições de casa de vegetação com o objetivo de avaliar a inoculação do FMA (*Funneliformis mosseae*) no crescimento do feijão de corda adubado com três níveis de fósforo (P). No tratamento com nível médio de P, a inoculação micorrízica influenciou positivamente nos parâmetros de crescimento e na absorção de P nas plantas de feijão, indicando efeito satisfatório da inoculação em promover o desenvolvimento da espécie vegetal. Hafez *et al.* (2013) conduziram experimento para investigar o desenvolvimento da doença causada por *Rizoctonia solani* e a resposta de defesa molecular de plantas de feijoeiro colonizado por cinco espécies de FMA. Resultados mostraram que a pré-colonização do feijão por FMA reduziu significativamente a severidade da doença causada pelo fungo e estimulou o mecanismo de induzir a ação de genes de defesa, incluindo uma alta expressão dos genes indutores da produção da quitinase e β -1,3-glucanase.

Recentemente, além do progresso no conhecimento dos efeitos de FMA e rizóbio sobre o crescimento do feijoeiro, pesquisas têm sido realizadas para investigar o papel de outros micro-organismos que poderiam incrementar o desenvolvimento do feijão, como, por exemplo, os micro-organismos eficientes (EM, sigla em inglês). Em estudo realizado para analisar o efeito dos EM, composto por uma mistura de bactérias, actinomicetos, fungos, nas plantas de feijão cultivadas num solo com alto níveis de sais, foi observado aumento da absorção de macro e micronutrientes em relação às plantas não inoculadas, sendo esse um mecanismo eficaz dessas plantas tratadas com EM para tolerar o estresse salino (TALAAT *et al.*, 2015; TALAAT, 2015).

3.5 A cultura do milho.

O milho (*Zea mays*) pertence à família botânica Poaceae, possuindo grande importância mundial devido à utilização de seus grãos na alimentação humana e animal. Embora no Brasil o uso milho na alimentação humana não seja grande, a utilização desse cereal com essa finalidade é relevante em regiões com baixa renda. Além disso, deve-se destacar o aspecto social do cultivo do milho, pois grande parte dos produtores são agricultores familiares que normalmente não dispõem de máquinas ou equipamentos próprios, não possuem grandes extensões de terras mas depende dessa produção para viver (CRUZ *et al.*, 2011).

A produção de milho no Estado do Ceará na safra 2014/2015 atingiu 151,4 mil toneladas de grãos, numa área plantada de 480,6 mil hectares (CONAB, 2016b). Essa produção obtida no Estado representa uma diminuição em torno de 50% em relação à safra anterior, devido principalmente ao quarto ano consecutivo de precipitação abaixo da média.

Uma das variáveis determinantes da produção é a obtenção e o fornecimento de nutrientes para a cultura, sendo que a dose desses nutrientes a ser aplicada é uma decisão importante no manejo da fertilização, considerando-se os aspectos econômicos e operacionais necessários (OKUMURA *et al.*, 2011).

O cultivo de milho transgênico tem se intensificado em todo o mundo nos últimos anos e pesquisas têm sido conduzidas com o objetivo de estudar o impacto dessas plantas modificadas geneticamente na diversidade das comunidades de FMA no solo em que são cultivadas (ZENG *et al.*, 2014; CHEKEE *et al.*, 2012; CHEKEE *et al.*, 2011). Campos *et al.* (2010) avaliaram diversos genótipos de milho quanto a resposta para a inoculação com FMA, sendo que alguns desses genótipos não foram responsivos a inoculação e outros apresentaram desenvolvimento superior aos das plantas não inoculadas, demonstrando o efeito positivo da inoculação.

O conhecimento sobre o efeito da adubação do solo no crescimento do milho e na população de FMA nativos também é importante, pois já é bem fundamentado que altos teores de nutrientes, especialmente de P, afetam essa associação simbiótica, diminuindo os benefícios dos FMA a planta hospedeira (TIAN *et al.*, 2013). O uso de fertilizantes fosfatados na agricultura brasileira aumenta a cada ano e, com isso, maior é o custo de produção, além de que o fósforo que será utilizado na fabricação do fertilizante é obtido de recursos minerais não renováveis. Por isso, o estudo envolvendo a simbiose entre micorriza arbuscular e raízes de espécies de gramíneas, entre as quais o milho, vem tornando-se importante nos últimos anos (SOUZA *et al.*, 2011). Todavia o cultivo de plantas inoculadas com FMA ou colonizadas por FMA nativos poderá tornar estas plantas mais eficientes na aquisição e mobilização de nutrientes do solo, principalmente P, diminuindo a dependência da planta por fertilizantes minerais fosfatados.

Considerando ainda que são poucos os estudos sobre a eficiência do uso de fósforo por genótipos de milho e que esse conhecimento é necessário para se cultivar variedades mais eficientes, pesquisas vêm sendo desenvolvidas com técnicas de biologia molecular objetivando caracterizar as populações de FMA que estariam presentes na raiz em áreas de cultivo de milho (GOMES *et al.*, 2010).

O estudo da eficiência dos FMA no crescimento do milho tem sido realizado em

diferentes condições ambientais e de solo. Lee *et al.* (2015), ao inocularem em plantas de milho FMA (*Glomus etunicatum*) e uma espécie de bactéria promotora do crescimento de plantas (*Methylobacterium oryzae* CBMB20) observaram aumentos significativos da biomassa seca e na absorção de nutrientes, mesmo quando as plantas foram cultivadas em condição de alta salinidade, constatando-se o efeito positivo desses micro-organismos no aumento do crescimento do milho sob estresse salino.

Angelini *et al.* (2012) avaliaram a colonização micorrízica, densidade de esporos e a diversidade de FMA na rizosfera de milho e soja cultivados sob plantio direto com diferentes plantas de coberturas. Os resultados mostraram que as maiores porcentagens de colonização e densidade de esporos ocorreram nas plantas de milho e, segundo os autores, isso ocorreu devido principalmente à maior eficiência fotossintética das gramíneas. Além disso, os autores acrescentam ainda que a cultura do milho proporciona aumentos na colonização micorrízica e na densidade de esporos de FMA devido à exsudação de compostos bioativos que estimulam a germinação dos esporos e o crescimento micelial (SIQUEIRA; KLAUBERG-FILHO, 2000).

REFERÊNCIAS

- ABD ALLAH, E. F.; ABEER, H.; ALQARAWI, A. A.; MONA, S. A. Alleviation of adverse impact of salt in *Phaseolus vulgaris* L. by arbuscular mycorrhizal fungi. **Pakistan Journal of Botany**, v. 47, n. 3, p. 1167-1176, 2015.
- ALGUACIL, M. M.; TORRECILLAS, E.; CARAVACA, F.; FERNÁNDEZ, D. A.; AZCÓN, R.; ROLDÁN, A. The application of an organic amendment modifies the arbuscular mycorrhizal fungal communities colonizing native seedlings grown in a heavy-metal-polluted soil. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 43, p. 1498-1508, 2011.
- ALMEIDA, J. P. N.; DANTAS, L. L. de G. R.; ARRAIS, I. G.; TOSTA, M. da S.; MENDONÇA, V. Fungo micorrízico arbuscular e extrato de algas no crescimento inicial de porta-enxerto de aceroleira. **Revista Ciências Agrárias**, v. 57, n. 1, p. 22-28, 2014.
- ALMEIDA, J. P. N.; LESSA, B. F. T.; PAIVA, E. P.; ARRAIS, I. G.; TOSTA, M. S.; MENDONÇA, V. Inoculação de fungo micorrízico e utilização de substratos comerciais para produção de plântula de mamoeiro (*Carica papaya* L.). **Revista de Ciências Agrárias**, v. 37, n. 3, p. 280-285, 2014.
- ANDRADE, M. M. M.; STAMFORD, N. P.; SANTOS, C. E. R. S.; FREITAS, A. D. S.; SOUSA, C. A.; LIRA JUNIOR, M. A. Effects of biofertilizer with diazotrophic bacteria and mycorrhizal fungi in soil attribute, cowpea nodulation yield and nutrient uptake in field conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 162, p. 374-379, 2013.
- ANGELINI, G. A. R.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; TORRES, J. L. R.; SAGGIN JÚNIOR, O. J. Colonização micorrízica, densidade de esporos e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em solo de Cerrado sob plantio direto e convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 115-130, 2012.
- BALLHORN, D. J.; YOUNGINGER, B. S.; KAUTZ, S. An aboveground pathogen inhibits belowground rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi in *Phaseolus vulgaris*. **BMC Plant Biology**, v. 14, p. 1-14, 2014.
- BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; STENZEL, N. M. C. Resposta da acerola à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares em solo com diferentes níveis de fósforo. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 166-175, 2011.
- BAN, Y.; XU, Z.; ZHANG, H.; CHEN, H.; TANG, M. Soil chemistry properties, translocation of heavy metals, and mycorrhizal fungi associated with six plant species growing on lead-zinc mine tailings. **Annals of Microbiology**, v. 65, n. 1, pp 503-515, 2015.
- CABRAL, L.; SOARES, C. R. F. S.; GIACHINI, A. J.; SIQUEIRA, J. O. Arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of contaminated areas by trace elements: mechanisms and major benefits of their applications. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 31, n. 11, p. 1655-1664, 2015.
- CAMPOS, D. T. S.; ANDRADE, J. A. C.; CASSIOLATO, A. M. R. Crescimento e micorrização de genótipos de milho em casa de vegetação. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 555-562, 2010.

CHAUDHRY, M. S.; SAEED, M.; KHAN, A. A.; SIAL, N.; JAMIL, M. Morphological diversity of arbuscular mycorrhiza colonizing two aromatic grasses *Vetiveria zizanioides* and *Cymbopogon jwarancusa*. **Pakistan Journal of Botany**, v. 44, n. 4, p. 1479-1485, 2012.

CHEEKE, T. E.; PACE, B. A.; ROSENSTIEL, T. N.; CRUZAN, M. B. The influence of fertilizer level and spore density on arbuscular mycorrhizal colonization of transgenic Bt 11 maize (*Zea mays*) in experimental microcosms. **Microbiology Ecology**, v. 75, n. 2, p. 304–312, 2011.

CHEEKE, T. E.; ROSENSTIEL, T. N.; CRUZAN, M. B. Evidence of reduced arbuscular mycorrhizal fungal colonization in multiple lines of Bt maize. **American Journal of Botany**, v. 99, n. 4, p. 700–707. 2012.

CONAB. Companhia Nacional de abastecimento. **A produção de feijão no Ceará.**

Disponível em:

<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 20 jan. 2016a.

CONAB. Companhia Nacional de abastecimento. **A produção de milho no Ceará.**

Disponível em:

<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 19 jan. 2016b.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; PIMENTEL, M. A. G. COELHO, A. M.; KARAM, D.; CRUZ, I.; GARCIA, J. C.; MOREIRA, J. A. A.; OLIVEIRA, M. F. GONTIJO NETO, M. M.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; VIANA, P. A.; MENDES, S. M.; COSTA, R. V. ALVARENGA, R. C.; MATRANGOLO, W. J. R. N. **Produção de Milho na Agricultura Familiar**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 42 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 159)

DETMANN, K. S. C.; DELGADO, M. N.; REBELLO, V. P. A.; LEITE, T. de S.; AZEVEDO, A. A.; KASUYA, M. C. M.; ALMEIDA, A. M. de. Comparação de métodos para a observação de fungos micorrízicos arbusculares e endofíticos do tipo *Dark septate* em espécies nativas de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1883-1890, 2008.

DICKSON, S. The *Arum-Paris* continuum of mycorrhizal symbioses. **New Phytologist**, v. 163, p. 187-200, 2004.

DICKSON, S.; SMITH, F. A.; SMITH, S. E. Structural differences in arbuscular mycorrhizal symbioses: more than 100 years after Gallaud, where next? **Mycorrhiza**, v.17, n. 5, p. 375–393, 2007.

EMBRAPA MEIO-NORTE. **Cultivo do Feijão-Caupi, importância econômica**. Disponível em:<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijoa/FeijãoCaupi/index.htm>>. Acesso em: 22 set. 2015.

FARIAS, D. da H.; PINTO, M. A. B.; CARRA, B.; SCHUCH, M. W.; SOUZA, P. V. D. de. Desenvolvimento de mudas de mirtilheiro inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares.

Revista Brasileira de Fruticultura, v. 36, n. 3, p. 655- 663, 2014.

FERNANDES, S. G.; MACHADO, C. T. de T.; LOPES, V.; VILELA, M. de F.; FERNANDES, L. A. **Fungos micorrízicos arbusculares em áreas de agricultores familiares da comunidade Água Boa 2, Rio Pardo de Minas, MG**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. 28 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 296).

FERREIRA, G. M. dos R.; MELLONI, R.; SILVA, L. F. de O. da; MARTINS, F. B.; GONÇALVES, E. D. Fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento de mudas de oliveira (*Olea europaea* L.) cultivadas no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 39, n. 2, p. 361-366, 2015.

GALVÃO, M. L.; SIQUEIRA, K. A. de; CUNHA, C. N. da; SOARES, M. A. Associação entre fungos e sistema radicular de plantas do Pantanal Matogrossense. **Global Science and Technology**, v. 7, n. 2, p. 56-62, 2014.

GERLACH, N.; SCHMITZ, J.; POLATAJKO, A.; SCHLÜTER, U.; FAHNENSTICH, H.; WITT, S.; FERNIE, A. R.; UROIC, K.; SCHOLZ, U.; SONNEWALD, U.; BUCHER, M. An integrated functional approach to dissect systemic responses in maize to arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Plant, Cell and Environment**, v. 38, n. 8, p. 1591–1612, 2015.

GOMES, E. A.; OLIVEIRA, F. A. S.; LANA, U. G. P.; SOUZA, F. A. de; **Análise Molecular de Fungos Micorrízicos Arbusculares em Raízes de Milho**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 23 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 29).

HAFEZ, E. E.; ABDEL-FATTAH, G. M.; EL-HADDAD, S. A.; RASHAD, Y. M. Molecular defense response of mycorrhizal bean plants infected with *Rhizoctonia solani*. **Annals of Microbiology**, v. 63, n. 3, p. 1195–1203, 2013.

HIPPLER, F. W. R.; MOREIRA, M.; DIAS, N. M. S.; HERMANN, E. R. Fungos micorrízicos arbusculares nativos e doses de fósforo no desenvolvimento do amendoim RUNNER IAC 8861. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 605-610, 2011.

JALONEN, R.; TIMONEN, S.; SIERRA, J.; NYGREN, P. Arbuscular mycorrhizal symbioses in a cut-and-carry forage production system of legume tree *Gliricidia sepium* and fodder grass *Dichanthium aristatum*. **Agroforestry Systems**, v. 87, n. 2, p. 319-330, 2013.

JOHNSON, J. M.; HOUNGNANDAN, P.; KANE, A.; CHATAGNIER, O.; SANON, K. B.; NEYRA, M.; VAN TUINEN, D. Colonization and molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with the rhizosphere of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in Benin (West Africa): an exploratory study. **Annals of Microbiology**, v. , p. 1-15, 2015.

LEE, Y.; KRISHNAMOORTHY, R.; SELVAKUMAR, G.; KIM, K.; SA, T. Alleviation of salt stress in maize plant by co-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and *Methylobacterium oryzae* CBMB20. **Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry**, v. 58, n. 4, p. 533–540, 2015.

LEHMANN, A.; RILLIG, M. C. Arbuscular mycorrhizal contribution to copper, manganese

and iron nutrient concentrations in crops - A meta-analysis. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 81, p. 147-158, 2015.

LESSA, B. F. da T.; ALMEIDA, J. P. N. de; PAIVA, E. P. de; OLIVEIRA, D. M. de; TOSTA, M. da S.; MENDONÇA, V. Inoculação de fungo micorrízico em sementes de dois acessos de mamoeiro para produção de mudas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, n.2, p.236-240, 2013.

LIMA, K. B.; MARTINS, M. A.; FREITAS, M. S. M.; OLIVARES, F. L. Fungos micorrízicos arbusculares, bactérias diazotróficas e adubação fosfatada em mudas de mamoeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 3, p. 932-940, 2011.

LIU, H.; YUAN, M.; TAN, S.; YANG, X.; LAN, Z.; JIANG, Q.; YE, Z.; JING, Y. Enhancement of arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus versiforme*) on the growth and Cd uptake by Cd-hyperaccumulator *Solanum nigrum*. **Applied Soil Ecology**, v. 89, p. 44-49, 2015.

LIU, S.; GUO, X.; FENG, G.; MAIMAITIALI, B.; FAN, J.; HE, X. Indigenous arbuscular mycorrhizal fungi can alleviate salt stress and promote growth of cotton and maize in saline fields. **Plant Soil**, v. 398, n. 1, p. 195–206, 2016.

MACHINESKI, O.; BALOTA, E. L.; SOUZA, J. R. P. de. Resposta da mamoneira a fungos micorrízicos arbusculares e a níveis de fósforo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, Suplemento 1, p. 1855-1862, 2011.

MAJEWSKA, M. L.; BŁASZKOWSKI, J.; NOBIS, M.; ROLA, K.; NOBIS, A.; LAKOMIEC, D.; CZACHURA, P.; ZUBEK, S. Root-inhabiting fungi in alien plant species in relation to invasion status and soil chemical properties. **Symbiosis**, v. 65, n. 3, p. 101–115, 2015.

MAU, A. E.; UTAMI, S. R. Effects of biochar amendment and arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on availability of soil phosphorus and growth of maize. **Journal of Degraded and Mining Lands Management**. v. 1, n. 2, p. 69-74, 2014).

MELLO, A. H. de; SANTOS, E. R. dos; NUNES, J. S.; KNOECHELMANN, C. M.; BEZERRA, J.; MICHELOTTI, F. Produção de mudas de espécies arbóreas inoculadas com fungos micorrízicos para atuar na reabilitação de áreas impactadas pela extração de argila. **Agroecossistemas**, v. 3, n. 1, p. 78-82, 2011.

MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. **Impacto do sistema de plantio direto na diversidade de espécies de fungos micorrízicos nativos em solos do cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. 4 p. (Embrapa Cerrados. Comunicado Técnico, 135).

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

NUNES, J. L. da; SOUZA, P. V. D. de; MARODIN, G. A. B.; FACHINELLO, J. C. Desenvolvimento de plântulas de pessegueiro 'okinawa' inoculadas com micorrizas arbusculares isoladas de pomares de pessegueiros e de vinhedos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 3, p. 845-852, 2013.

NYAGA, J.; JEFWA, J. M.; MUTHURI, C. W.; MATIRU, V. N.; WACHIRA, P. M.; OKOTH, S. A. Arbuscular mycorrhizal fungi with different soil fertility amendment practices in agricultural landscapes of Kenyan highlands. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 103, n. 2, p. 229–240, 2015.

OKUMURA, R. S.; MARIANO, D. C.; ZACCHEO, P. V. C. Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 4, n. 2, p. 226–244, 2011.

OLIVEIRA, J. J. F.; ALIXANDRE, T. F. Parâmetros biométricos de mudas de sabiá micorrizadas sob níveis de fósforo em Latossolo Amarelo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 74, p. 159-167, 2013.

PAGANO, M. C.; UTIDAB, M. K.; GOMES, E. A.; Ivanildo E. MARRIEL, I. E.; CABELLO, M. N.; SCOTTI, M. R. Plant-type dependent changes in arbuscular mycorrhizal communities as soil quality indicator in semi-arid Brazil. **Ecological Indicators**, v. 11, n. 2, p. 643–650, 2011.

RATKE, R. F.; CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, R. D. de; SANTOS, S. C.; SAGGIN JÚNIOR, O. J. Desenvolvimento inicial de mudas de cultivares de banana tipo chifre, inoculadas com fungo micorrízico arbuscular. **Global Science and Technology**, v. 4, n. 3, p. 66 – 74, 2011.

REDECKER, D.; SCHÜBLER, A.; STOCKINGER, H.; STÜRMER, S. L.; MORTON, J. B.; WALKER, C. An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomeromycota*). **Mycorrhiza**, v. 23, n. 7, p. 515-531, 2013.

RITER NETTO, A. F.; FREITAS M. S. M.; MARTINS, M. A.; CARVALHO, A. J. C.; VITORAZI FILHO, J. A. Efeito de fungos micorrízicos arbusculares na bioprodução de fenóis totais e no crescimento de *Passiflora alata* Curtis. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 16, n. 1, p. 1-9, 2014.

SAMARÃO, S. S.; RODRIGUES, L. A.; MARTINS, M. A.; MANHÃES, T. N.; ALVIM, L. A. da M. Desempenho de mudas de gravioleira inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares em solo não-esterilizado, com diferentes doses de fósforo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n. 1, p. 81-88, 2011.

SAMPAIO, D. B.; MENDES FILHO, P. F.; MASCENA, A. M.; GOMES, V. F. F.; GUIMARÃES, F. V. A. Colonização micorrízica arbuscular e tolerância ao mal-do-Panamá em mudas de banana-maçã. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 462-469, 2012.

SILVA JUNIOR, J. P.; CARDOSO, E. J. B. N. Micorriza arbuscular em cupuaçu e pupunha cultivados em sistema agroflorestal e em monocultivo na Amazônia Central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 5, p. 819-825, 2006.

SILVA, D. K. A.; SILVA, F. S. B.; YANO-MELO, A. M.; MAIA, L. C. Uso de vermicomposto favorece o crescimento de mudas de gravioleira (*Annona muricata* L. ‘Morada’) associadas a fungos micorrízicos arbusculares. **Acta botânica brasílica**, v. 22, n. 3, p. 863-869, 2008.

SILVA, M. A.; CAVALCANTE, U. M. T.; SILVA, F. S. B. da; SOARES, S. A. G.; MAIA, L. C. Crescimento das mudas de maracujazeiro-doce (*Passiflora alata* Curtis) associadas a fungos micorrízicos arbusculares (Glomeromycota). **Acta Botanica Brasilica**, v. 18, n. 4, p. 981-985, 2004.

SILVA, T. F. B.; SANTOS, A. B. da S.; ROZAS, C. E. de O.; SANTOS, A. C. dos; PAIVA, L. M.; Influência da densidade de fungos micorrízicos arbusculares na produção de maracujazeiro-doce (*Passiflora alata* Curtis). **Revista Caatinga**, v. 22, n. 4, p. 1-6, 2009.

SIQUEIRA, J. O.; KLAUBERG-FILHO, O. Micorrizas arbusculares: a pesquisa brasileira em perspectiva. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). I Tópicos em Ciências do Solo. Viçosa, SBCS, 2000. p. 235-259.

SMITH, F. A.; SMITH, S. E. Structural diversity in (vesicular) arbuscular mycorrhizal symbioses. **New Phytologist**, v. 137, p. 373-388, 1997.

SMITH, S. E.; SMITH, F. A. Roles of Arbuscular Mycorrhizas in Plant Nutrition and Growth: New Paradigms from Cellular to Ecosystem Scales. **The Annual Review of Plant Biology**, v. 62, p. 227-50, 2011.

SMITH, S.E.; READ, D.J. **Mycorrhizal symbiosis**. 3rd ed. Califórnia: Academic Press, 2008. 605p.

SOARES, A. C. F.; SOUSA, C. da S.; GARRIDO, M. da S.; LIMA, F. de S. Fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e nutrição de mudas de jenipapeiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 1, p. 47-54, 2012.

SOUSA, C. da S.; MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. de S. B.; LIMA, F. de S. Glomalina: características, produção, limitações e contribuição nos solos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, suplemento 1, p. 3033-3044, 2012.

SOUZA, F. A. de; GOMES, E. A.; VASCONCELOS, M. J. V. de; SOUSA, S. M. de. **Micorrizas Arbusculares: Perspectivas para Aumento da Eficiência de Aquisição de Fósforo (P) em Poaceae – Gramíneas**. Sete Alagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 30 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 134).

SOUZA, V. C. de; SILVA, R. A. da; CARDOSO, G. D.; BARRETO, A. F. Estudos sobre fungos micorrízicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.612-618, 2006.

TAFFOUO, V. D.; NGWENE, B.; AKOA, A.; FRANKEN, P. Influence of phosphorus application and arbuscular mycorrhizal inoculation on growth, foliar nitrogen mobilization, and phosphorus partitioning in cowpea plants. **Mycorrhiza**, v. 24, p. 361-368, 2014.

TAJINI, F.; TRABELSI, M.; DREVON, J. J. Combined inoculation with *Glomus intraradices* and *Rhizobium tropici* CIAT899 increases phosphorus use efficiency for symbiotic nitrogen fixation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 19, n. 2, p. 157-163, 2012.

TALAAT, N. B. Effective microorganisms modify protein and polyamine pools in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants grown under saline conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 190, p.1–10, 2015.

TALAAT, N. B.; GHONIEM, A. E.; ABDELHAMID, M. T.; SHAWKY, B. T. Effective microorganisms improve growth performance, alter nutrients acquisition and induce compatible solutes accumulation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants subjected to salinity stress. **Plant Growth Regulation**, v. 75, n. 1, p. 281–295, 2015.

TALAATA, N. B.; T. SHAWKY, B. T. Protective effects of arbuscular mycorrhizal fungi on wheat (*Triticum aestivum* L.) plants exposed to salinity. **Environmental and Experimental Botany**, v. 98, p. 20–31, 2014.

TIAN, H.; DRIJBERC, R. A.; ZHANG, J. L.; LI, X. L. Impact of long-term nitrogen fertilization and rotation with soybean on the diversity and phosphorus metabolism of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi within the roots of maize (*Zea mays* L.). **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 164, p. 53– 61, 2013.

UMA, E.; SATHIYADASH, K.; LOGANATHAN, J.; MUTHUKUMAR, T. Tree species as hosts for arbuscular mycorrhizal and dark septate endophyte fungi. **Journal of Forestry Research**, v. 23, n. 4 p. 641–649, 2012.

VITORAZI FILHO, J. A.; LIMA, K. B.; FREITAS, M. S. M.; MARTINS, M. A.; OLIVARES, F. L. Crescimento de mudas de maracujazeiro-doce inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e bactérias diazotróficas sob diferentes doses de fósforo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 2, p. 442-450, 2012.

YOUNESI, O.; MORADI, A. Effects of plant growth-promoting rhizobacterium (pgpr) and arbuscular mycorrhizal fungus (AMF) on antioxidant enzyme activities in salt-stressed bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agriculture (Poľnohospodárstvo)**, v. 60, n. 1, p. 10–21, 2014.

ZENG, H.; TAN, F.; ZHANG, Y.; FENG, Y.; SHU, Y.; WANG, J. Effects of cultivation and return of *Bacillus thuringiensis* (Bt) maize on the diversity of the arbuscular mycorrhizal community in soils and roots of subsequently cultivated conventional maize. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 75, p. 254-263, 2014.

ZHAO, R.; GUO, W.; BI, N.; GUO, J.; WANG, L. ZHAO, J.; ZHANG, J. Arbuscular mycorrhizal fungi affect the growth, nutrient uptake and water status of maize (*Zea mays* L.) grown in two types of coal mine spoils under drought stress. **Applied Soil Ecology**, v. 88, p. 41–49, 2015.

ESTUDO 1 - PADRÃO MORFOLÓGICO DE COLONIZAÇÃO POR FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E ATIVIDADE MICROBIANA EDÁFICA EM CULTIVOS DE ACEROLA.

RESUMO

O cultivo da aceroleira no Nordeste brasileiro tem apresentado produção crescente devido, principalmente, a planta estar bem adaptada às condições climáticas regionais e de solo. A associação entre Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) e espécies vegetais pode ser benéfica para o cultivo uma vez que poderá aumentar a sobrevivência da muda no campo, o crescimento e desenvolvimento através de maior absorção de água e nutrientes, além de facilitar o estabelecimento da planta em condições de estresses ambientais. Foi realizado um estudo com o objetivo de avaliar o padrão morfológico de colonização por FMA, bem como a atividade microbiológica do solo cultivado com plantas de acerola em áreas de agricultores familiares. Foram coletadas raízes de acerola e amostras de solo de quatro áreas produtivas em Maranguape-CE para a realização das seguintes análises: colonização micorrízica arbuscular, densidade de esporos, respiração basal do solo, carbono da biomassa microbiana do solo e quociente metabólico. As raízes de acerola apresentaram de forma predominante o padrão morfológico *Paris*, com a presença de hifas intracelulares e vesículas. Foi constatada, a partir da extração de esporos de FMA do solo, a predominância dos gêneros, *Glomus* sp. e *Scutelospora* sp, sendo que o primeiro foi observado com maior frequência nas quatro áreas em que foram coletadas amostras de solo. A atividade microbiana foi semelhante nas quatro áreas de coleta, porém a área 4 apresentou maiores valores de densidade de esporos e colonização micorrízica devido provavelmente ao menor teor de P no solo.

Palavras-chaves: *Malpighia emarginata* D.C.; agricultura familiar; micorriza.

ABSTRACT

The Barbados cherry cultivation in northeastern Brazil has shown increased production due mainly to plant is well adapted to regional climate and soil conditions. The association between arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and plant species can be beneficial for cultivation as it may increase the survival of the changes in the field, growth and development through increased absorption of water and nutrients, and facilitate the establishment of the plant under conditions of environmental stress. A study was conducted to evaluate the morphological pattern of colonization by AMF, as well as the microbiological activity of the soil cultivated with acerola plants in areas of family farmers. Roots were collected from barbados cherry and soil samples from four production areas in Maranguape-CE to perform the following analyzes: mycorrhizal root colonization, spore density, basal soil respiration, carbon of microbial biomass and metabolic quotient. The roots of barbados cherry showed predominant form the morphological pattern *Paris*, with the presence of intracellular vesicles and hyphae. It has been found, from the extraction of soil AMF spores, the predominance of genus, *Glomus* sp. and *Scutelospora* sp, the first of which was observed more frequently in the four areas where soil samples were collected. Microbial activity was similar in the four areas of collection, however the area 4 showed higher spore density and mycorrhizal colonization probably due to the lower P content in the soil.

Key words: *Malpighia emarginata* D.C.; family farming; mycorrhizal.

1. INTRODUÇÃO

O cultivo da acerola no Brasil cresceu nos últimos anos sendo a espécie cultivada praticamente em todas as regiões do país, seus frutos comercializados principalmente in natura e como polpa congelada. Por ser uma planta rústica e considerada como de elevada resistência a seca e pouca resistência ao frio, o Nordeste Brasileiro, por suas condições de solo e clima, é a região do país onde a acerola melhor tem se adaptado (FIGUEIREDO NETO *et al.*, 2014).

A aceroleira pode ser propagada por via sexual (sementes) e por via assexual (enxertia e estaquia), sendo que a propagação por sementes proporciona grande desuniformidade entre plantas, com reflexos negativos na produtividade e qualidade dos frutos. Em geral, ocorrem quatro períodos de frutificação, embora, no Nordeste, a utilização da irrigação, favorece a produção praticamente durante o ano inteiro. (ADRIANO; LEONEL, 2012; RITZINGER; RITZINGER, 2011).

Atualmente, com o aumento da demanda de consumo nos mercados interno e externo, vários estudos com acerola têm sido conduzidos buscando selecionar plantas cujos frutos apresentem altos teores de vitamina C, antocianina e compostos fenólicos que podem trazer benefícios a saúde da população que consome esta fruta e seus produtos derivados (CUNHA NETO *et al.*, 2012; LIMA *et al.*, 2015; PAZ *et al.*, 2015).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) formam associação mutualista com a maioria das plantas vasculares. Nessa interação, a planta fornece substrato energético ao fungo e este, através do micélio externo, absorve nutrientes do solo, especialmente os de baixa mobilidade como fósforo e cobre, e os transfere à planta hospedeira, proporcionando maior crescimento à espécie vegetal (GENRE; BONFANTE 2010). A simbiose também confere à planta que passa pela fase de viveiro maior tolerância a estresses ambientais de natureza biótica e abiótica que podem ocorrer no transplântio de mudas para o campo. Assim, a micorrização das mudas favorece o seu crescimento inicial no viveiro, possibilitando maior desenvolvimento e nutrição das plantas no campo (FERREIRA *et al.*, 2015; LACERDA *et al.*, 2011).

A acerola, assim como outras frutíferas, forma associação com os FMA e essa simbiose poderá proporcionar para a planta aumento na absorção de nutrientes e água, além de beneficiá-la na fase de muda. A inoculação com FMA, conseqüentemente, se constitui numa importante prática de manejo no cultivo de plantas, principalmente para aquelas que passam pela fase de formação de mudas em viveiros, como as plantas frutíferas e arbóreas,

contribuindo para um maior percentual de sobrevivência destas no campo.

A morfologia das estruturas endofíticas das micorrizas endotróficas tem sido classificada em dois tipos, *Arum* e *Paris*, denominações relacionadas às espécies vegetais em que foram descritos pela primeira vez, *Arum maculatum* e *Paris quadrifolia*, respectivamente. O tipo *Paris* apresenta hifas intracelulares enoveladas, sendo comum em plantas florestais, enquanto no tipo *Arum* são observadas hifas intercelulares, presentes principalmente em plantas herbáceas cultivadas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Existe ainda um tipo morfológico chamado de “intermediário”, o qual apresenta estruturas de ambos os tipos, *Arum* e *Paris*. O que determina um tipo ou outro de morfologia ainda não está esclarecido, havendo evidências da importância tanto da espécie vegetal como da espécie de fungo micorrízico que forma a associação simbiótica (DICKSON, 2004; MUTHURAJA *et al.*, 2014).

Considerando esse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar o padrão morfológico de colonização por FMA, bem como a atividade microbiológica do solo cultivado com plantas de acerola em áreas de agricultores familiares no estado do Ceará.

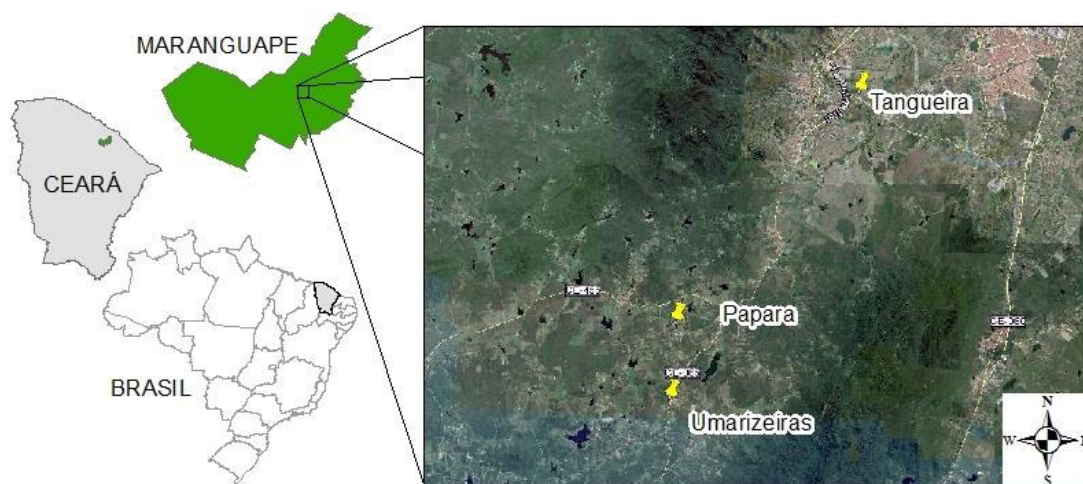
2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo pertence ao município de Maranguape-CE, situado nas seguintes coordenadas geográficas 3° 53' 27" S e 34° 41' 08" W. A classificação climática segundo Koppen é do tipo Aw', com pluviosidade e temperatura média anual de 1378 mm e 25°C, respectivamente (IPECE, 2006; MAGALHÃES; ZANELLA, 2011). As maiores precipitações ocorrem na quadra chuvosa predominante nos meses de fevereiro a maio.

Foram selecionadas quatro áreas de agricultores familiares com cultivo de acerola (Figura 1).

A Área 1 está localizada na sede do município, localidade de Tangureira; as Áreas 2 e 3 no distrito de Umarizeiras; e a Área 4 no distrito de Papara. Em cada área foram escolhidos aleatoriamente 20 pontos para coleta de solo e raízes das plantas, na profundidade de 0-20 cm (Figura 1).

Figura 1. Áreas de coletas de solos no município de Maranguape-Ce.



Fonte: Google Earth

As características das áreas podem ser observadas na tabela 1.

Tabela 1. Histórico das áreas de cultivos de acerola em Maranguape-Ce.

	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4
Idade da planta (anos)	3,0	3,0	3,0	2,0
Espaçamento (metros)	3 x 4	5 x 5	5 x 5	5 x 5
Período da coleta	Abril/2014	Maior/2014	Maior/2014	Junho/2014

As amostras foram transportadas para o Laboratório de Microbiologia do Solo do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará (UFC), em seguida, tamisadas em malha de 2 mm para os procedimentos de análises físicas, químicas e microbiológicas. As amostras de solo para determinação da biomassa e atividade microbiana foram armazenadas em sacos de polietileno sob refrigeração ($\pm 4^{\circ}$ C), enquanto que as amostras com raízes, depois de enxaguadas em água corrente para retirada do solo e da matéria orgânica, colocaram-se em solução alcoólica à 70% e refrigeradas ($\pm 4^{\circ}$ C) até o momento da análise.

Uma amostra composta da mistura de solos dos 20 pontos de coleta de cada área foi enviada ao Laboratório de Rotina de Análise de Solo e Água da UFC para a caracterização

física e química, seguindo os referenciais metodológicos da Embrapa (1997) (Tabela 2).

Tabela 2. Atributos físicos e químicos da camada superficial (0-20 cm) dos solos coletados nas quatro áreas no município de Maranguape-CE.

	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4
Classificação textural	Franco arenosa	Franco arenosa	Franco arenosa	Franco argila arenosa
pH (água)	7,7	5,6	6,1	5,9
CE (dS/m)	0,56	0,31	0,45	0,33
Ca ²⁺ + Mg ²⁺ (cmol _c /kg)	6,70	2,60	3,60	3,80
Na ⁺ (cmol _c /kg)	0,71	0,50	0,19	0,40
K ⁺ (cmol _c /kg)	0,35	0,20	0,19	0,28
H ⁺ + Al ³⁺ (cmol _c /kg)	0,83	3,30	2,64	1,82
V (%)	91,0	50,0	62,0	71,0
N (g/kg)	0,64	0,40	0,45	0,74
MO (g/kg)	10,34	6,83	8,28	12,0
P (mg/kg)	81,0	40,0	44,0	24,0

CE: condutividade elétrica; MO: matéria orgânica;

Os tratos culturais e manejos realizados pelos agricultores estão descritos na Tabela 3. A adubação orgânica nas áreas é realizada através da aplicação de esterco bovino curtido, na proporção de 10 ou 5 litros por planta. A adubação mineral com ureia é feita com o objetivo de complementar a adubação orgânica. A cobertura morta feita pelos agricultores nas áreas de cultivo da acerola, utiliza as plantas de crescimento espontâneo após terem sido cortadas por capinação (áreas 1, 2 e 3) ou roçadeira manual (área 4). A irrigação por aspersão é realizada no período seco, compreendido pelos meses de junho a janeiro. No entanto, o estado do Ceará teve o quarto ano consecutivo de chuvas abaixo da média histórica, fazendo com que a irrigação, mesmo no período seco, seja reduzida pela diminuição da quantidade de água nos reservatórios ou poços profundos existentes nas propriedades.

Tabela 3. Tratos culturais e principais manejos realizados pelos agricultores familiares nas quatro áreas localizadas em Maranguape-CE.

Área 1	Área 2	Área 3	Área 4
Adubação do solo			
Adubação orgânica/	Adubação orgânica/	Adubação orgânica/	Adubação orgânica/
Adubação mineral com ureia.	Adubação mineral com ureia.	Adubação mineral com ureia.	Adubação mineral com ureia.
Método para combater as plantas de crescimento espontâneo.			
Capinação	Capinação	Capinação	Roçadeira manual
Presença de cobertura morta			
Sim	Sim	Sim	Sim
Irrigação			
Aspersão	Aspersão	Aspersão	Aspersão

A coloração das raízes foi realizada segundo método adaptado de Koske; Gemma (1989). Fragmentos de raízes foram clareadas por imersão em uma solução de KOH 10% e levadas ao banho-maria (50°C) por 60 minutos. A seguir, as raízes foram imersas em uma solução de HCl 1% (ácido clorídrico) por 10 minutos. Após remoção do HCl, as raízes foram colocadas numa solução de glicerol acidificado contendo azul de trípiano em banho-maria (50° C) por 60 minutos. As raízes coradas foram mantidas em geladeira a 4° C, imersas em água destilada, por pelo menos sete dias antes de terem sido observadas.

Para cada amostra coletada, 10 fragmentos de raízes foram distribuídos paralelamente em lâminas de microscopia e observadas em aumento de 400x ao microscópio ótico. A porcentagem de colonização das raízes pelos FMA foi avaliada pelo método de McGonigle *et al.* (1990) em microscópio ótico com aumento de 400 vezes. Os segmentos que apresentaram vesículas, arbúsculos ou hifas características, por vezes ligadas a esporos, foram considerados colonizados e os resultados expressos em porcentagem de colonização do sistema radicular. A partir da identificação das estruturas de FMA observadas nas raízes após o procedimento da coloração radicular, foi classificado o padrão morfológico de micorrização em “*Arum*”, “*Paris*” ou “intermediário”, conforme Dickson (2004).

A densidade de esporos de FMA foi estimada em sub-amostras de 100 g de solo a partir das amostras coletadas nos 20 pontos em cada pomar pelo peneiramento por via úmida (GEDERMANN; NICHOLSON, 1963). Os esporos retidos nas peneiras de abertura de malha

0,044 mm, 0,0106 mm e 0,250 mm foram transferidos para placas de Petri, agrupados por morfotipos e quantificados em placa canaletada sob estereomicroscopia (40x). Para o agrupamento dos morfotipos foram realizadas preparações microscópicas a fresco com lactoglicerol com o objetivo de se observar as semelhanças morfológicas ao descrito por Schenck; Perez (1990) e INVAM (2015).

A respiração basal do solo (RBS) foi determinada pela quantificação do dióxido de carbono (CO₂) liberado no processo de respiração microbiana a partir de 50g de solo acondicionados em vidro com fechamento hermético. A RBS foi estimada após 8 dias de pré-incubação na ausência da luz com a finalidade do restabelecimento do equilíbrio biológico decorrente da perturbação sofrida durante a amostragem do solo e preparo do ensaio respirométrico. A umidade das amostras de solo foi ajustada a 70% da capacidade de campo conforme adaptação de Mendonça; Matos (2005). A análise foi realizada durante 10 dias consecutivos e, durante esse período, calculou-se diariamente quantidade de CO₂ liberada (mg de C-CO₂ dia⁻¹/100 cm³ de solo).

O carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS) foi determinado pelo método da fumigação-extração (VANCE *et al.*, 1987), utilizando-se, para a lise microbiana, 1 mL de clorofórmio em amostras incubadas durante 24 horas. A extração foi realizada através de 80 mL de K₂SO₄ (0,5 mol L⁻¹) adicionado ao solo e titulação com sulfato ferroso amoniacal (0,03 mol L⁻¹) segundo a descrição de Mendonça; Matos (2005).

O quociente metabólico (qCO₂), conforme proposto por Anderson; Domsch (1993) foi calculado pela razão entre a taxa de respiração basal do solo e o carbono da biomassa microbiana do solo.

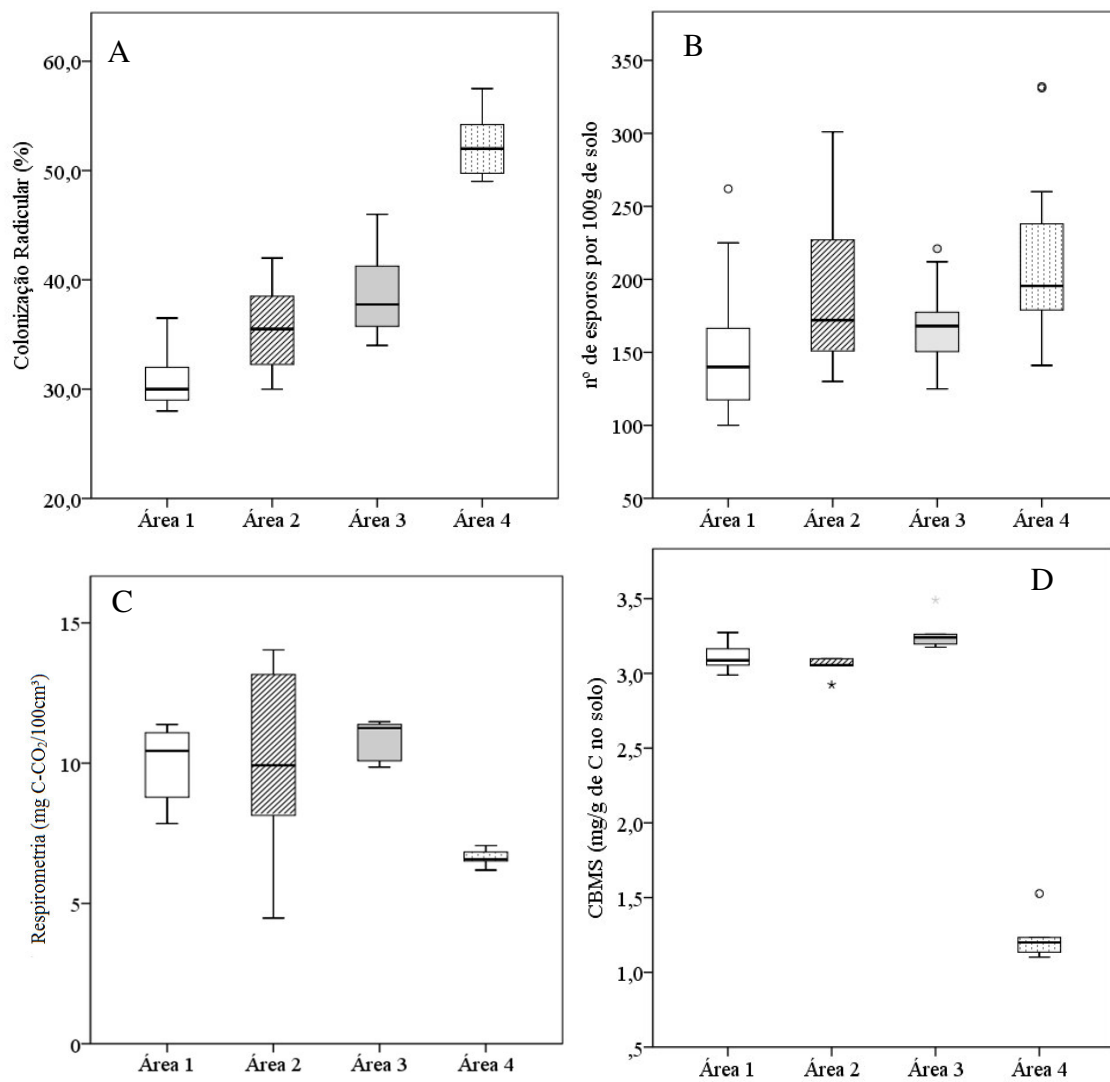
Foi utilizado o software estatístico SPSS Statistics versão 20 para a realização da análise descritiva dos parâmetros analisados no estudo. Foram calculados: mínimo, média, máximo, desvio-padrão. A dispersão dos dados em torno da média foi calculada por meio do coeficiente de variação (CV) e classificada segundo Wilding; Drees (1983) como: baixa para $CV \leq 15\%$; moderada para $15\% < CV \leq 35\%$; e alta para $CV > 35\%$. Para testar a hipótese de normalidade da distribuição, realizou-se o Teste de Shapiro; Wilk (1965) a 5% de probabilidade. Foram construídos gráficos em caixa “Box-plots” dos parâmetros avaliados em cada área: RBS, CBMS, qCO₂, densidade de esporos e colonização micorrízica. Dessa forma pode-se observar os dados da estatística descritiva e a presença ou não de observações discrepantes. Foi determinado o Coeficiente de Correlação de Spearman entre os parâmetros avaliados.

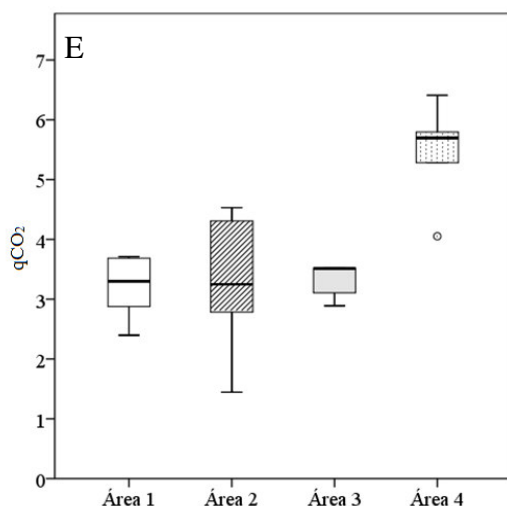
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Estatística Descritiva

O gráfico Box-plots está representado na figura 2, para cada um dos parâmetros avaliados nas quatro áreas analisadas no município de Maranguape-CE. A linha horizontal na caixa representa a mediana. As barras acima e abaixo das caixas indicam os valores máximos e mínimos. E os valores discrepantes estão indicados por um asterisco (*).

Figura 2. Box-plots da análise descritiva dos parâmetros: colonização micorrízica radicular (A), número de esporos de FMA (B), respiração basal do solo (C), carbono da biomassa microbiana do solo (D) e quociente metabólico do solo (E).





A dispersão dos dados em torno da média, expressa pelo coeficiente de variação (CV), foi baixa ($CV \leq 15\%$) para a variável colonização micorrízica (CM), respiração basal do solo (RBS), com exceção da área 2, e carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS). As demais variáveis analisadas como densidade de esporos (DE) e quociente metabólico (qCO_2) tiveram CV entre baixo e médio nas quatro áreas em que foram coletadas amostras de solo e raiz da planta. Estudos conduzidos com plantas arbóreas inoculadas com FMA já apresentaram CV baixo para colonização micorrízica (SCABORA *et al.*, 2011). Diversos fatores podem influenciar o percentual de colonização micorrízica, sendo que um dos mais importantes é a relação entre a espécie de FMA e a planta, pois a espécie vegetal possui mecanismos de sinalização e controle da colonização radicular (ANGELINI *et al.*, 2013).

As distribuições de colonização micorrízica, densidade de esporos e carbono da biomassa microbiana do solo não seguiram a tendência de normalidade pelo Teste de Shapiro-Wilk ($p \leq 0,05$), entretanto os dados de respiração basal do solo e quociente metabólico apresentaram a tendência de normalidade.

3.2 Colonização Micorrízica e Padrão Morfológico de micorrização.

A colonização micorrízica nas raízes de acerola variou de 30,85%, na área 1, a 52,17%, na área 4 (Tabela 4). Os altos teores de P encontrados nas áreas pesquisadas podem ter influenciado nesses resultados, já que a diminuição na colonização micorrízica devido a altos teores de P no solo é considerada comum e relatado em outras pesquisas, com diversas espécies vegetais (HIPPLER; MOREIRA, 2013; TAFFOUO *et al.*, 2014; SAMARÃO *et al.*, 2011). De acordo com Smith; Smith (2011b) plantas em condições nutricionais consideradas adequadas acionariam mecanismos para reduzir o desenvolvimento ou a atividade de FMA

nas raízes com o objetivo de reduzir o custo energético que a manutenção do fungo representa para a espécie vegetal.

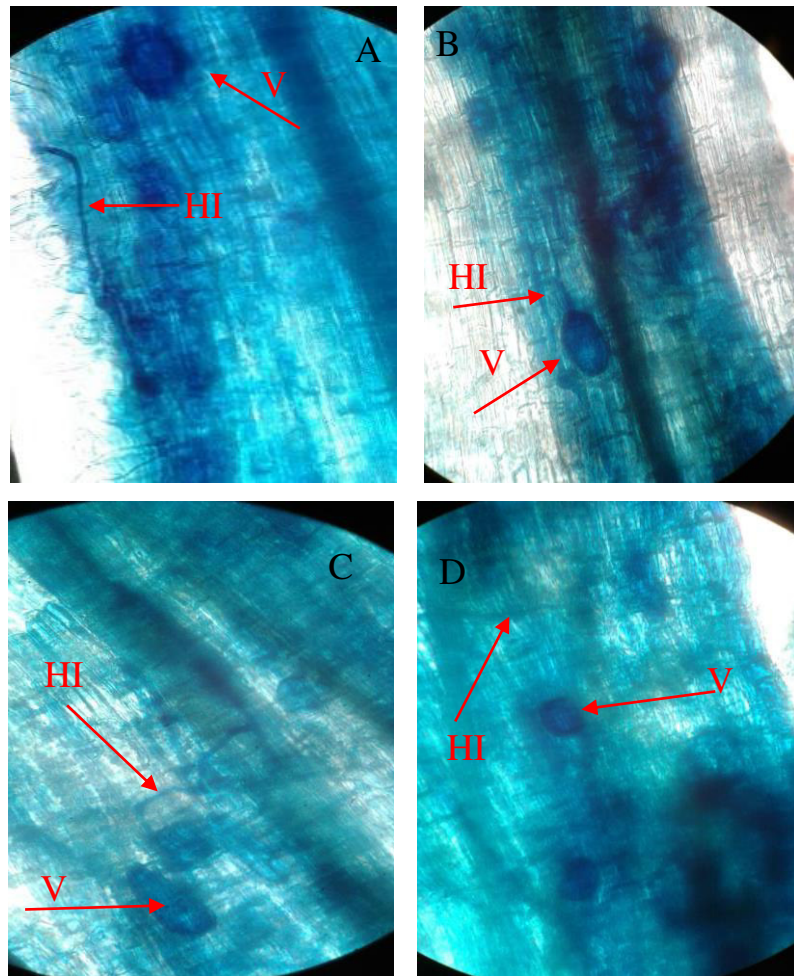
Ao comparar o percentual de colonização micorrízica observado no presente trabalho, com o resultado obtido por Balota *et al.* (2011) que conduziram pesquisa com plantas de acerola inoculadas com FMA em casa de vegetação, observa-se que o percentual de colonização apresentado nas plantas coletadas em Maranguape foi menor. Provavelmente, como fatores relevantes que contribuíram para a diferença apresentada destacam-se o solo utilizado no experimento conduzido por Balota *et al.* (2011) ter sido esterilizado e apresentar valor mais baixo de P. De acordo com Angelini *et al.* (2013) a disponibilidade de P no solo e a carga genética de dependência micorrízica que a espécie hospedeira possui, estão envolvidos nos mecanismos de sinalização e controle da colonização radicular.

Tabela 4. Colonização micorrízica, padrão de colonização radicular e densidade de esporos de FMA em pomares de acerola coletadas em quatro áreas no município de Maranguape-Ce.

	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4
Colonização radicular (%)	30,85%	35,38%	38,65%	52,17%
Padrão de Morfologia	<i>Paris</i>	<i>Paris</i>	<i>Paris</i>	<i>Paris</i>
Densidade de esporos (100 g de solo)	150	190	167	211

O padrão morfológico observado nas raízes de acerola é do tipo *Paris*, além da presença das seguintes estruturas: vesículas e hifas intracelulares. (Figura 3). A categorização das estruturas micorrízicas arbusculares em *Arum* e *Paris*, considerando a família da planta (SMITH; SMITH, 1997) como fator determinante principal, pode não ser uma regra exclusiva para todas as espécies vegetais daquela família botânica. A morfologia do FMA depende também de características individuais da espécie vegetal e da espécie de fungo que está colonizando essa raiz, além da própria condição nutricional do solo (DICKSON, 2004).

Figura 3. Fotomicrografias das raízes das plantas de acerola coletadas nas áreas 1 (A), 2 (B), 3 (C) e 4 (D), respectivamente, após a coloração radicular. V: vesícula; HI: hifa intraradicular.



Fonte: Autor

Harikumar *et al.* (2015) estudando a colonização micorrízica e a diversidade dos FMA associados a diferentes espécies de vegetais na Eritreia, nordeste da África, observaram que 51% das raízes coletadas tiveram o padrão de morfologia *Paris*, enquanto o padrão do tipo *Arum* foi observado em apenas 10% das raízes de plantas coletadas nessa região. Galvão *et al.* (2014), caracterizando a associação de FMA em raízes de cinco espécies herbáceas do Pantanal Matogrossense quanto ao padrão morfológico, observaram a presença dos tipos *Arum*, *Paris* e intermediário, com predominância de *Paris*.

O padrão morfológico *Paris* é caracterizado pela presença de hifas intracelulares e poucos arbúsculos, sendo comum a ausência deste. Portanto a não visualização de arbúsculos tal qual no presente trabalho, já foi relatada em estudos anteriores (SMITH; SMITH, 1997; SMITH *et al.*, 2009) especialmente quando predomina a morfologia *Paris*. No entanto esta ausência não implica necessariamente em ausência da função principal atribuída aos FMA no

crescimento das plantas, que é a absorção de P, Cu, Zn, nutrientes pouco móveis no solo. Plenchette; Duponnois (2005) relataram que a inoculação de *Glomus intraradices* aumentou a biomassa da planta e a concentração de P em *Atriplex nummularia*, mas nenhum arbúsculo foi observado no interior das raízes. Manjarrez *et al.* (2010) mostrou que os arbúsculos não são uma exigência absoluta na transferência de P para a planta, sendo esta função desempenhada por hifas intracelulares. Smith; Smith, (2011a) relataram que hifas intracelulares, arbúsculos e estruturas da morfologia intermediária estão envolvidos na transferência de nutrientes para a planta hospedeira e não apenas os arbúsculos.

Em outros estudos com acerola já foram observados a presença de arbúsculos (BALOTA *et al.*, 2011), portanto a não observação desses no presente estudo pode ser resultado de alguns fatores como, efeito sazonal, estresse ambiental, tipo de solo e idade da planta, conforme relatado por Whitbread *et al.* (1996) em *Panax quinquefolius*. Brundett (2009) afirma que estruturas microscópicas de FMA, como os arbúsculos, podem ser difíceis de serem identificados em raízes coletadas de áreas de cultivo ou áreas nativas. Devido à idade da raiz, se elas não são jovens, maior será a dificuldade para identificar estruturas de FMA, além disso, o autor recomenda a coleta de raízes em diferentes estádios de crescimento da planta. Todavia, Stonor *et al.* (2014) observaram em trigo que a taxa de colonização micorrízica com *Rhizophagus irregularis* e *Gigaspora margarita* aumentou com a idade da planta no momento da colheita das raízes para análise, devido a colonização por FMA nas raízes desta planta ocorrer de forma lenta.

3.3 Densidade de Esporos de FMA no solo.

A densidade de esporos de FMA nas áreas estudadas apresentou valores entre 150 e 211 esporos por 100 g de solo, que corresponde as áreas 1 e 4, respectivamente (Tabela 4). De acordo com Lima *et al.* (2013) a densidade de esporos de FMA na rizosfera geralmente é variável, podendo estar relacionada com a distribuição, morfologia e idade fisiológica das raízes, além de fatores como características químicas do solo, principalmente teor de P, potencial de esporulação, pluviometria da região, temperatura e espécies de FMA. Sendo assim, o menor valor da densidade de esporos observado na área 1, deve-se ao elevado teor de P no solo, bem como o maior valor da quantidade de esporos pode ser relacionado ao menor teor de P, no solo da área 4, pois como já é conhecido, o P em concentrações próximas ao ótimo para o crescimento da planta hospedeira, induz a inibição da colonização micorrízica, já que afeta os sinais moleculares emitidos pela planta hospedeira que desencadeiam a

associação.

O resultado do Coeficiente de Correlação de Spearman entre os parâmetros colonização micorrízica arbuscular e densidade de esporos, observa-se uma correlação positiva e significativa ($R=0,331^{**}$), indicando que quanto maior foi a densidade de esporos, maior também foi a colonização micorrízica. Alguns estudos não constataam esse fato, como a pesquisa conduzida por Moreira *et al.* (2012), que encontraram dados opostos ao do presente trabalho, uma vez que, o número de esporos de FMA e a percentagem de colonização radicular não se correlacionaram e nem foram afetados pelas doses crescentes de P adicionadas ao solo cultivado com *Araucaria angustifolia*. No atual estudo, foi observado efeito do teor de P no solo para a colonização radicular e número de esporos pois estes foram menores no solo com a maior teor de P, resultado similar foi encontrado por Machineski *et al.* (2011) em solo cultivado com mamona e adubado com diferentes doses de P.

Foi constatada, a partir da extração de esporos de FMA do solo, a predominância dos seguintes gêneros: *Glomus* sp. e *Scutelospora* sp, sendo que o primeiro foi observado com maior frequência nas quatro áreas em que foram coletadas amostras de solo. Dantas *et al.* (2015) avaliaram a ocorrência de FMA na rizosfera de fruteiras em formação, sob manejo orgânico, em solo do semiárido no Ceará. O gênero *Glomus*, com maior quantidade de esporos, prevaleceu em todas as áreas coletadas. Segundo Santos; Carrenho, (2011), exsudados radiculares favorecem a germinação de esporos de algumas espécies do gênero *Glomus* fazendo com que este gênero ocorra em maior quantidade quando comparado a esporos de outros gêneros de FMA. Estes autores também destacam que propriedades químicas do solo, práticas de adubação e calagem podem também favorecer o crescimento de algumas espécies do gênero *Glomus*. Espécies dominantes quando se instalam nas raízes podem suprimir a colonização de outras espécies por meio de alterações no padrão de exsudação da planta hospedeira.

Dickson (2004) afirma que, estudos indicam uma maior quantidade de vesículas em raízes de plantas cultivadas em solos cujo, gênero *Glomus* sp. predomina. Fato comprovado no presente trabalho, em todas as áreas coletadas.

A alta frequência desse gênero pode ainda estar relacionada à sua funcionalidade ecológica ou a sua capacidade de adaptarem-se e perpetuarem-se em sistemas com baixo ou alto nível de degradação ambiental (BAREA *et al.*, 2011). Mirás-Avalos *et al.* (2011) concordam com o resultado do presente estudo, pois em uma área de cultivo convencional, espécies do gênero *Glomus* prevaleceram sobre outras espécies, indicando maior adaptação desse gênero a solos com manejo intenso.

3.4 Atividade Microbiana Edáfica

A respiração basal do solo (RBS) apresentou valores semelhantes nas quatro áreas estudadas, variando de 6,64 mg de C-CO₂ dia⁻¹/100 cm³ de solo, na área 4, até 10,81 mg de C-CO₂ dia⁻¹/100 cm³ de solo, na área 3 (Tabela 5). O menor valor observado na área 4 pode estar relacionado ao menor tempo de instalação da cultura em comparação as outras áreas. Pois a comunidade microbiana ainda poderia estar se estabilizando após o estresse da instalação de culturas perenes.

Tabela 5. Respiração basal do solo (RBS) (mg de C-CO₂ dia⁻¹/100 cm³ de solo), carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS) (mg g⁻¹ C no solo) e quociente metabólico, de um solo coletado em quatro áreas com cultivo de acerola em Maranguape-Ce.

	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4
RBS	9,91	9,95	10,81	6,64
CBMS	3,11	3,05	3,27	1,24
qCO ₂	3,19	3,26	3,30	5,45

Segundo Batista *et al.* (2008) uma elevada taxa respiratória pode ser indício de alta atividade biológica, sendo assim uma característica desejável, uma vez que pode significar transformação rápida de resíduos orgânicos em nutrientes disponíveis para as plantas. No entanto, nem sempre altas taxas respiratórias significam altas taxas de mineralização ou imobilização do solo, levando assim a conclusões equivocadas. Esse fato também depende da demanda de nutrientes pela planta, uma vez que parte destes nutrientes disponibilizados podem ser lixiviados, ou até mesmo utilizados por micro-organismos do solo (EVANGELISTA *et al.*, 2013).

O carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS) variou de 1,24 mg g⁻¹ C no solo, na área 4, até 3,27 mg g⁻¹ C no solo, na área 3 (Tabela 5). Possivelmente a pequena diferença ocorrida entre as áreas 1, 2 e 3, que apresentaram valores semelhantes e maiores em relação a área 4, é devido ao tempo de implantação do cultivo em cada área. Enquanto nas três primeiras áreas, o cultivo já estava instalado a três anos, na área 4, o plantio de acerola estava com dois anos no momento da coleta. Segundo Baretta *et al.* (2007) é provável que em culturas perenes, a oscilação do carbono da biomassa microbiana do solo seja menos sensível

a variações ao longo do ano em relação a culturas anuais. Isso se explica pelo manejo menos intenso adotado em culturas perenes, comparativamente às culturas anuais, ocasionando menor estresse às comunidades microbianas pela menor oscilação de temperatura, umidade e aeração do solo.

No início da instalação de cultivos perenes é observado constante tráfego de máquinas agrícolas para aração e gradagem, aplicação de calcário ou adubação mineral do solo, práticas de manejo que causam estresse na população microbiana. Conforme Pragana *et al.* (2012) o constante revolvimento do solo e a falta de cobertura vegetal nos sistemas convencionais pode reduzir a população de micro-organismos do solo e conseqüentemente, o carbono da biomassa microbiana, sendo necessário tempo para o restabelecimento do equilíbrio anterior da população de micro-organismos.

No presente estudo, o quociente metabólico (qCO_2) apresentou valores que oscilaram entre 3,19 na área 1 a 5,45 na área 4 (Tabela 5). Os menores valores observados nas áreas 1, 2 e 3 podem ser um indicativo de maior eficiência da biomassa microbiana na utilização do carbono (C), pois deve ter ocorrido sua incorporação ao tecido microbiano, como já foi observado por Padilha *et al.* (2014).

Sousa *et al.* (2014) relata que, o qCO_2 indica a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o carbono disponível para biossíntese, sendo um indicador sensível para estimar a atividade biológica e a qualidade do substrato. Menores valores de qCO_2 ocorrem em áreas com maior incorporação de carbono nas células microbianas diminuindo o lançamento de CO_2 para a atmosfera. Valores maiores de qCO_2 são encontrados em situações adversas à população microbiana, nas quais os microrganismos gastam mais energia (carbono) para sua manutenção, em detrimento do crescimento populacional (ANDERSON; DOMSCH, 2010). Portanto valores altos de qCO_2 podem indicar comunidades microbianas em condição de estresse fisiológico, enquanto valores baixos, indicariam ausência de estresse.

Em algumas áreas de cultivo, valores mais elevados de qCO_2 , podem ser associados a áreas de cultivo intenso, com aração e gradagem, como o que ocorre no início dos cultivos perenes. Acrescenta-se que essa situação também é observada em ecossistemas jovens, submetidos a alguma condição de estresse, enquanto menores valores, normalmente, são associados com ecossistemas maduros e estáveis (SILVA *et al.*, 2010).

4. CONCLUSÕES

As raízes das plantas de acerola colonizadas por FMA apresentam o padrão morfológico *Paris*;

Predomina o gênero de fungo micorrízico arbuscular *Glomus* sp. na rizosfera das quatro áreas estudadas;

O menor teor de P detectado no solo pode ser relacionado com baixa colonização micorrízica arbuscular em plantas de acerola;

A atividade microbiana, avaliada pela RBS, BMS e qCO_2 , não foi alterada pelas práticas de manejo empregadas nas 4 áreas de estudo sob cultivo de acerola.

REFERÊNCIAS

- ADRIANO, E.; LEONEL, S. Fenologia da aceroleira cv. Olivier em Juqueirópolis-SP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 2, p. 469-474, 2012.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient (q_{CO_2}) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, p. 393-395, 1993.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Soil microbial biomass: The ecophysiological approach. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 12, p. 2039-2043, 2010.
- ANGELINI, G. A. R.; SAGGIN JÚNIOR, O. J.; SILVA, E. M. R. Seleção de fungos micorrízicos arbusculares e ectomicorrízicos para simbioses eficientes com *Acacia mangium* willd. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, suplemento 1, p. 3529-3542, 2013.
- BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; STENZEL, N. M. C. Resposta da acerola à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares em solo com diferentes níveis de fósforo. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p.166-175, 2011.
- BAREA, J. M. PALENZUELA, J.; CORNEJO, P.; SÁNCHEZ-CASTRO, I.; NAVARRO-FERNÁNDEZ, C.; LOPÉZ-GARCÍA, A.; ESTRADA, B.; AZCÓN, R. FERROL, N.; C. AZCÓN-AGUILAR. Ecological and functional roles of mycorrhizas in semi-arid ecosystems of Southeast Spain. **Journal of Arid Environments**, v. 75, n. 12, p. 1292-1301, 2011.
- BATISTA, Q. R.; FREITAS, M. S. M.; MARTINS, M. A.; SILVA, C. F. Bioqualidade de área degradada pela extração de argila, revegetada com *Eucalyptus* spp. e sabiá. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 1, p. 169-178, 2008.
- BRUNDRETT, M. C. Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis. **Plant Soil**, v. 320, n. 1, p. 37-77, 2009.
- CUNHA NETO, J.; RABELO, M. C.; BERTINI, C. H. C. de M.; MARQUES, G. V.; MIRANDA, M. R. A. de. Caracterização agrônômica e potencial antioxidante de frutos de clones de aceroleira. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 713-721, 2012.
- DANTAS; B. L.; WEBER, O. B.; MACIEL NETO, J. P. ROSSETTI, A. G.; PAGANO, M. C. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em pomar orgânico no semiárido cearense. **Ciência Rural**, v. 45, n. 8, p. 1480-1486, 2015.
- DICKSON, S. The *Arum-Paris* continuum of mycorrhizal symbioses. **New Phytologist**, v. 163, p. 187-200, 2004.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- EVANGELISTA, C. R.; PARTELLI; F. L.; FERREIRA, E. P. de B.; PIRES, F. R. Atributos microbiológicos do solo na cultura da cana-de-açúcar sob manejo orgânico e convencional.

Semina: Ciências Agrárias, v. 34, n. 4, p. 1549-1562, 2013

FERREIRA, G. M. dos R.; MELLONI, R.; SILVA, L. F. de O. da; MARTINS, F. B.; GONÇALVES, E. D. Fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento de mudas de oliveira (*Olea europaea* L.) cultivadas no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 361-366, 2015.

FIGUEIREDO NETO, A.; REIS, D. S.; ALVES, E.; GONÇALVES, E.; ANJOS, F. C. dos; FERREIRA, M. Determinação de vitamina C e avaliação físico-química em três variedades de acerola cultivadas em Petrolina-PE. **Nucleus**, v. 11, n. 1, p. 83-92, 2014.

GALVÃO, M. L.; SIQUEIRA, K. A. de; CUNHA, C. N. da; SOARES, M. A. Associação entre fungos e sistema radicular de plantas do Pantanal Matogrossense. **Global Science and Technology**, v. 7, n. 2, p. 56-62, 2014.

GENRE, A.; BONFANTE, P. 2010. The marking of symbiotic cells in arbuscular mycorrhizal roots. In: Koltai, H. & Kapulnik, Y. Arbuscular mycorrhizas: physiology and function. New York, Springer.

GERDEMANN, J. W.; NICHOLSON, T. H. Spore of mycorrhizal Endogone specie extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactive British Mycology Society**, v. 46, p. 235-244, 1963.

GOMES, A. M.; BECKER, H.; LONGHINOTTI, E.; DELERUE-MATOS, C. Brazilian fruit pulps as functional foods and additives: Evaluation of bioactive compounds. **Food Chemistry**, v. 172, p. 462-468, 2015.

HARIKUMAR, V. S.; BLASZKOWSKI, J.; MEDHANIE, G.; KANAGARAJ, M. K.; DEEPAK, V. S. Arbuscular mycorrhizal fungi colonizing the plant communities in Eritrea, Northeast Africa. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 13, n. 1, p. 193-203, 2015.

HIPPLER, F. W. R.; MOREIRA, M. Dependência micorrízica do amendoinzeiro sob doses de fósforo. **Bragantia**, v. 72, n. 2, p. 184-191, 2013.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ- IPECE. **Perfil Básico Municipal – Maranguape**. Secretaria do Planejamento e Coordenação. Fortaleza-CE. 2006.

INVAM, International Culture Collection of (vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi. Morgantow, EUA: West Virginia University, 1998. Disponível em: <<http://invam.caf.wvu.edu>>. Acesso em 21 de maio 2015.

KOSKE R. E.; GEMMA, J. N. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. **Mycological Research**, v. 92, n. 4, p. 486-505, 1989.

LACERDA, K. A. P.; SILVA, M. M. de S.; CARNEIRO, M. A. C.; REIS, E. F. dos; SAGGIN JÚNIOR, O. J. Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada no crescimento inicial de seis espécies arbóreas do cerrado. **Cerne**, v. 17, n. 3, p. 377-386, 2011.

LIMA, E. N.; ARAUJO, M. E. B. de; BERTINI, C. H. C. de M.; MOURA, C. F. H.; HAWERROTH, M. C. Diversidade genética de clones de aceroleira avaliada por meio de marcadores moleculares ISSR. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 2, p. 174-180, 2015.

LIMA; F. de S.; SOARES; A. C. F.; SOUSA, C. da S. Ocorrência e atividade de fungos micorrízicos arbusculares em plantios de eucalipto (*Eucalyptus* sp.) no litoral norte da Bahia, Brasil. **Revista Árvore**, v. 37, n. 2, p. 245-255, 2013.

MACHINESKI, O.; BALOTA, E. L.; SOUZA, J. R. P. de. Resposta da mamoneira a fungos micorrízicos arbusculares e a níveis de fósforo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, suplemento 1, p. 1855-1862, 2011.

MAGALHÃES, G. B.; ZANELLA, M. E. Comportamento climático da Região Metropolitana de Fortaleza. **Revista Mercator**, v. 10, n. 23, p. 129-145, 2011.

MANJARREZ, M.; CHRISTOPHERSEN, H. M.; SMITH, S. E.; SMITH, F. A. Cortical colonisation is not an absolute requirement for phosphorus transfer to plants in arbuscular mycorrhizas formed by *Scutellospora calospora* in a tomato mutant: evidence from physiology and gene expression. **Functional Plant Biology**, v. 37, n. 12, p. 1132–1142, 2010.

MCGONIGLE, T. P.; MILLER, M. H.; EVANS, D. G.; FAIRCHILD, G. L.; SWAN, J. A. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v. 115, p. 495-501, 1990.

MENDONÇA, E. de Sá; MATOS, E da Silva. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa, v. 1; 107p. 2005.

MIRÁS-AVALOS, J. M.; ANTUNES, P. M.; KOCH, A.; KHOSLA, K.; KLIRONOMOS, J. N. DUNFIELD, K. E. The influence of tillage on the structure of rhizosphere and root-associated arbuscular mycorrhizal fungal communities. **Pedobiologia**, v. 54, n. 4, p. 235–241, 2011.

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

MOREIRA, M.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Doses de fósforo determinam a prevalência de fungos micorrízicos arbusculares em *Araucaria angustifolia*. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 4, p. 813-820, 2012.

MUTHURAJA, R.; MUTHUKUMAR, T.; SATHIYADASH, K.; UMA, E.; PRIYADHARSINI, P. Arbuscular mycorrhizal (AM) and dark septate endophyte (DSE) fungal association in Lycophytes and Ferns of the Kolli Hills, Eastern Ghats, Southern India. **American Fern Journal**, v. 104, n. 2, p. 67-102, 2014.

PADILHA, K. de M.; FREIRE, M. B. G. dos S.; DUDA, G. P.; SANTOS, U. J.; SILVA, A. O.; SOUZA, E. R. Indicadores biológicos de dois solos com a incorporação de subproduto da agroindústria de café. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 38, n. 5, p. 1377-1386, 2014.

PAZ, M.; GÚLLON, P.; BARROSO, M. F.; CARVALHO, A. P.; DOMINGUES, V. F.; GOMES, A. M.; BECKER, H.; LONGHINOTTI, E.; DELERUE-MATOS, C. Brazilian fruit

pulps as functional foods and additives: Evaluation of bioactive compounds. **Food Chemistry**, v. 172, p. 462–468, 2015.

PLENCHETTE, C.; DUPONNOIS, R. Growth response of the saltbush *Atriplex nummularia* L. to inoculation with the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. **Journal Arid Environments**, v. 61, n. 4, p. 535–540, 2005.

PRAGANA, R. B.; NÓBREGA, R. S. A.; RIBEIRO, M. R.; J. F. LUSTOSA FILHO. Atributos biológicos e dinâmica da matéria orgânica em Latossolos Amarelos na região do Cerrado Piauiense sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 851-858, 2012.

RITZINGER, R.; RITZINGER, C. H. S. P. Acerola. **Informe Agropecuário**, v. 32, n. 264, p. 17-25, 2011.

SAMARÃO, S. S.; RODRIGUES, L. A.; MARTINS, M. A.; MANHÃES, T. N.; ALVIM, L. A. da M. Desempenho de mudas de gravioleira inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares em solo não-esterilizado, com diferentes doses de fósforo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n. 1, p. 81-88, 2011.

SANTOS; F. E. F. dos; CARRENHO, R. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em remanescente florestal impactado (Parque Cinquentenário - Maringá, Paraná, Brasil). **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 2, p. 508-516. 2011.

SCABORA, M. H.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Associação micorrízica em espécies arbóreas, atividade microbiana e fertilidade do solo em áreas degradadas de cerrado. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 397-408, 2011.

SCHENCK, N. C.; PEREZ, Y. **A manual of identification of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi**, 2 ed, 1990. 241p.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, v. 52, p. 591-611, 1965.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. de S.; CURTI, N.; A. M. T. ALOVISI. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes – Mg. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 34, n. 5, p. 1585-1592, 2010.

SMITH, F. A.; GRACE, E. J.; SMITH, S. E. More than a carbon economy: nutriente trade and ecological sustainability in facultative arbuscular mycorrhizal symbioses. **New Phytologist**, v. 182, p. 347–358, 2009.

SMITH, F. A.; SMITH, S. E. Structural diversity in (vesicular) arbuscular mycorrhizal symbioses. **New Phytologist**, v. 137, p. 373-388, 1997.

SMITH, F. A.; SMITH, S. E. What is the significance of the arbuscular mycorrhizal colonisation of many economically important crop plants? **Plant Soil**, v. 348, p. 63–79, 2011b.

SMITH, S. E.; SMITH, F. A. Roles of Arbuscular Mycorrhizas in Plant Nutrition and Growth: New Paradigms from Cellular to Ecosystem Scales. **The Annual Review of Plant Biology**, v. 62, p. 227–50, 2011a.

SOUSA, F. A.; SILVA, E. de B.; CAMPOS, A. T.; GANDINI, A. M. M.; CORRÊA, J. M.; GRAZZIOTTI, P. H. Atividade microbiana e produção da lavoura cafeeira após adubação com dejetos líquidos de suínos. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 4, p. 1041-1049, 2014.

STONOR, R. N.; SMITH, S. E.; MANJARREZ, M.; FACELLI, E.; SMITH, F. A. Mycorrhizal responses in wheat: shading decreases growth but does not lower the contribution of the fungal phosphate uptake pathway. **Mycorrhiza**, v. 24, p. 465–472, 2014.

TAFFOUO, V. D.; NGWENE, B.; AKOA, A.; FRANKEN, P. Influence of phosphorus application and arbuscular mycorrhizal inoculation on growth, foliar nitrogen mobilization, and phosphorus partitioning in cowpea plants. **Mycorrhiza**, v. 24, p. 361–368, 2014.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology Biochemistry**, v. 19, p. 703-707, 1987.

WHITBREAD, F.; MCGONIGLE, T. P.; PETERSON, R. L. Vesicular arbuscular mycorrhizal associations of American ginseng (*Panax quinquefolius*) in commercial production. **Canadian Journal of Botany**, v. 74, p. 1104-1112, 1996.

WILDING, L. P.; DREES, L. R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L. P.; SMECK, N. E.; HALL, G. F. (Ed.). **Pedogenesis and soil taxonomy: concepts and interactions**. New York: Elsevier, 1983. p. 83-116.

ESTUDO 2 - PADRÃO MORFOLÓGICO DA MICORRÍZICAÇÃO EM PLANTAS DE FEIJÃO DE CORDA E MILHO ADUBADAS COM FÓSFORO.

RESUMO

As espécies vegetais mais cultivadas pelos agricultores familiares nordestinos destacam-se o feijão de corda e o milho. Os micro-organismos desempenham importantes funções no solo e entre estes organismos, deve ser ressaltado o papel dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA) no crescimento de plantas. Os FMA colonizam as raízes da maioria das espécies vegetais e entre as funções benéficas para o desenvolvimento das plantas está o aumento da absorção de nutrientes do solo, em especial os de baixa mobilidade, como o fósforo (P). Avaliar práticas agrícolas realizadas pelos agricultores, como a adubação fosfatada, e verificar como está influenciando na atividade dos FMA em beneficiar o desenvolvimento dos vegetais, devem ser priorizados. Para isso foi realizado experimento em casa de vegetação avaliando o efeito da adubação fosfatada no crescimento de plantas, feijão de corda e milho, colonizadas por FMA. Também buscou-se conhecer qual padrão morfológico de colonização predomina nas raízes das plantas cultivadas. Foram adicionadas ao solo cinco doses de fósforo (P), além do tratamento controle, sem adubação. As plantas de feijão de corda e milho respondem a adubação fosfatada até a dose de 150 mg P kg⁻¹ solo e 120 mg P kg⁻¹ solo, respectivamente, e doses superiores a essa, causaram efeito negativo no crescimento das espécies vegetais. O padrão morfológico observado nas raízes das duas plantas é o intermediário, caracterizado pela presença de hifas intra, intercelulares e vesículas. Os altos teores de P acrescentados no solo induziram uma diminuição da colonização micorrízica (CM) radicular nas raízes das duas plantas estudadas. Os maiores percentuais de CM ocorreram nas menores doses de P acrescentadas ao solo e conseqüentemente, foi nesse ambiente com baixo teor de P onde os FMA podem ter contribuído de forma relevante para o desenvolvimento do feijão de corda e milho.

Palavras-chaves: micorrizas, *Vigna unguiculata* (L.), *Zea mays*, adubação fosfatada.

ABSTRACT

The species most cultivated by Northeastern farmers stand out the cowpea bean and corn. Microorganisms play important roles in soil and between these bodies should be stressed the role of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on the growth of plants. The AMF colonize the roots of most plant species and between functions beneficial for plant growth are increased soil nutrient uptake, particularly of low mobility, such as phosphorus (P). Evaluate agricultural practices by farmers, such as phosphate fertilizer, and check how influence the activity of the AMF to benefit the development of the plant, should be prioritized. For this experiment was conducted in a greenhouse to evaluate the effect of phosphorus fertilization on plant growth, string beans and corn, colonized by AMF. Also sought to know which morphological pattern of colonization predominates in the roots of cultivated plants. They were added to the soil five rates of phosphorus (P), and the control treatment without fertilization. Cowpea bean and corn respond to phosphorus fertilization to 150 mg P kg⁻¹ soil and 120 mg P kg⁻¹ soil, respectively, and doses above this, caused negative effect on the growth of plant species. The morphological pattern observed in the two plants roots is the intermediate, characterized by the presence of intra hyphae, and intercellular vesicles. The high levels of P added in the soil induced a decrease in mycorrhizal colonization (MC) root in the roots of the two studied plants. The largest percentage of MC occurred in lower doses of P added to the soil and consequently was in this environment with low P where the AMF may have contributed significantly to the development of cowpea bean and corn.

Keywords: mycorrhiza, *Vigna unguiculata* (L.), *Zea mays*, phosphate fertilizers.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura familiar exerce um papel fundamental no desenvolvimento social e no crescimento equilibrado do País. Os milhões de pequenos produtores que compõem a agricultura familiar fazem dela um setor em expansão e de vital importância para o Brasil. Todos os anos, a agricultura familiar movimentava bilhões de reais no País, produzindo a maioria dos alimentos que são consumidos nas mesas brasileiras. Além disso, contribui para a criação de empregos, geração e distribuição de renda e diminuição do êxodo rural (DAMASCENO *et al.*, 2011). Entre as principais espécies cultivadas pelos agricultores familiares do Norte e Nordeste do Brasil, destaca-se o feijão de corda, também conhecido como feijão caupi ou feijão macassar, e o milho.

O feijão de corda (*Vigna unguiculata*) é uma das culturas de maior importância para a população brasileira, principalmente no Norte e Nordeste, onde é mais cultivado e consumido, seus grãos representam uma importante fonte de proteína e minerais na dieta da população, além de possuir notória importância sócio-econômica. É uma planta da família das Fabaceas, representando uma das maiores famílias de Angiospermas e uma das principais do ponto de vista econômico. O feijão de corda é capaz de fixar nitrogênio através da associação com as bactérias do gênero *Rhizobium*, é uma espécie vegetal pouco exigente em fertilidade do solo, adaptada a regiões de clima quente (úmida ou semiárida), além de ser considerada tolerante à seca e moderadamente tolerante à salinidade (DUTRA *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2011).

O milho (*Zea mays*), pertencente à família *Poaceae*, possuindo grande importância mundial devido seus grãos serem utilizados, principalmente, para alimentação animal e humana. Acrescenta-se que também pode ser empregado na indústria, como elemento espessante e colante, na produção de óleos e, alguns países europeus e nos Estados Unidos, tem sido incentivada sua utilização para a produção de combustível, o etanol (OKUMURA *et al.*, 2011). A produção de milho no Brasil é caracterizada pelo plantio em duas épocas: primeira safra (ou safra de verão) e segunda safra (ou safrinha). Os plantios de verão são realizados em todos os estados, na época tradicional, durante o período chuvoso, que ocorre no final de agosto, na região Sul, até os meses de outubro/novembro, no Sudeste e Centro-Oeste (MIRANDA *et al.*, 2012). Entretanto, na região Nordeste, esse período ocorre no início do ano, sendo caracterizado nessa época, o principal período de cultivo de milho para os agricultores familiares nordestinos.

Solos com baixo nível de fertilidade constituem-se num dos principais motivos

que limitam a produção das espécies que mais são cultivadas na agricultura familiar, como milho e feijão. Entre os nutrientes que afetam o crescimento das plantas, por geralmente ser encontrado em baixos níveis, destaca-se o fósforo (P). Porém, os efeitos do baixo teor de P nos solos podem ser minimizados pela utilização de algumas práticas como a correção da acidez do solo, adubação orgânica, adubação mineral e utilização de cultivares eficientes ao uso de fósforo. Além desses manejos, deve ser incentivado nas áreas agrícolas práticas que favoreçam a atividade dos micro-organismos do solo, principalmente aqueles cuja atividade beneficiam diretamente o crescimento das plantas, através da maior absorção de nutrientes, como os fungos micorrízicos arbusculares (FMA).

Os FMA são micro-organismos que formam associações simbióticas com a grande maioria de plantas Angiospermas e Gimnospermas. Desempenham importantes funções nos ecossistemas melhorando a qualidade física, química e biológica do solo, além de que deve ser destacado o efeito nutricional no crescimento das plantas, ao promover maior absorção de água e nutrientes, especialmente os de baixa mobilidade como o fósforo (P) e cobre (Cu), contribuindo para maior desenvolvimento das espécies vegetais (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; CARRENHO *et al.*, 2010).

As plantas de milho e feijão, principalmente as cultivadas em solos pouco férteis, utilizam interações simbióticas com os FMA, como recurso para suprir sua demanda por nutrientes. O estudo mais aprofundado da interação desses fungos com estas plantas poderia representar uma estratégia para uma agricultura sustentável em sistemas com recursos limitados, apresentando grande potencial como insumo biológico, pois é conhecido o potencial dos FMA para aumentar a capacidade da planta em absorver nutrientes e água, contribuindo para sua maior produtividade (GOMES *et al.*, 2010a).

O padrão morfológico de colonização das micorrizas arbusculares tem sido classificado em *Arum*, *Paris* e intermediário, este último apresentando estruturas de ambos os tipos, *Arum* e *Paris*. O tipo *Paris* apresenta hifas intracelulares, sendo algumas enoveladas e é comum em plantas florestais, enquanto no tipo *Arum* é observado arbúsculo intracelular e hifa intercelular, presentes principalmente em plantas herbáceas cultivadas. Apesar de não estar totalmente esclarecidos quais motivos influenciam na formação do padrão morfológico da associação micorrízica, existem evidências da importância da espécie vegetal e da espécie de fungo micorrízico arbuscular na formação do padrão predominante na planta (DICKSON, 2004). Todavia é interessante saber qual padrão morfológico de colonização micorrízica por FMA está se desenvolvendo na raiz da espécie hospedeira, pois a habilidade do fungo para colonizar e fornecer nutrientes, como o P, poderá diferir dependendo do tipo de padrão

morfológico que se desenvolverá na raiz.

Considerando o contexto apresentado, o objetivo do trabalho foi avaliar o crescimento e o padrão morfológico de colonização micorrízica arbuscular em plantas de milho e feijão de corda cultivado em solo com doses crescentes de fósforo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

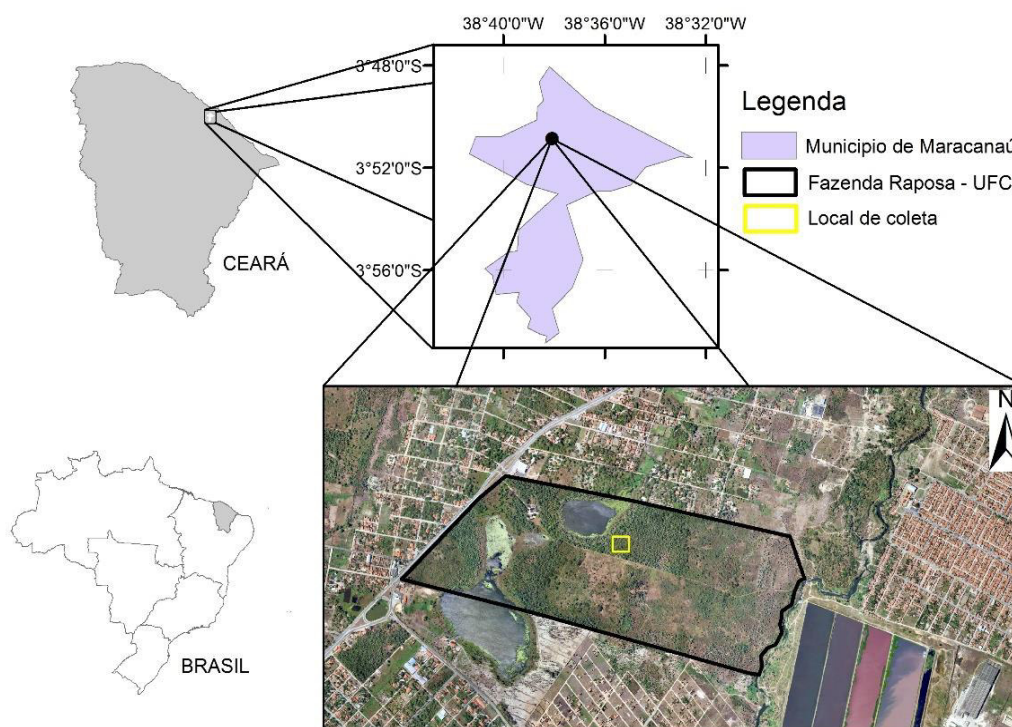
2.1 Local do estudo

Os experimentos com plantas de feijão e milho foram conduzidos em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará (UFC), localizada no Campus do Pici em Fortaleza-CE, por um período de 38 e 45 dias após a germinação, respectivamente. A classificação climática da região, segundo Köeppen, é do tipo Aw', estando a uma altitude de 20 m acima do nível do mar. A cidade tem temperatura média de 26°C, chuvas concentradas entre fevereiro e maio, pluviosidade média de 1600mm, sendo o mês de abril o mais chuvoso e novembro o mais seco (PESSOA; CAMPOS, 2015).

A temperatura média mínima e máxima na casa de vegetação durante a condução dos experimentos foi de, respectivamente, 28°C e 36°C.

2.2 Solo

O solo utilizado nos experimentos foi coletado em área de mata nativa, na profundidade de 0-20 cm, na Fazenda Experimental Raposa, pertencente a Universidade Federal do Ceará (UFC), localizada no município de Maracanaú-CE (3°50'66" S e 38°38'38" W) (Figura 1).

Figura 1. Mapa da área de coleta do solo na fazenda Raposa em Maracanaú-Ce.

Fonte: Google Maps.

Após a coleta, o solo foi destorroado, homogeneizado e peneirado em malha de 2 mm para obtenção da TFSA (Terra Fina Seca ao Ar), para então uma amostra ser encaminhada ao Laboratório de Análises de Solo, Água e Plantas do Departamento de Ciências do Solo do Centro de Ciências Agrárias da UFC. As características químicas e físicas do solo, de acordo com metodologia proposta por Embrapa (1997), são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo coletado na Fazenda Raposa em Maracanaú-CE.

Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Al ³⁺	S	P	N
-----cmol _c /kg-----							mg/kg	g/kg
0,50	0,50	0,16	0,23	2,97	0,35	1,4	3,0	0,06
pH	C.E.	M.O.	C	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Classificação textural
H ₂ O	dS/m	g/kg	g/kg	%	%	%	%	-----
4,6	0,29	1,24	0,72	52,5	30,8	13,6	3,1	Areia franca

2.3 Instalação, condução dos experimentos e delineamento experimental.

O solo foi distribuído em vasos plásticos com capacidade de 5 L e 6 L para as culturas do feijão de corda e milho, sendo utilizados 4 kg e 5 kg de solo por vaso, respectivamente.

As sementes de feijão e milho foram doadas pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará (EMATERCE).

Com base nos resultados da análise química foi feita a correção da fertilidade do solo para os elementos nitrogênio e potássio, conforme adaptação da recomendação do Manual de Adubação e Calagem para Estado do Ceará (AQUINO *et al.*, 1993). O nitrogênio (N) foi aplicado de forma parcelada em duas vezes. A primeira aplicação, no momento da semeadura, foi de 0,5 g de N por vaso. A segunda aplicação, com dose no mesmo valor, foi realizada 20 dias após a primeira. O potássio também foi aplicado de forma parcelada seguindo a mesma conduta empregada para o N. No plantio, uma primeira aplicação com 0,5g de K por vaso e uma segunda aplicação, com a mesma quantidade de K, após 20 dias, em conjunto com o N. As fontes dos nutrientes utilizadas para a adubação de N e K foram a Ureia (NH_2CONH_2) e o Cloreto de Potássio (KCl).

Para elevação do pH da solução do solo, que apresentou um valor inicial ácido de 4,6 (Tabela 1), foram aplicados 4 g de calcário dolomítico por vaso, cuja composição química é caracterizada por: CaO (32%), MgO (13%) e PRNT (45%). Após a aplicação incubou-se o solo para um período de reação que durou 25 dias, mantendo-se a umidade do solo em torno da capacidade de campo com irrigações periódicas até a obtenção do valor de pH 6,05. Em seguida, foram semeadas cinco sementes de feijão e milho a 3 cm de profundidade, remanescendo duas plantas por vaso dos respectivos experimentos. O desbaste nas duas culturas ocorreu 10 dias após a germinação e o critério utilizado para a escolha foi tamanho e uniformidade.

As plantas foram irrigadas diariamente com água da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) durante todo o período de condução dos experimentos (Figura 2), ao longo de 38 dias após o desbaste para a cultura do feijão de corda e 45 dias após o desbaste para a cultura do milho.

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, com seis tratamentos e cinco repetições, totalizando 30 parcelas para cada experimento, conforme tabela 2.

Tabela 2. Tratamentos utilizados nos experimentos com feijão de corda e milho.

Tratamentos	Doses de Fósforo (mg P kg ⁻¹ solo) no cultivo do feijão de corda	Doses de Fósforo (mg P kg ⁻¹ solo) no cultivo do milho
T1	0 mg P kg ⁻¹ solo	0 mg P kg ⁻¹ solo
T2	50 mg P kg ⁻¹ solo	40 mg P kg ⁻¹ solo
T3	100 mg P kg ⁻¹ solo	80 mg P kg ⁻¹ solo
T4	150 mg P kg ⁻¹ solo	120 mg P kg ⁻¹ solo
T5	200 mg P kg ⁻¹ solo	160 mg P kg ⁻¹ solo
T6	250 mg P kg ⁻¹ solo	200 mg P kg ⁻¹ solo

A fonte utilizada para a adubação fosfatada foi o Superfosfato Triplo (Ca(H₂PO₄)₂.H₂O), com 46% de fósforo na forma de P₂O₅, aplicado em dose única na semeadura.

Figura 2. Condução dos experimentos em casa de vegetação para as culturas do feijão de corda (A) e milho (B).

Fonte: Autor.

2.4 Variáveis analisadas.

Aos 38 dias após o desbaste para a cultura do feijão de corda e 45 dias após o desbaste para a cultura do milho foram analisados:

2.4.1 *Altura da planta, diâmetro do caule ou colmo, número de folhas e massa da matéria seca da parte aérea.*

Foi mensurada a altura de plantas (cm) com o auxílio de uma régua graduada, diâmetro dos caules ou colmos (mm) com a utilização de um paquímetro digital e o número de folhas por meio de contagem direta. A altura das plantas de feijão de corda e milho compreendeu a região do colo até a inserção da última folha completamente desenvolvida. Ainda na região do colo determinou-se seu diâmetro com o paquímetro. Considerou-se para cada variável a média do valor obtido das duas plantas em cada vaso.

As plantas coletadas foram seccionadas em parte aérea (folhas e caules ou colmos) e sistema radicular. As amostras das partes aéreas das plantas foram acondicionadas separadamente em sacos de papel e colocadas em estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de 65-70°C até obter-se massa constante. Posteriormente, essas foram pesadas separadamente em uma balança com sensibilidade de 0,001 g. O sistema radicular foi lavado em água corrente, visando a remoção de quaisquer impurezas do solo, sendo então as raízes mantidas refrigeradas em solução alcóolica a 70% até posterior avaliação da colonização radicular.

2.4.2 Teor de macronutrientes na parte aérea.

Após a secagem em estufa, o material vegetal foi moído em moinho do tipo Willey e peneirado em malha de 20 mm para realização das análises químicas. Os extratos para a análise dos teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) foram obtidos através da digestão nitroperclórica, seguindo-se os procedimentos descritos por Malavolta *et al.* (1997). Os teores de Ca e Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, K por fotometria de chama e o P por colorimetria. Os teores de nitrogênio (N) total foram determinados pelo método semimicro Kjeldahl, adaptado de Bremner; Mulvaney (1982) e Tedesco *et al.*, (1995), que se baseia na destilação e arraste de vapores.

2.4.3 Colonização micorrízica radicular de plantas de feijão de corda e milho e padrão morfológico de micorrização.

As raízes das plantas foram mantidas em solução alcoólica até a realização da coloração radicular e cujo procedimento seguiu o método adaptado de Koske; Gemma (1989). As raízes foram clareadas por imersão em uma solução de Hidróxido de Potássio a 10% (KOH) e levadas ao banho-maria (50°C) por 60 minutos. Ao final desse tempo as raízes foram

lavadas com água corrente para a remoção do excesso de KOH e, em seguida, imersas em uma solução de Ácido Clorídrico a 1% (HCl) por 10 minutos. O HCl foi descartado apropriadamente, colocando-se as raízes clarificadas em uma solução de Glicerol acidificado (500 mL de Glicerina, 450 mL de água destilada, e 50 mL de HCL a 1%) contendo 0,05% de Azul de Trípano (0,5 g em 1 L de solução). As raízes foram então submetidas a um tratamento térmico em banho-maria a 50° C por 60 minutos. Drenada a solução de glicerol, as raízes coradas foram lavadas em água corrente e preservadas em água destilada sob refrigeração a 4° C por sete dias antes de serem analisadas.

Para cada amostra coletada, 10 fragmentos de raízes foram distribuídos paralelamente em lâminas para microscopia e recobertas com lamínula. A porcentagem de colonização das raízes pelos FMA foi avaliada pelo método de McGonigle *et al.* (1990) sob microscopia ótica de campo claro e com um aumento de 400 vezes. Os segmentos que apresentaram vesículas, arbúsculos ou hifas características, por vezes ligadas a esporos, foram considerados colonizados e os resultados expressos em porcentagem de colonização do sistema radicular.

A partir da identificação das estruturas de FMA observadas nas raízes após o procedimento da coloração radicular, foi classificado o padrão morfológico de micorrização em “*Arum*”, “*Paris*” ou “intermediário”, conforme Dickson (2004).

2.4.4 Densidade de esporos de FMA

Os esporos de FMA foram extraídos de 100 g de solo das amostras coletadas nos 20 pontos escolhidos através do seu peneiramento por via úmida (GEDERMANN; NICOLSON, 1963), com passagem nas peneiras 250 e 53 µm, seguido de centrifugação em sacarose a 50% (JENKINS, 1964). Os esporos retidos na peneira de menor malha foram centrifugados, passando-se o sobrenadante novamente na peneira de 53 µm. Após a contagem, os esporos foram separados por tipos morfológicos em razão do tamanho, cor, brilho, forma e transparência. Esses foram vertidos sobre uma placa de Petri e divididos em dois grupos, os quais, com uma pipeta de Pasteur, foram transferidos para pontos sobre uma lâmina de vidro, para microscopia. Nessa, um dos grupos foi fixado com PVLG (álcool polivinil em lactoglicerol) e outro com PVLG mais reagente de Melzer (1:1) (MORTON, 1993). Os esporos fixados com PVLG mais reagente de Melzer foram submetidos a uma pequena pressão sobre a lamínula, para rompimento das paredes, o que permitiu a coloração das paredes internas, servindo de parâmetro de identificação. Após a montagem, as lâminas foram

mantidas em temperatura ambiente, para secagem inicial, e posteriormente levadas à estufa (± 40 °C), para secagem completa do PVLG.

A identificação das espécies de FMA foi feita pelo tamanho do esporo, posição da hifa terminal, presença de apêndices e características da parede segundo Schenck; Pérez (1988), Morton *et al.* (1993) e INVAM (2016).

2.5 Análises Estatísticas.

Os dados foram submetidos inicialmente ao Teste de Shapiro-Wilk (teste de normalidade) a 5% de probabilidade, para verificar se possuíam distribuição normal. Constatada a normalidade, os parâmetros foram submetidos ao teste de homogeneidade das variâncias (Teste de Levene). Para as variáveis que apresentaram distribuição normal e homogeneidade das variâncias foi realizada a Análise de Variâncias (ANOVA) que, uma vez significativa ($p < 0,05$), tiveram a aplicação do Teste de Tukey ($p < 0,05$) para a comparação de médias. Já as variáveis que apresentaram distribuição normal, porém heterogêneas, aplicou-se Teste de Brown-Forsythe. Quando da ocorrência de valor significativo ($p < 0,05$), aplicou-se Teste de Games-Howell para a comparação de médias. Para as variáveis que apresentaram distribuição não paramétrica aplicou-se o Teste de Kruskal-Wallis e, quando da observação de valor significativo ($p < 0,05$), procedeu-se a comparação de médias pelo método *stepwise* (FIELD, 2009).

A análise de regressão foi realizada para verificar qual o modelo para representar as variáveis analisadas em função das doses de Fósforo. A análise estatística foi conduzida no software SPSS versão 20.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Experimento com feijão de corda.

3.1.1 Altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas e massa da matéria seca da parte aérea.

De acordo com o de Teste de Shapiro-Wilk, as variáveis altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA), para o feijão de corda, não seguiram uma distribuição normal ($p < 0,05$) (Tabela 3).

Tabela 3. Resultado do Teste de Normalidade (Shapiro-Wilk) a 5% de probabilidade, para as variáveis altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas e massa da matéria seca da parte aérea em plantas de feijão de corda.

Variáveis	p-valor	Distribuição
Altura da planta	0,005	Não-paramétrica
Diâmetro do caule	0,001	Não-paramétrica
Número de folhas	0,000	Não-paramétrica
Massa da matéria seca da parte aérea	0,001	Não-paramétrica

Distribuição: Paramétrica ou Não Paramétrica.

Por conseguinte, foi empregado o Teste de Kruskal-Wallis e, quando observado significância ($p < 0,05$), as médias entre os tratamentos foram comparadas pelo método *stepwise*. É evidente a influência significativa da adubação fosfatada nas variáveis analisadas (Tabela 4).

Tabela 4. Altura das plantas (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA) de feijão de corda cultivado sob seis doses de P. Média de cinco repetições.

Tratamentos	AP (cm)	DC (mm)	NF	MMSPA (g)
T1 - 0 mg P kg ⁻¹ solo	20,41 c	3,90 c	10,40 c	1,29 c
T2 - 50 mg P kg ⁻¹ solo	49,75 b	5,15 b	16,40 b	4,01 b
T3 - 100 mg P kg ⁻¹ solo	55,04 b	5,60 b	17,30 b	4,52 b
T4 - 150 mg P kg ⁻¹ solo	79,02 a	6,10 a	19,40 a	5,76 a
T5 - 200 mg P kg ⁻¹ solo	54,02 b	6,13 a	17,00 b	5,37 ab
T6 - 250 mg P kg ⁻¹ solo	48,81 b	6,26 a	16,70 b	4,93 ab

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo Método *stepwise* ($p < 0,05$).

3.1.1.1 Altura das plantas (AP)

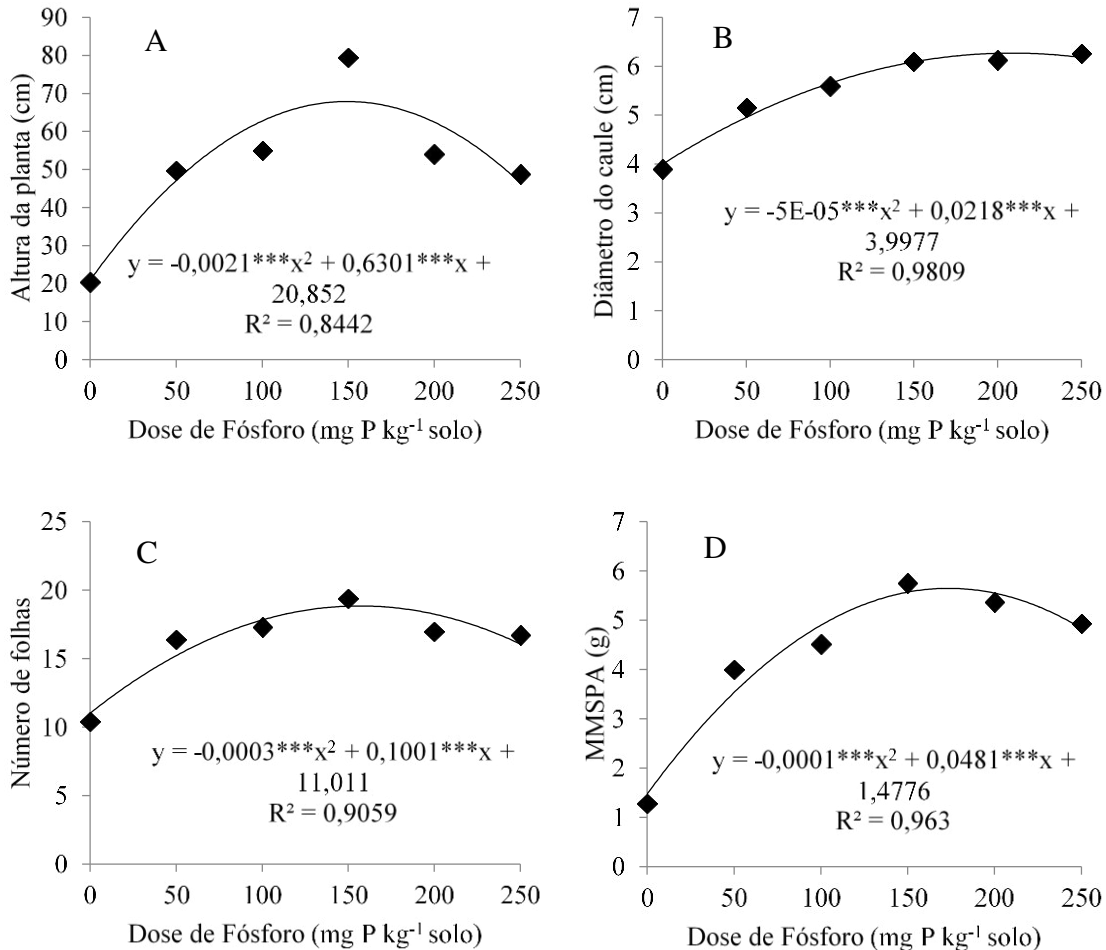
A altura de plantas (AP) de feijão de corda sofreu efeito significativo das doses de P adicionadas ao solo, sendo que, na dose de 150 mg P kg solo⁻¹, ocorreu o maior valor de AP,

com diferença significativa para os demais tratamentos (Tabela 4). O tratamento T1, que não recebeu adubação fosfatada, apresentou o menor valor de altura, comprovando que a ausência ou o baixo teor de fósforo no solo é um fator limitante ao crescimento do feijão de corda. Sousa *et al.* (2014) também observaram efeito significativo na altura de plantas de feijão de corda cultivado sob adubação orgânica com biofertilizante, cuja concentração de fósforo é 1,1 g L⁻¹ de P, em comparação as plantas não adubadas.

Segundo Ramos *et al.* (2014) a variável AP também pode ser relacionada ao potencial da cultura (feijão de corda) para a colheita mecânica, uma vez que altura acima de 50 cm de estatura torna a planta apropriada para esse manejo por ocasião da colheita. Todavia é importante destacar que plantas altas possuem maior índice de acamamento do que plantas de pequeno porte.

O modelo de regressão quadrático da variável AP está apresentado na Figura 3A e a altura máxima do feijoeiro foi obtida na dose 150 mg P kg⁻¹ solo. Também pode ser evidenciado efeito negativo da disponibilidade em excesso de P à cultura do feijão de corda (Figura 3A). Nakayama *et al.* (2013) obtiveram dados similares quando avaliaram a adubação com diferentes doses do fertilizante organomineral para a variável altura das plantas em feijão, quando a fertilização do solo com a doses superiores a 100 mg kg⁻¹ levaram a diminuição da AP em modelo de regressão quadrático.

Figura 3. Altura da planta (A), diâmetro do caule (B), número de folhas (C) e massa da matéria seca da parte aérea (D) em plantas de feijão de corda adubadas com fósforo (mg P kg⁻¹ solo). *** Significativo a (p < 0,001).



Coutinho *et al.* (2014), avaliando também a adubação fosfatada em feijão de corda, observaram resultado semelhante ao do presente estudo na variável altura da planta, para doses acima de 200 kg ha⁻¹ de P.

Coelho *et al.* (2012) constataram um maior crescimento de plantas decorrente da presença de FMA, quando essas foram cultivadas em solos com baixa disponibilidade de nutrientes, pois solos com alto nível de fertilidade, principalmente P, como o observado nos tratamentos T5 e T6, não é favorável para a colonização micorrízica nas raízes das espécies vegetais. Consequentemente, menor será o efeito positivo dos FMA em proporcionar o crescimento das plantas.

3.1.1.2 Diâmetro do caule (DC)

Um modelo quadrático apresentou melhor ajuste para a variável diâmetro do caule (DC), com a ocorrência do aumento do DC com o aumento das doses de P (Figura 3B). Os tratamentos que tiveram maiores diâmetros do caule foram T4 – 150 mg P kg⁻¹ solo, T5 – 200 mg P kg⁻¹ solo e T6 - 250 mg P kg⁻¹ solo, sem, no entanto, ocorrer diferença entre esses. O tratamento 1, sem aplicação de P, apresentou o menor valor para o DC (Tabela 4). Bezerra *et al.* (2014) também constataram menor DC em plantas de feijão de corda cultivadas em solo sem adubação fosfatada, em relação as plantas cultivadas em solo adubado com P. Conforme observado por Farias *et al.* (2013), plantas que possuem maior diâmetro do caule deverão ter melhor equilíbrio no crescimento da parte aérea.

Comparando-se os resultados obtidos por Oliveira *et al.* (2012), ao estudar diversos genótipos de feijão comum em função do estresse de P, os valores de DC observados no presente trabalho, com exceção do obtido nas plantas do tratamento T1 - 0 mg P kg⁻¹ solo, estão adequados para uma boa sustentação das plantas. Oliveira *et al.* (2014), avaliando o desempenho agrônômico de genótipos de feijão comum em função da adubação fosfatada, também obtiveram valores para DC similares aos observados no presente trabalho.

Segundo Coelho *et al.* (2007) o diâmetro do caule é uma característica que apresenta pouca relevância para identificação de divergência genética entre genótipos de feijão. Todavia, o diâmetro do caule apresenta função importante em áreas agrícolas em que a utilização da colheita mecânica é considerada, uma vez que um DC maior, além de promover uma melhor sustentação da planta, evitará o acamamento das plantas.

3.1.1.3 Número de folhas (NF)

O modelo quadrático foi o que melhor se ajustou para a variável número de folhas (NF) (Figura 3C). Com o aumento das doses de P no solo ocorreu incremento para NF até a dosagem 166,83 mg P kg⁻¹ solo, doses superiores a essa, inibiram a formação de novas folhas. O menor valor para NF foi observado no tratamento T1 - 0 mg P kg⁻¹ solo (Tabela 4). Bonfim-Silva *et al.* (2014) também verificaram que o melhor ajuste de regressão para esta variável foi o modelo quadrático, ao avaliar o NF do feijão guandu em relação à adubação fosfatada. O aumento do número de folhas observado com o incremento da adubação fosfatada é importante para as leguminosas, bem como para outras espécies vegetais, tendo em vista que as folhas são órgãos fotossintetizantes, os quais utilizam a energia luminosa convertida como fonte de energia para as reações químicas vitais à planta.

Santos *et al.* (2015) constataram efeito significativo da adubação NPK em diferentes doses adicionadas ao solo em relação ao número de folhas em duas cultivares de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). Elevados valores de números de folhas durante o desenvolvimento do feijoeiro são importantes para uma maior produção de fotoassimilados, que serão destinados ao crescimento dos grãos. Feitosa *et al.* (2015) em experimento com feijão de corda irrigado com diferentes percentuais de efluente tratado rico em P, encontraram maiores valores para número de folha quando as plantas receberam o maior percentual do efluente tratado.

Zucareli *et al.* (2010) observaram resultado semelhante para a área foliar de feijoeiro comum fertilizado com diferentes doses de superfosfato triplo. Segundo os autores, o solo em que foi conduzido o experimento possuía baixo teor de P e, por isso no tratamento sem adubação fosfatada, foi produzida a menor área foliar, fato devido à baixa disponibilidade de P que reduz o número de folhas, similar ao ocorrido no presente estudo. Melo *et al.* (2013) também observaram modelo de regressão quadrático na área foliar do feijão de corda adubado com diferentes doses de biofertilizante líquido. Constata-se haver, dessa forma, esperado efeito positivo do fornecimento do nutriente P através da adubação, seja mineral ou orgânica, sobre um maior número de folhas em feijão de corda, o que favorece o processo fotossintético.

3.1.1.4 Massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA)

Em relação a variável massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA), o modelo quadrático representou o melhor ajuste (Figura 3D). Ocorreu aumento da MMSPA com a adição de P ao solo, sendo que o valor máximo de MMSPA foi obtido na dose de 150 mg P kg⁻¹ solo. Doses superiores a essa restringiram o crescimento do vegetal. Como pode ser constatado, o tratamento com a maior dose de P (T6 – 250 mg P kg⁻¹ solo) reduziu em até 14,41% o crescimento da planta em relação ao tratamento com maior valor de MMSPA.

Conforme já observado por Schiavo *et al.* (2010), elevado teor de nutrientes e de modo mais específico, de P, podem reduzir o crescimento de plantas micorrizadas, uma vez que, de forma geral, plantas micorrizadas alcançam seu desenvolvimento máximo em doses baixas de P. Os atributos que podem controlar a demanda e suprimento de P para a planta e assim o grau de dependência desta pelo nutriente, está relacionada às características morfológicas e fisiológicas do hospedeiro. Por isso, o teor de P no solo mais apropriado para resposta à micorriza é altamente variável entre as espécies vegetais e cultivares, havendo

diferenças mesmo em plantas muito próximas geneticamente (CLEMENT; HABTE 1995).

Fernandes *et al.* (2013) relataram aumento da MMSPA do feijão de corda cultivado em solo adubado com P, sendo que as doses estimadas de 45 e 48 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foram as que proporcionaram maior produção de MMSPA e que nas doses de P superiores a esta, ocorreram redução da MMSPA, como também foi observado neste estudo.

A situação observada no presente estudo e em outros, onde ocorre o menor crescimento das espécies vegetais micorrizadas e cultivadas em alta disponibilidade de P, é caracterizada como depressão de crescimento e envolve diversos fatores, principalmente bioquímicos (SENA *et al.*, 2004). De acordo com Hipler; Moreira (2013) a diminuição da biomassa vegetal pode ocorrer devido à presença de estruturas ativas do FMA no sistema radicular, assim, apesar de haver dreno de carboidratos ao fungo, não há retorno, por parte do fungo, no fornecimento de nutrientes, resultando na queda de produção de biomassa e crescimento. Esses autores também constataram esse fato ao avaliar o efeito de doses crescentes de P em amendoim inoculado com FMA, observando um modelo de regressão quadrático para a variável matéria seca da parte aérea, com redução do crescimento da planta a partir da dose 150 mg kg⁻¹ de P adicionado ao solo.

O efeito positivo da adubação fosfatada no crescimento de plantas foi constatado por Zucareli *et al.* (2012) que observaram aumento da produção de massa da matéria seca da parte aérea do feijão comum, com a adição de P no solo, esse manejo reduziu o ciclo da cultura, favorecendo assim, a obtenção de uma maior produção.

O controle apresentou menor MMSPA. Em estudo realizado para avaliar o comportamento do feijão de corda sob lâminas de água e adubação fosfatada foi observado que, independente da lâmina de água, na dose 0 kg ha⁻¹ de P₂O₅, ocorreu menor MMSPA devido, provavelmente, aos baixos teores naturais de fósforo no solo em que foi conduzido o experimento (OLIVEIRA *et al.*, 2011). Azevedo *et al.* (2015) constataram efeito significativo da adubação com biofertilizante para a massa da matéria seca da parte aérea de feijão caupi em relação às plantas não adubadas em solo com baixo teor de P.

Segundo Coutinho *et al.* (2014), a deficiência de fósforo limita a produção de matéria seca das plantas fixadoras de nitrogênio, pois sob deficiência de P ocorre maior translocação de fotoassimilados para as raízes, o que reduz a relação matéria seca da parte aérea e da raiz. Acrescente-se que, como já observado por Bonfim-Silva *et al.* (2014), solos com deficiência de P podem induzir diminuição no desenvolvimento da planta, podendo espécies vegetais como o feijoeiro não se recuperarem posteriormente, mesmo aumentando-se o suprimento de fósforo a níveis adequados.

3.1.2 Teor de macronutrientes.

O resultado do teste de normalidade para teor de macronutrientes na parte aérea do feijão de corda encontra-se na Tabela 5.

Tabela 5. Resultado do Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) para os teores de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio e Magnésio na parte aérea das plantas de feijão de corda.

Variáveis	p-valor	Distribuição
Nitrogênio	0,016	Não-paramétrica
Fósforo	0,014	Não-paramétrica
Potássio	0,661	Paramétrica
Cálcio	0,691	Paramétrica
Magnésio	0,064	Paramétrica

Distribuição: Paramétrica ou Não Paramétrica.

Como os nutrientes nitrogênio e fósforo apresentaram uma distribuição não paramétrica foi empregado o Teste de Kruskal-Wallis e, quando observado significância ($p < 0,05$), as médias entre os tratamentos foram comparadas pelo Método *stepwise* (Tabela 10).

Em relação aos nutrientes potássio, cálcio e magnésio, que apresentaram distribuição paramétrica, foi realizado o Teste de Levene para testar a homogeneidade das variâncias. Constatada a homogeneidade, foi empregado o Teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparação das médias dos tratamentos (Tabela 6).

Tabela 6. Teores de Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) na parte aérea de feijão de corda cultivado sob seis doses de P. Média de cinco repetições.

Tratamentos	N (g kg^{-1}) ¹	P (g kg^{-1}) ¹	K (g kg^{-1}) ²	Ca (g kg^{-1}) ²	Mg (g kg^{-1}) ²
T1 - 0 mg P kg^{-1} solo	52,64 a	1,15 d	32,34 a	9,07 c	5,57 c
T2 - 50 mg P kg^{-1} solo	32,56 b	1,41 d	31,86 a	10,78 bc	5,55 c
T3 - 100 mg P kg^{-1} solo	33,60 b	2,63 c	34,89 a	12,84 ab	6,68 b
T4 - 150 mg P kg^{-1} solo	30,16 b	3,24 b	26,14 a	13,05 a	6,93 ab
T5 - 200 mg P kg^{-1} solo	31,75 b	4,91 a	27,72 a	14,63 a	7,54 a

T6 - 250 mg P kg⁻¹ solo 38,05 b 6,00 a 32,83 a 14,47 a 7,54 a

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo Método *stepwise* ($p < 0,05$).

² Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$)

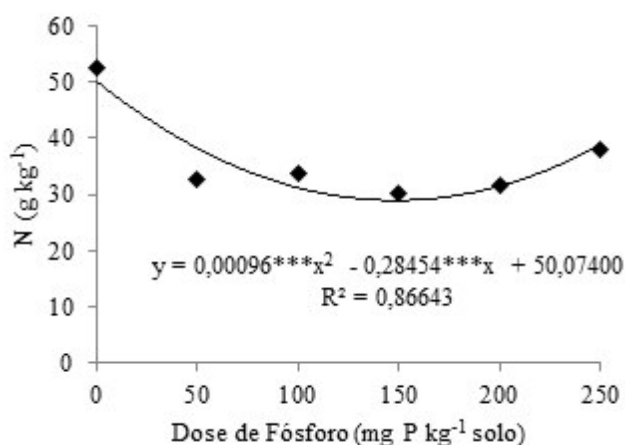
3.1.2.1 Nitrogênio

Segundo Shukla *et al.* (2012) o nitrogênio (N) é considerado um dos nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, principalmente em solos com condições limitantes para a disponibilidade desse elemento.

No presente trabalho não foram observados efeitos significativo das doses de P adicionadas ao solo para o teor de nitrogênio na planta (Tabela 10) (Figura 4). Entretanto, ocorreu efeito de diluição, uma vez que, nos tratamentos T2 - 50 mg P kg⁻¹ solo a T6 - 250 mg P kg⁻¹ solo, obtiveram-se maiores massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA) em relação ao tratamento T1 - 0 mg P kg⁻¹ solo (Tabela 4). Cunha *et al.* (2014) obtiveram resultado semelhante em feijoeiro comum cv. Pérola e Pontal, não ocorrendo, portanto, efeito significativo da adubação fosfatada em relação ao teor de N na parte aérea das plantas estudadas.

Figura 4. Teor de nitrogênio na parte aérea do feijão de corda adubado com P.

*** Significativo a ($p < 0,001$).



Deve ser ressaltado que o efeito benéfico da inoculação de FMA em feijão no aumento do teor de N da parte aérea já foi constatado em alguns estudos. Younesi; Moradi, (2014) verificaram aumento no teor de N na parte aérea de feijão comum inoculadas por *Glomus mosseae* em relação a plantas não inoculadas, cultivadas em solo com condição moderada de salinidade. Franzini *et al.* (2013) avaliaram o efeito da inoculação com FMA,

Glomus mosseae ou *Glomus intraradices*, no teor de N da parte aérea de *Phaseolus vulgaris* L., sendo que, a inoculação dos FMA em conjunto com determinada estirpe de rizóbio, aumentou o teor de N da parte aérea, em comparação com as plantas inoculadas somente com FMA.

Abdel-Fattah *et al.* (2011) observaram incremento no teor de N em plantas de feijão inoculadas com diferentes espécies de FMA, mesmo quando algumas destas plantas foram infectadas pelo fungo *Rhizoctonia solani*, evidenciando um efeito positivo dos FMA na absorção de N, além também da proteção da planta contra alguns patógenos do solo. Kadian *et al.* (2014) evidenciaram aumento no teor de N na parte aérea de *Vigna radiata* L. inoculadas com *Glomus mosseae* e *Acaulospora laevis* se comparando às plantas inoculadas somente com uma das espécies de FMA ou não inoculadas.

Silva *et al.* (2010) observaram efeito significativo da adubação fosfatada com superfosfato simples ou triplo no acúmulo de N na parte aérea do feijão de corda cv. BRS-Paraguaçu inoculado com a estirpe *Bradyrhizobium spp.*, indicando que P adicionado ao solo favorece a fixação biológica do nitrogênio. Os referidos autores conduziram experimento em solo não estéril, a presença dos FMA e sua interação com a planta beneficiando-a com aumento na absorção de nutrientes, em especial P, deve ser considerado, como já observado em estudo realizado por Machineski *et al.* (2011).

3.1.2.2 Fósforo

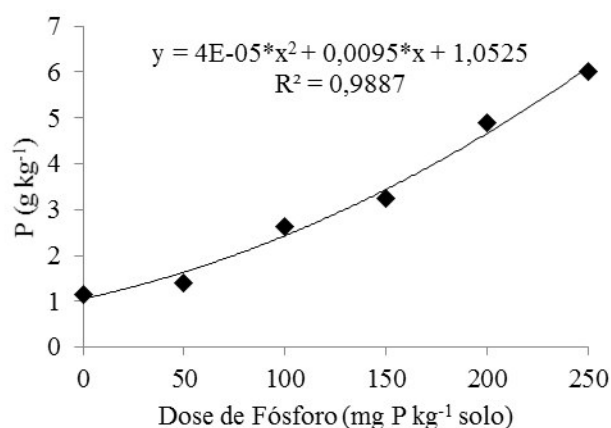
A adubação fosfatada através de doses crescentes de fósforo (P) no solo promoveu aumento significativo no teor de fósforo na parte aérea do feijão de corda (Tabela 6). Resultado semelhante foi encontrado em muitos trabalhos anteriores, estando essa resposta relacionada ao aumento da disponibilidade de P na solução do solo através de adição de adubo solúvel (superfosfato triplo). Hipler; Moreira (2013) constataram aumento no teor de P na parte aérea da planta *Arachis hypogea* adubada com doses crescentes de P e inoculada com FMA. Contudo a inoculação da espécie *Gigaspora rosea* promoveu maior absorção de P pela planta do que a espécie *Glomus clarum* demonstrando a importância de se verificar a compatibilidade funcional entre a espécie de FMA inoculada e a espécie vegetal hospedeira.

Yasmeen *et al.* (2012) obtiveram aumento significativo para teor de P na parte aérea de *Vigna radiata* L. inoculada com *Glomus intraradices* e *Bradyrhizobium* em relação as plantas inoculadas somente com *Bradyrhizobium* ou não inoculadas, evidenciando o efeito favorável do FMA na absorção de P.

O modelo quadrático da análise de regressão foi o que apresentou o melhor ajuste para a variável P em plantas de feijão de corda. Observa-se aumento no teor de P nos tecidos vegetais com o aumento das doses de fósforo (Figura 5).

Figura 5. Teor de fósforo na parte aérea do feijão de corda adubado com P.

* Significativo a ($p < 0,05$).



Nascente *et al.* (2014) também observaram incremento no teor de P na parte aérea de feijão comum com o aumento das doses de P no solo em experimento conduzido no campo. Conforme estes autores, o fósforo é um elemento essencial ao metabolismo do feijoeiro, com resposta à adição do P via solo bem definida e contribuindo, assim, de forma significativa para o aumento da produtividade de grãos, do desenvolvimento radicular, favorecimento do aumento do número de vagens e da massa de grãos (ZUCARELI *et al.*, 2010). Consequentemente é inequívoca a importância da adubação fosfatada em cultivos de feijão de corda, principalmente em solos com fertilidade reduzida.

Taffouo *et al.* (2014) avaliaram a inoculação do FMA, *Funneliformis mosseae*, no crescimento do feijão de corda adubado com três doses de P (baixa, média e alta). Verificaram aumento na absorção de fósforo, devido a influência da inoculação por FMA, somente no tratamento com dose média de P. A falta deste efeito nos outros tratamentos pode ser relacionado ou com uma oferta muito baixa P (no tratamento de baixo P na fase vegetativa) ou a disponibilidade de níveis ideais de P livremente difusível na solução nutritiva com o tempo, devido à acumulação, e a incapacidade do substrato utilizado no experimento, para adsorver e trocar P.

Conforme Ngwene *et al.* (2010), quando P é livremente difusível na solução do solo, um aumento na absorção de P fornecido pelo micélio do fungo micorrízico pode não

constituir uma vantagem sobre a absorção de P via superfície da raiz, sem inoculação e por isso não ocorreria diferença significativa na absorção do nutriente, entre plantas inoculadas ou não.

O efeito positivo na absorção de P devido a inoculação por FMA no feijoeiro pode ser observado mesmo em condições de salinidade, uma vez que, num solo com nível moderado de salinidade a inoculação com *Glomus mosseae* favoreceu aumento da absorção de P, em relação as plantas não inoculadas (YOUNESI; MORADI, 2014). Segundo os autores, a biomassa radicular do feijão inoculado com FMA foi o dobro da obtida pela planta não inoculada, na mesma condição de salinidade, isso fomentou a absorção de P.

No entanto, alguns resultados conflitantes são encontrados na literatura, como aqueles observados por Pereira Junior *et al.* (2015) os quais, em experimento realizado com feijão de corda adubado com doses crescentes de N e P, não encontraram efeitos significativos da adubação fosfatada sobre o aumento do teor de P na parte aérea das plantas. Referidos autores justificaram esse resultado como efeito de diluição dos nutrientes em função do crescimento da planta.

3.1.2.3 Potássio

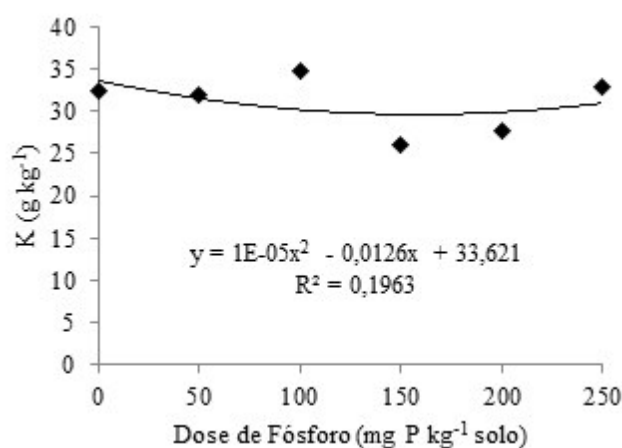
Em relação ao potássio (K) não foi observado efeito significativo das doses de P adicionado ao solo, não ocorrendo diferença estatística entre os tratamentos (Tabela 6). Este resultado foi devido ao efeito de diluição do teor de K em função do aumento da matéria seca da parte aérea (Figura 6). Dados semelhante foram observados por Franzini *et al.* (2013) em plantas de feijão comum inoculadas com *Glomus mosseae* ou *Glomus intraradices*, quando não ocorreu efeito significativo para o teor de K na parte aérea. Contudo, Santos *et al.* (2015) avaliaram o efeito da adubação NPK em duas cultivares de feijão comum e observaram que a adubação proporcionou maior teor de K, independentemente da quantidade aplicada, nas plantas adubadas.

Todavia Costa *et al.* (2012) obteve resultado similar ao obtido no presente trabalho, pois avaliando o efeito da inoculação de FMA em cultivo de *Brachiaria brizantha*, não foi observado diferença significativa para teor de K nas plantas inoculadas com *Glomus mossaea* ou *G. etunicatum* em relação às plantas não inoculadas. Os autores justificaram o resultado como efeito de diluição da concentração do nutriente em função da maior produção de matéria seca.

Ray; Valsalakumar (2010) também não obtiveram efeito significativo para teor de

K na parte aérea das plantas *Vigna radiata* L. inoculadas com os FMA, *Glomus mosseae*, *G. intraradices* ou *Gigaspora margarita* e com a bactéria *Rhizobium*, para as plantas não inoculadas. Segundo os autores, a inoculação com FMA pode não afetar a absorção de K para algumas espécies de leguminosas, sendo necessário mais estudos envolvendo outras espécies do micro-organismo, buscando uma maior compatibilidade do fungo com o hospedeiro e assim beneficiar o desenvolvimento de ambos.

Figura 6. Teor de potássio na parte aérea do feijão de corda adubado com P.



Entretanto, Abdel-Fattah *et al.* (2011) observaram efeito significativo para absorção de K em plantas de feijão comum inoculadas com FMA, em relação as não inoculadas, mesmo quando as plantas foram infectadas pelo fungo *Rhizoctonia solani*, que causa uma doença chamada de *damping off*, caracterizando o efeito benéfico dos FMA na absorção de K em feijão comum.

3.1.2.4 Cálcio

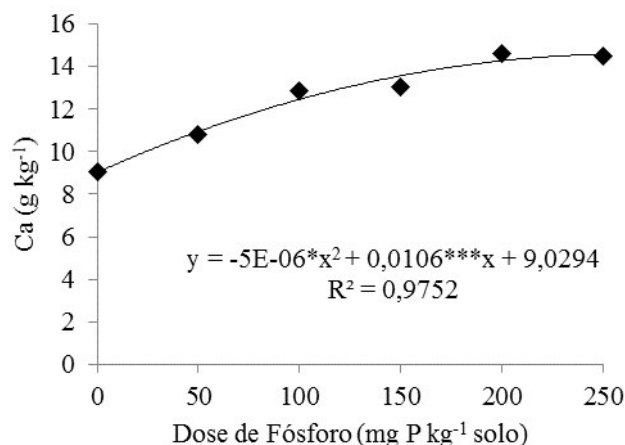
Foram encontrados efeitos significativos da adubação fosfatada sobre os teores cálcio (Ca), sendo que os maiores valores para o teor de Ca na parte aérea do feijão de corda foram apresentados nos tratamentos com doses mais elevadas de P (Tabela 6). O modelo de regressão de melhor ajuste foi o quadrático (Figura 7). Costa *et al.* (2012) não observaram diferença significativa para teor de Ca na parte aérea de *Brachiaria brizantha* inoculada com as espécies de FMA, *Glomus fasciculatum*, *G. etunicatum* ou *Acaulospora laevis* em relação às plantas não inoculadas. Os autores atribuíram esse resultado ao efeito de diluição da concentração do nutriente na parte aérea da planta.

Silva *et al.* (2011) obtiveram aumento no teor de cálcio na parte aérea das plantas

de feijão de corda adubadas com biofertilizante bovino, indicando um efeito positivo desse adubo orgânico no incremento da concentração de Ca.

Figura 7. Teor de cálcio na parte aérea do feijão de corda adubado com P.

* e *** Significativo a ($p < 0,05$) e a ($p < 0,001$), respectivamente.

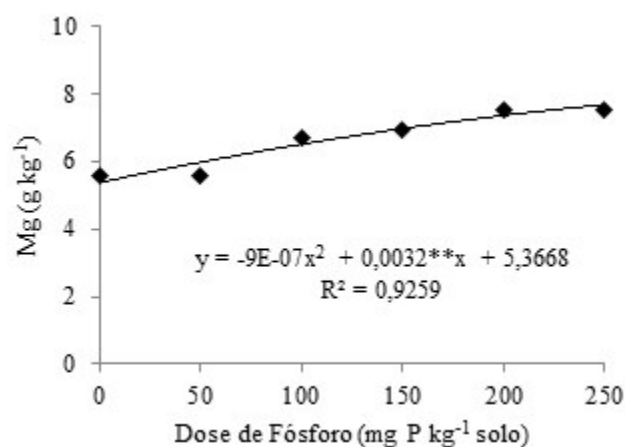


Entretanto, Cunha *et al.* (2014) não observaram efeito significativo da adubação fosfatada no teor de cálcio em plantas de feijão comum. Resultados semelhantes ao trabalho mencionado anteriormente foram encontrados por Santos *et al.* (2015), em experimento com feijão comum adubado com NPK, na qual o teor de Ca na parte aérea não foi influenciado por este manejo.

3.1.2.5 Magnésio

O teor de magnésio (Mg) na parte aérea do feijão de corda foi influenciado significativamente pelas doses de P, sendo os tratamentos T5 - 200 mg P kg⁻¹ solo e T6 - 250 mg P kg⁻¹ solo aqueles que apresentaram os maiores teores de Mg na parte aérea do feijão de corda (Tabela 6). Fonseca (2008) obteve resultado semelhante também comprovando a influência da adubação fosfatada no teor de magnésio na parte aérea do feijão caupi.

Entretanto Santos *et al.* (2015) não observaram efeito significativo no teor de Mg em plantas de feijão comum adubadas com NPK. Todavia, Nunes (2008) observou aumento no teor de magnésio em feijão de corda cultivado com adubação fosfatada e na ausência de adubo verde. O modelo quadrático está apresentado na Figura 8.

Figura 8. Teor de magnésio na parte aérea do feijão de corda adubado com P.** Significativo a ($p < 0,01$).

3.1.3 Colonização micorrízica (CM) e o padrão morfológico.

A micorrização do feijoeiro ocorreu de forma natural, através da própria abundância de esporos nativos contidos no solo. Os dados obtidos para a colonização micorrízica arbuscular apresentaram distribuição não paramétrica de acordo com o Teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) (Tabela 7).

Tabela 7. Resultado do Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) para a variável colonização micorrízica arbuscular em raízes de feijão de corda.

Variável	p-valor	Distribuição
Colonização micorrízica arbuscular	0,002	Não-paramétrica

Distribuição: Paramétrica ou Não Paramétrica.

Como trata-se de uma variável com distribuição não paramétrica foi empregado o Teste de Kruskal-Wallis e, quando observado significância a 5%, foram as médias entre os tratamentos comparadas pelo Método *stepwise* (Tabela 8). O tratamento T3 - 100 mg P kg⁻¹ solo apresentou a maior porcentagem de colonização micorrízica, diferindo significativamente dos demais tratamentos. A partir do tratamento T4 - 150 mg P kg⁻¹ solo observou-se diminuição da colonização micorrízica, comportamento relacionado aos altos teores de P adicionado ao solo, fato também observado por Vitorazi Filho *et al.* (2012).

Tabela 8. Colonização micorrízica em raízes de feijão de corda cultivado em solo adubado com doses crescentes de P. Média de cinco repetições.

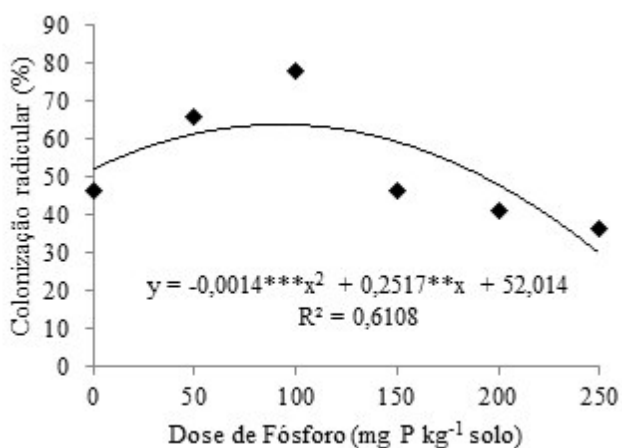
T1 - 0 mg P kg ⁻¹ solo	46,30% c
T2 - 50 mg P kg ⁻¹ solo	65,80% b
T3 - 100 mg P kg ⁻¹ solo	77,60% a
T4 - 150 mg P kg ⁻¹ solo	43,50% c
T5 - 200 mg P kg ⁻¹ solo	41,10% d
T6 - 250 mg P kg ⁻¹ solo	36,20% e

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo Método *stepwise* ($p < 0,05$).

Alguacil *et al.* (2010) encontraram resultado semelhante ao avaliarem a colonização micorrízica em *Centrosema macrocarpum* Benth. adubada com diferentes doses e fontes de P (fosfato de rocha ou fosfato diamônio). Independente da fonte utilizada na adubação, na maior dose aplicada ao solo a colonização micorrízica foi diminuída significativamente em relação a menor dose de P utilizada no experimento. Segundo os autores, embora o mecanismo que determina a influência da adubação fosfatada na comunidade de FMA seja, em grande parte, desconhecida, pode-se relacionar o aumento do nível de fertilidade do solo com uma menor dependência da planta ao FMA.

O modelo de regressão que se ajustou aos dados foi o quadrático (Figura 9). O percentual de colonização micorrízica aumentou com a adição de P, até a dose de 100 mg P kg⁻¹ solo, a partir da qual reduziu, como efeito da alta disponibilidade de P no solo.

Figura 9. Colonização micorrízica em solo adubado com fósforo e cultivado com feijão de corda. ** e *** Significativo a ($p < 0,01$) e a ($p < 0,001$), respectivamente.



Machineski *et al.* (2011) também constataram diminuição na porcentagem de colonização micorrízica com o aumento das doses de P em solo cultivado com mamona. O menor percentual de colonização micorrízica ocorreu na maior dose de P, como também foi observado no presente estudo. Essa diminuição pode ser considerada normal devido à inibição do estabelecimento da simbiose quando submetida a teores elevados de P, com consequente redução da intensidade da colonização.

Conforme Smith; Read (2008), a maior colonização micorrízica pode estar associada a solos com baixa disponibilidade de P e isso poderá induzir um aumento no crescimento da planta. O efeito benéfico no crescimento da planta devido à presença de FMA foi constatado, de forma semelhante, em outros estudos para a cultura do feijão de corda (ABDEL-FATTAH *et al.*, 2011), entre outras espécies vegetais (CORDEIRO *et al.*, 2015). Num estudo conduzido com feijão de corda inoculado com o FMA, *Glomus etunicatum*, a colonização micorrízica atingiu 80% e este alto percentual de colonização promoveu maior crescimento do vegetal (LIMA *et al.*, 2011).

Neeraj (2011) observou efeito positivo da inoculação com FMA no feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) pois o maior percentual de colonização refletiu num melhor crescimento das plantas e na maior absorção de P, se comparado as plantas não inoculadas.

Conforme Treseder (2013) altos percentuais de colonização micorrízica em plantas são geralmente associados a um maior desenvolvimento do vegetal, contudo fatores como espécie de FMA presente no solo ou inoculada, grupo funcional da planta, entre outros, influenciam na resposta da planta a presença do fungo. Por isso, altos percentuais de colonização micorrízica não significam necessariamente, efeitos positivos no crescimento da espécie vegetal. No presente trabalho, o tratamento T1 - 0 mg P kg⁻¹ solo apesar de apresentar 46,30% de colonização, este valor não implicou em crescimento para a planta. Camili *et al.* (2012) não observaram efeito significativo da inoculação de FMA no crescimento de plantas de melancia adubadas com P, independente da dose P e do percentual de colonização micorrízica observado.

Costa *et al.* (2012) observaram maiores percentuais de colonização micorrízica na planta *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com a inoculação das espécies de FMA, *Acaulospora muricata* e *Glomus fasciculatum*. Contudo, a inoculação desta última foi menos efetiva em proporcionar crescimento da planta em relação a inoculação de *A. muricata*, confirmando que a presença de estruturas de FMA na raiz podem não indicar aumento na absorção de nutrientes, que é um dos principais efeitos positivos do FMA no desenvolvimento das espécies vegetais (TRESEDER, 2013). Acrescenta-se que, de acordo com Montañez

(2005), as plantas apresentam grande variabilidade na resposta à inoculação de FMA, a qual parece ser controlada geneticamente, através das variações fisiológicas dos endófitos e dos mecanismos de colonização, podendo ocorrer especificidade até mesmo em nível de variedades.

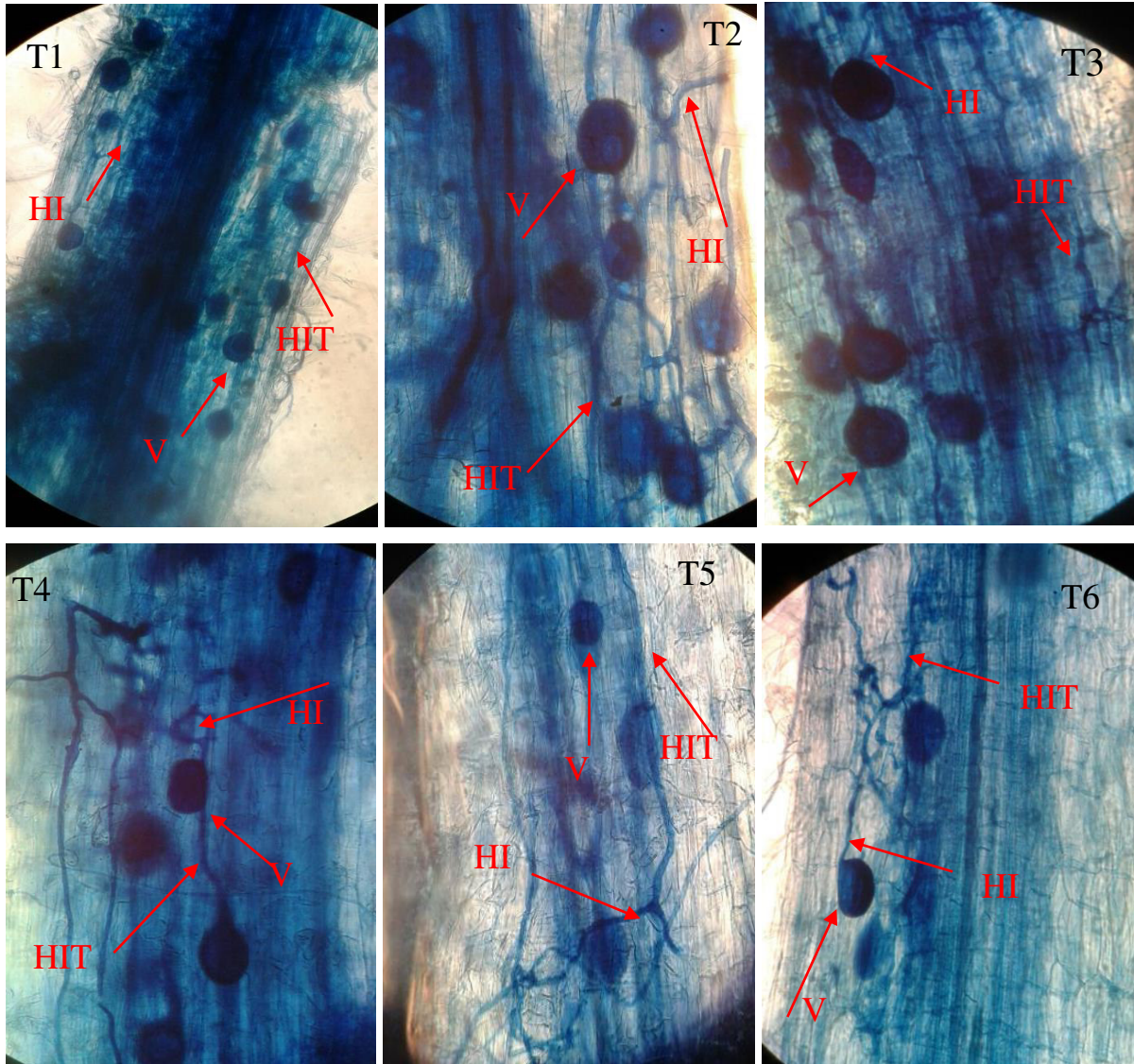
É importante enfatizar que, segundo Hippler *et al.* (2011), a percentagem de colonização micorrízica nem sempre é uma característica segura para definir o efeito positivo do FMA no crescimento da planta hospedeira. Em algumas plantas, taxas de colonização muito baixas como 5% já foram suficientes para permitir desenvolvimento satisfatório do vegetal (KARANIKÁ *et al.*, 2008).

Embora não haja especificidade nas associações micorrízicas entre o macro e microsimbionte, os efeitos e a intensidade destes variam de acordo com a interação, espécie de FMA e espécie vegetal, devendo ser considerados ainda os fatores bióticos e abióticos do local de cultivo, impondo aos FMA uma variação na eficiência da promoção do crescimento das plantas.

Todavia, deve ser mencionado que em situações de alta disponibilidade de nutrientes, especialmente de P, as plantas tendem a diminuir a colonização micorrízica (HIPPLER *et al.*, 2011). Johnson *et al.* (2015) confirmam esse fato ao analisarem a colonização micorrízica do feijão de corda, a qual apresentou uma correlação negativa com o nível de P no solo, sendo possível constatar o menor percentual de colonização, no solo com maior teor de P.

O padrão morfológico de colonização micorrízica observado nas raízes de feijão de corda foram do tipo intermediário em todos os tratamentos (Figura 10). As estruturas observadas foram hifas intracelulares, hifas intercelulares, hifas enoveladas e vesículas, caracterizando dessa forma o tipo intermediário, conforme descrição dos padrões morfológico de colonização realizado por Dickson (2004).

Figura 10. Padrão morfológico de colonização micorrízica em raízes de feijão de corda cultivado em solo sob diferentes doses de P. V: vesícula; HI: hifa intraradicular; HIT: hifa intercelular.



Fonte: Autor

Para Siqueira *et al.* (2013), o processo de colonização das raízes pelos FMA pode ser caracterizado pelo crescimento intracelular das hifas no tecido cortical, mesmo não havendo diferenciação das hifas em arbúsculos. Além destes, podem ocorrer vesículas e hifas enoveladas, como foi observado neste estudo, e também constatado por Camargo-Ricalde *et al.* (2012). Segundo Smith; Smith (2011a), hifas intracelulares, arbúsculos e estruturas da morfologia intermediária estão envolvidos na transferência de nutrientes, como P, para a planta hospedeira e não somente arbúsculos. Rooney *et al.* (2011) encontraram resultado semelhante ao do presente trabalho, com a observação de poucos arbúsculos em raízes de *Populus euramericana*, e isto pode estar relacionado com fatores ambientais, pois estes

influenciam no desenvolvimento dos arbúsculos. Conforme os mesmos autores, no experimento conduzido com a planta *Populus euramericana*, a frequência de arbúsculos aumentou com o tempo e em relação a presença de vesículas, sendo maior com a inoculação de *Glomus intraradices* do que com as outras espécies de FMA testadas no experimento.

Uma *et al.* (2012) avaliando o padrão morfológico de FMA em diversas espécies vegetais constataram a presença dos três tipos morfológicos, *Arum*, *Paris* e intermediário, com a predominância do tipo intermediário. Para os autores o padrão morfológico de FMA depende mais das características da planta que dos fungos, pois alguns fatores que afetam o crescimento das plantas, incluindo os fatores de solo, podem também contribuir para variabilidade morfológica observada nas raízes das espécies vegetais. No entanto, em um experimento realizado com cinco espécies de FMA e uma espécie vegetal, constatou-se diferentes padrões morfológicos, de acordo com a espécie de FMA que estivesse inoculada na planta (CAVAGNARO *et al.*, 2001). Por conseguinte, o padrão morfológico dos FMA não depende somente da planta, mas também é influenciado pela espécie de FMA, como já havia afirmado Dickson (2004). Uma *et al.* (2010) reforça essa ideia, pois na avaliação do padrão morfológico em plantas da família Zingiberaceae e Costaceae ocorreram a presença dos tipos *Arum*, *Paris* e intermediário, independente de pertencer à mesma família botânica, corroborando com a ideia de que a espécie vegetal, além do FMA que está colonizando as raízes, são importantes na determinação do padrão morfológico na planta.

Fisher; Jayachandran (2005) sugeriram que cada espécie de planta deve ter um padrão de colonização de FMA particular, que é regulado pelo hospedeiro. Fracchia *et al.* (2009) relataram que a maioria das espécies de árvores avaliadas em estudo conduzido na floresta do Chaco Serrano apresentavam tanto a morfologia *Arum*, quanto *Paris*, não havendo predominância de nenhum dos tipos morfológicos.

Jalonem *et al.* (2013) analisaram a formação da colonização micorrízica na leguminosa *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp cultivada em área sob sistema agroflorestal, sendo que, o percentual de colonização arbuscular diminuiu conforme aumentou o teor de nutrientes no solo, especialmente P. Nessa mesma área foi maior o nível de colonização vesicular na planta, pois esse tipo de colonização está associado a um aumento do investimento de carbono da planta hospedeira para o fungo. Conforme Tresseder; Allen (2002) isso ocorre devido principalmente, a condições limitantes de nutrientes no solo. O padrão morfológico observado na *Gliricidia sepium* foi *Arum* sendo possível identificar através do DNA de fragmentos de raízes cinco diferentes tipos de sequência de famílias de FMA.

3.1.4 Densidade de esporos de FMA

A densidade de esporos apresentou distribuição não paramétrica de acordo com o Teste de Shapiro-Wilk a 5% de probabilidade. Então foi realizado o Teste de Kruskal-Wallis a 5% de probabilidade e como foi constatado significância, foi comparado as médias entre os tratamentos pelo Método *Stepwise* (Tabela 9).

Tabela 9 Resultado do Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) para a variável densidade de esporos de FMA em solo cultivado com feijão de corda.

Variável	p-valor	Distribuição
Densidade de esporos	0,040	Não-paramétrica

Distribuição: Paramétrica ou Não Paramétrica.

O tratamento T3 - 100 mg P kg⁻¹ solo apresentou maior densidade com 1020 esporos por 100 gramas de solo, ocorrendo diferença significativa para os demais tratamentos. O tratamento T6 - 250 mg P kg⁻¹ solo apresentou o menor valor para DE e a partir do tratamento T4 - 150 mg P kg⁻¹ solo ocorreu diminuição do número de esporos, devido aos altos teores de P no solo. (Tabela 10).

Carneiro *et al.* (2010) avaliando a influência da inoculação micorrízica e da adubação fosfatada em estilosantes observou comportamento semelhante com a diminuição da densidade de esporos com o aumento das doses de P no solo. Esses autores relatam que o número de esporos pode variar de acordo com diferentes características, como espécie de fungo micorrízico predominante no solo, planta hospedeira, condições climáticas, entre outras. No entanto, a diminuição do número de esporos de FMA com o aumento de doses de fósforo no solo, nem sempre ocorre, Moreira *et al.* (2012) não observaram variação na densidade de esporos em função de doses crescentes de P, no solo cultivado com *Araucaria angustifolia*.

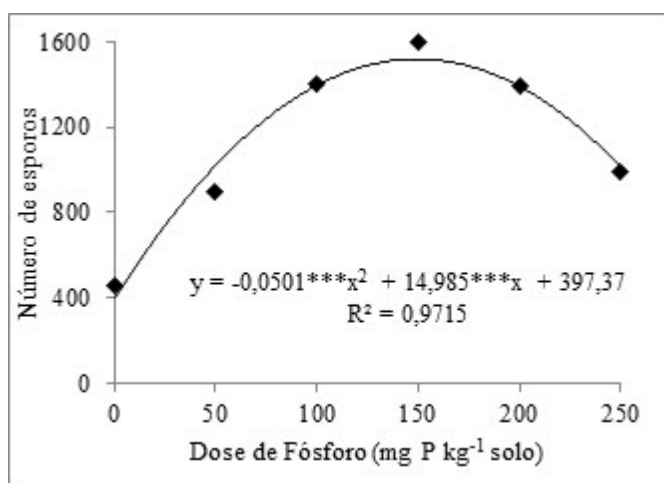
Tabela 10. Densidade de esporos para o solo adubado com doses crescentes de P e cultivado com feijão de corda. Média de cinco repetições.

T1 - 0 mg P kg ⁻¹ solo	732 b
T2 - 50 mg P kg ⁻¹ solo	616 c
T3 - 100 mg P kg ⁻¹ solo	1020 a
T4 - 150 mg P kg ⁻¹ solo	696 bc
T5 - 200 mg P kg ⁻¹ solo	648 bc
T6 - 250 mg P kg ⁻¹ solo	440 d

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem pelo Método *Stepwise* ($p < 0,05$).

A interação entre FMA e outros micro-organismos parece favorecer o aumento da densidade de esporos em cultivo de feijão de corda, como foi constatado por Mirdhe; Lakshman (2014) avaliando a inoculação com FMA, *Rhizobium* e bactérias solubilizadoras de fosfato em plantas de *Vigna unguiculata*. A tripla inoculação aumentou o número de esporos em relação a inoculação isolada ou a dupla inoculação com alguns micro-organismo mencionado anteriormente. No entanto, mesmo que fosse considerado apenas a inoculação de FMA, está favoreceu o aumento da DE em comparação ao solo cultivado com plantas que não estavam inoculadas. Demonstrando o efeito positivo da inoculação do FMA, *Funneliformis mosseae*, em elevar o número de esporos na rizosfera do feijão de corda. O modelo de regressão que apresentou melhor ajuste foi o quadrático, com número máximo de esporos de FMA no tratamento T3 - 100 mg P kg⁻¹ solo, ocorrendo diminuição a partir desse tratamento (Figura 11).

Figura 11. Densidade de esporos de FMA em solo adubado com fósforo e cultivado com feijão de corda. *** Significativo a ($p < 0,001$).



Segundo Carneiro *et al.* (2008), o número de esporos pode ter ou não correlação com o total de propágulos infectivos no solo. Sua taxa pode ir para próximo de zero em culturas a pleno pico de crescimento e com alto percentual de colonização de raiz, dependendo do fungo micorrízico, do hospedeiro, das características do solo e das condições climáticas.

No solo em que foi conduzido o experimento foi possível identificar 15 morfotipos de diferentes gêneros de FMA, ocorrendo uma predominância do gênero *Glomus*, com as espécies *Glomus etunicatum* e *Glomus glomerulatum*, seguido de espécies do gênero *Acaulospora* (Tabela 11).

Tabela 11. Espécies e número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em diferentes níveis de P em solo cultivado com feijão de corda.

Espécies	T1⁽¹⁾	T2	T3	T4	T5	T6
Gênero <i>Acaulospora</i>						
<i>Acaulospora foveata</i> Trappe & Janos	20	12	-	36	36	44
<i>Acaulospora scrobiculata</i> Trappe	24	44	52	24	32	4
<i>Acaulospora</i> aff. <i>scrobiculata</i> Trappe	36	36	48	16	24	40
<i>Acaulospora</i> aff. <i>foveata</i> Trappe & Janos	104	48	-	68	40	28
<i>Acaulospora</i> sp.1	16	48	64	- ⁽²⁾	40	20
<i>Acaulospora</i> sp.2	80	32	140	32	48	40
<i>Acaulospora</i> sp.3	8	-	12	4	16	4
Gênero <i>Ambispora</i>						
<i>Ambispora</i> sp.	40	48	36	48	16	4
Gênero <i>Glomus</i>						
<i>Glomus etunicatum</i> Becker & Gerdemann	172	192	368	172	180	124
<i>Glomus</i> sp.	48	-	88	12	36	40
<i>Glomus glomerulatum</i> Sieverding	148	128	200	260	160	110
Gênero <i>Racocetra</i>						
<i>Racocetra castanea</i> (C. Walker) Oehl, F. A. Souza & Sieverd	28	20	4	8	8	4
Gênero <i>Scutellospora</i>						
<i>Scutellospora calospora</i> (Nicolson & Gerdemann) Walker & Sanders	4	-	4	12	12	8
<i>Scutellospora biornata</i> Spain, Sieverding & Toro	-	-	4	-	-	-
Não identificado	4	8	-	4	-	-

⁽¹⁾ T1 - 0 mg P kg⁻¹ solo; T2 - 50 mg P kg⁻¹ solo; T3 - 100 mg P kg⁻¹ solo; T4 - 150 mg P kg⁻¹ solo; T5 - 200 mg P kg⁻¹ solo; T6 - 250 mg P kg⁻¹ solo. ⁽²⁾ Ausência de esporos.

A presença ou ausência de determinada espécie de FMA nas doses de P foi bastante variável, aparentemente não apresentando uma regra lógica, dados semelhantes foram observados por Moreira *et al.* (2012). Todavia, independente das doses de P adicionadas ao solo, pelo menos 50% dos esporos extraídos por via úmida pertenciam ao gênero *Glomus*, demonstrando a prevalência desse gênero sobre os demais.

Resultado similar foi observado por Silva (2013) em solo coletado na região do Cariri cearense e por Mendes (2014) em solo coletado no município de Irauçuba-Ce. De acordo com Mello *et al.* (2012) os FMA são componentes comuns da microbiota edáfica na

região semiárida brasileira, com espécies do gênero *Glomus* predominando nesse ambiente. Em geral, a região semiárida no Brasil é caracterizada por solos em condições adversas de temperatura, baixa umidade, pH e baixa fertilidade, demonstrando que *Glomus* tem uma maior capacidade de adaptação a solos com essas características. O solo em que o presente trabalho foi conduzido, além da baixa fertilidade, tinha um pH inicial ácido, o que pode ter colaborado para a predominância do gênero *Glomus*. Em estudo de campo para avaliar a diversidade de espécies de FMA na rizosfera de *Vigna unguiculata* L., a análise filogenética permitiu encontrar 25 grupos monofiléticos distintos, sendo 23 da família Glomeraceae e 2 da família Gigasporaceae (JOHNSON *et al.*, 2015).

Segundo Assis *et al.* (2014), as espécies da família Glomeraceae são consideradas generalistas e conseguem propagar-se em ambientes com diferentes características, pois possuem uma grande capacidade de esporulação e alta adaptabilidade a solos agrícolas submetidos a diferentes manejos. Por isso é tão comum a predominância de algumas espécies de Glomeraceae em solos cultivados ou sob vegetação nativa.

Johnson *et al.* (2013) avaliaram a diversidade de fungos micorrízicos arbusculares nativos na rizosfera de solos cultivados com feijão de corda em Benin, no continente africano. Predominaram nesses solos gêneros da família Glomeraceae com 92% de abundância na rizosfera dos solos coletados, com prevalência do gênero *Glomus*. Os autores atribuíram esse resultado a dominância da família Glomeraceae a diferentes agro-ecossistemas. Os gêneros desta família são considerados melhor adaptados a ambientes com distúrbios ou estresse, provenientes do manejo realizado pelos agricultores, bem como a baixa fertilidade, característica marcante dos solos estudados na referida pesquisa.

Dados obtidos por Azevedo *et al.* (2014) concordam em parte com os obtidos no presente trabalho, uma vez que predominaram na rizosfera de genótipos de amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* e *A. repens*) as espécies de FMA pertencentes aos seguintes gêneros: *Glomus*, *Acaulospora* e *Racocetra*, indicando maior compatibilidade da espécie vegetal com esses gêneros.

3.2 Experimento com milho.

3.2.1 Altura da planta, diâmetro do colmo, número de folhas e massa da matéria seca da parte aérea.

O resultado do Teste de normalidade de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) está apresentado na Tabela 12, para as variáveis altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de

folhas (NF) e massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA) em relação ao experimento com milho.

Tabela 12. Resultado do Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$), para as variáveis altura da planta, diâmetro do colmo, número de folhas e massa da matéria seca da parte aérea em plantas de milho.

Variáveis	p-valor	Distribuição
Altura da planta	0,000	Não-paramétrica
Diâmetro do caule	0,000	Não-paramétrica
Número de folhas	0,000	Não-paramétrica
Massa da matéria seca da parte aérea	0,001	Não-paramétrica

Distribuição: Paramétrica ou Não Paramétrica.

Em função da distribuição não-paramétricas dos dados obtidos foi empregado o Teste de Kruskal-Wallis e, quando observada significância ($p < 0,05$), as médias entre os tratamentos foram comparadas pelo Método *stepwise*.

3.2.1.1 Altura das plantas (AP)

Observa-se aumento da altura das plantas (AP) até o tratamento T4 - 120 mg P kg⁻¹ solo, a partir do qual ocorreu redução do crescimento devido aos altos teores de P (Tabela 13), como também foi observado por Quaresma *et al.* (2010) em experimento que avaliou o desenvolvimento do milho sob diferentes doses de adubação fosfatada. Resultado similar foi obtido por Rocha *et al.* (2006) avaliando o crescimento de mudas de cedro inoculadas com FMA e adubadas com doses crescentes de P. Nas maiores doses de P adicionadas ao solo ocorreu redução do crescimento da muda e, conforme os autores, isso evidencia que, com o aumento das doses de P aplicado ao solo, os FMA passam a ser desnecessários à planta e a representar um gasto fotossintético não compensatório.

Tabela 13. Altura das plantas (AP), diâmetro do colmo (DC), número de folhas (NF) e massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA) do milho cultivado sob seis doses de P. Média de cinco repetições.

Tratamentos	AP (cm)	DC (mm)	NF	MMSPA (g)
T1 - 0 mg P kg ⁻¹ solo	20,6 d	4,3 c	7,2 c	0,7 d
T2 - 40 mg P kg ⁻¹ solo	47,9 c	8,3 b	11,4 b	3,8 c
T3 - 80 mg P kg ⁻¹ solo	58,9 b	12,8 a	12,0 b	6,9 b
T4 - 120 mg P kg ⁻¹ solo	65,1 a	14,0 a	13,7 a	9,7 a
T5 - 160 mg P kg ⁻¹ solo	55,1 bc	14,1 a	12,3 b	9,2 a
T6 - 200 mg P kg ⁻¹ solo	52,3 bc	14,5 a	12,1 b	9,1 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo Método *stepwise* a 5% de significância.

Em experimento com diferentes genótipos de milho inoculados ou não com FMA, observou-se efeito significativo da inoculação em aumentar a altura das plantas de seis genótipos, demonstrando que a ausência destes micro-organismos prejudica o crescimento dos genótipos de milho avaliados em condições de baixa disponibilidade de fósforo. Dessa maneira, pode ser considerado essencial a realização de uma possível inoculação com FMA para se ter um bom desenvolvimento destas plantas (CAMPOS *et al.*, 2010).

Cancellier *et al.* (2010), ao conduzirem experimento com milho cultivado em doses crescentes de esterco bovino, observaram um modelo de regressão linear para a variável AP, embora deva ser ressaltado a menor disponibilidade de P do adubo orgânico em relação a utilização de adubo mineral como o superfosfato triplo. Zucareli *et al.* (2011) constataram aumento da AP de milho em função do incremento da dose de P adicionada ao solo. Entretanto, de acordo com os mesmos autores, a altura de plantas de milho geralmente não possui correlação com a produtividade.

Cultivares modernas, com alto potencial produtivo são, em sua maioria, de porte baixo, mas é possível encontrar plantas de milho com porte alto e performances idênticas. Oliveira *et al.* (2012), em experimento sob condições de campo, não observaram diferença significativa entre as diferentes doses de adubação NPK adicionadas ao solo, para a variável altura de plantas de milho.

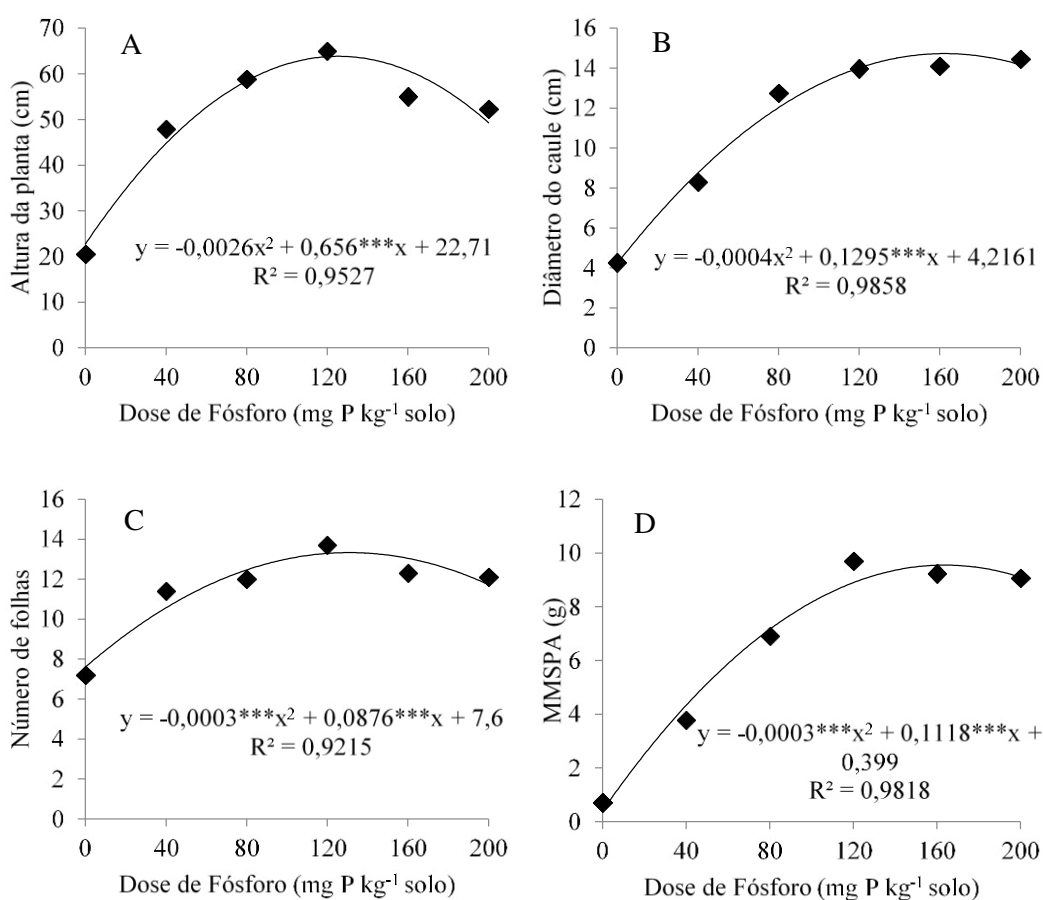
O controle apresentou menor crescimento, com apenas 20,6 cm de altura, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. A razão para esse comportamento está relacionada ao fato do solo desse tratamento não ter sido adubado com P. De acordo com

Coimbra *et al.* (2014) o P é um nutriente limitante no Brasil e no mundo. Sua típica baixa disponibilidade no solo, e a conseqüente diminuição na absorção desse elemento pela planta, afetará o crescimento e o desenvolvimento da espécie vegetal com redução no metabolismo, diminuição da biomassa, afetando diretamente a produtividade.

O modelo de regressão estabelecido para a variável AP foi o quadrático (Figura 12A), ocorrendo aumento na altura da planta, com a adição de P no solo, até a dose 120 mg P kg⁻¹ solo, onde observou-se a AP máxima. O solo utilizado no experimento possuía uma baixa disponibilidade natural de fósforo (Tabela 1), o que possibilitou respostas à adubação fosfatada a partir do tratamento T2 - 40 mg P kg⁻¹ solo. Esse fato também foi observado por Silva *et al.* (2012) avaliando o crescimento do milho em casa de vegetação e adubado com diferentes doses e fontes de P.

Figura 12. Altura da planta (A), diâmetro do colmo (B), número de folhas (C) e massa da matéria seca da parte aérea (D) em plantas de milho adubadas com P (mg P kg⁻¹ solo).

*** Significativo a (p < 0,001).



3.2.1.2 Diâmetro do colmo (DC)

No diâmetro do colmo (DC) observa-se incremento com o aumento das doses de P, obtendo-se um modelo de regressão quadrático (Figura 12B). O maior valor ocorreu no tratamento T6 - 200 mg P kg⁻¹ solo com 14,5 mm, embora sem apresentar diferença estatística para os tratamentos T3 – 80 mg P kg⁻¹ solo, T4 – 120 mg P kg⁻¹ solo e T5 – 160 mg P kg⁻¹ solo. O tratamento T1 - 0 mg P kg⁻¹ solo apresentou o menor valor de DC, igualmente como ocorreu na altura de plantas, constatando o efeito negativo da ausência de P no desenvolvimento das plantas, fato associado ao baixo teor de P do solo em que foi conduzido o experimento (Tabela 12).

Valderrama *et al.* (2011) obteve resultado similar para o DC em plantas de milho, o qual foi influenciado pelas doses crescentes de superfosfato triplo aplicadas. Nascimento *et al.* (2014) também obtiveram resultados semelhantes com milho adubado com diferentes doses de superfosfato triplo, em comparação a outras fontes de P. Conforme Dartora *et al.* (2013) um maior diâmetro do colmo no milho está diretamente relacionado com o aumento da produção, pois permite um maior armazenamento de sólidos solúveis que serão utilizados na formação dos grãos. Plantas de milho com baixo diâmetro do colmo apresentam, conseqüentemente, uma característica indesejável pois estarão mais susceptíveis ao quebraamento e ao acamamento, diminuindo a produtividade na área (DEMETRIO *et al.*, 2008; CASTRO; PREZOTTO, 2008).

Entretanto, Campos *et al.* (2010), avaliando efeito da inoculação micorrízica em nove genótipos de milho, não observaram diferença significativa para diâmetro do colmo entre os genótipos que foram inoculados com FMA, constatando que esses genótipos de milho não respondem a inoculação micorrízica.

Oliveira *et al.* (2009) avaliaram o efeito da adubação fosfatada no crescimento do milho em condições controladas e para o diâmetro do colmo observaram aumento do DC a partir dos acréscimos nas doses de P adicionadas ao solo.

3.2.1.3 Número de folhas (NF)

A variável número de folhas (NF) apresentou o maior valor no tratamento T4 – 120 mg P kg⁻¹ solo, com diferença significativa para os demais tratamentos (Tabela 12). O modelo de regressão quadrático é o que mais adaptou-se para a variável NF (Figura 12C). A

partir do tratamento com maior NF (T4 - 120 mg P kg⁻¹ solo) ocorreu uma redução dos valores observados para essa variável, uma vez que, os altos teores de P no solo reduziram o crescimento da planta, comportamento anteriormente constatado por Oliveira; Alixandre (2013). Esses autores, avaliando a influência da inoculação micorrízica e da fertilização fosfatada em mudas de *Mimosa caesalpinifolia* Benth, observaram que para a variável número de folhas um modelo de regressão quadrático era o mais adequado, ocorrendo nas maiores doses de P uma redução do número de folhas.

Todavia, Alves *et al.* (2009) observaram incremento na área foliar em milho adubado com doses crescentes de superfosfato simples em experimento conduzido em casa de vegetação.

Dados semelhantes aos obtidos no presente trabalho também foram encontrados por Oliveira *et al.* (2009) os quais avaliando o efeito de doses crescentes de P no crescimento do milho em ambiente controlado para a variável área foliar, obtiveram um modelo de regressão quadrático para as respostas dessa variável.

3.2.1.4 Massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA)

Ocorreu um incremento da MMSPA com o aumento da dose de P até o tratamento T4 – 120 mg P kg⁻¹ solo, que teve o maior valor com (9,7g) e, a partir da qual, observou-se pequena redução da matéria seca. Entretanto não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos T4 – 120 mg P kg⁻¹ solo a T6 – 200 mg P kg⁻¹ solo (Tabela 13). O tratamento T1 – 0 mg P kg⁻¹ solo obteve a menor MMSPA devido ter sido cultivado em solo sem adição de P, considerando-se que o solo utilizado no experimento tinha um baixo teor de P, segundo sua análise química (Tabela 1). Esses dados estão de acordo com os obtidos por Harger *et al.* (2007) que avaliaram o crescimento inicial do milho cultivado em casa de vegetação e adubado com diferentes fontes e doses de P.

Observa-se um modelo de regressão quadrático com valor máximo de MMSPA na dose de 120 mg P kg⁻¹ solo (Figura 12D), com ligeira diminuição da matéria seca da parte aérea quando as plantas foram adubadas com doses acima desse valor mencionado. A presença dos FMA nativos no solo em que as plantas foram cultivadas, principalmente nas menores doses de P, podem ter contribuído para um melhor aproveitamento e absorção dos nutrientes do solo e em especial o P. Jeong *et al.* (2006) constataram efeito positivo da inoculação de três espécies de FMA, sendo duas de *Glomus* e uma de *Scutellospora*, em plantas de milho em relação à massa da matéria da parte aérea, em comparação com plantas

não inoculadas ou inoculadas somente com uma das espécies de FMA. Esse resultado indica que a colonização micorrízica nas raízes das plantas com mais de uma espécie de FMA estimula o crescimento das plantas hospedeiras. Além disso, o aumento da diversidade de espécies de FMA no solo aumentará a produtividade através da exploração e utilização mais eficientes de fósforo no solo (SMITH *et al.*, 2000). Rame *et al.* (2015) também verificaram efeito favorável da inoculação de FMA, *Glomus mosseae*, em plantas de milho para a matéria seca da parte aérea, se for comparada as plantas não inoculadas.

Tiritan *et al.* (2010a), objetivando avaliar os efeitos do P na cultura do milho adubada com doses crescentes de P e duas fontes de adubos, superfosfato simples e organomineral, concluíram que a adubação fosfatada garantiu maior massa de matéria seca da parte aérea. No experimento mencionado anteriormente, o modelo de regressão mais adequado foi o quadrático, com pequena diminuição da MMSPA na maior dose de P, resultados que corroboram com os dados obtidos no presente estudo, reafirmando, dessa maneira, a importância do P para ganhos em produtividade na cultura do milho.

3.2.2 Teor de macronutrientes.

O resultado do teste de normalidade para as variáveis referentes aos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na parte aérea do milho encontra-se na Tabela 14.

Tabela 14. Resultado do Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) para os teores de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio e Magnésio na parte aérea das plantas de milho.

Variáveis	p-valor	Distribuição
Nitrogênio	0,012	Não-paramétrica
Fósforo	0,291	Paramétrica
Potássio	0,116	Paramétrica
Cálcio	0,000	Não-paramétrica
Magnésio	0,000	Não-paramétrica

Distribuição: Paramétrica ou Não Paramétrica.

Os nutrientes nitrogênio, cálcio e magnésio apresentaram distribuição não paramétrica, empregando-se o Teste de Kruskal-Wallis e, quando observada significância ($p < 0,05$), comparou-se as médias entre os tratamentos pelo Método *stepwise* (Tabela 15).

Para o fósforo, por apresentar distribuição paramétrica, foi realizado o Teste de Levene para testar a homogeneidade das variâncias. Como o resultado do teste apresentou a variância heterogênea, aplicou-se o Teste de Brown-Forsythe ($p < 0,05$). Uma vez constatada significância, foi aplicado, em seguida, o Teste de Games-Howell ($p < 0,05$) para a comparação das médias dos tratamentos.

Tabela 15. Teores de Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) na parte aérea do milho cultivado sob seis doses de P. Média de cinco repetições.

Tratamentos	N (g kg ⁻¹) ¹	P (g kg ⁻¹) ²	K (g kg ⁻¹) ³	Ca (g kg ⁻¹) ¹	Mg (g kg ⁻¹) ¹
T1 - 0 mg P kg ⁻¹ solo	27,50 a	1,65 abc	29,00 ab	3,30 a	5,50 a
T2 - 40 mg P kg ⁻¹ solo	22,10 ab	1,64 abc	33,60 a	3,70 a	5,10 a
T3 - 80 mg P kg ⁻¹ solo	20,30 b	1,35 c	25,40 abc	3,10 a	4,40 a
T4 - 120 mg P kg ⁻¹ solo	17,00 b	1,62 bc	20,50 bc	3,10 a	4,40 a
T5 - 160 mg P kg ⁻¹ solo	19,00 b	2,15 ab	20,90 bc	2,90 a	4,60 a
T6 - 200 mg P kg ⁻¹ solo	17,80 b	2,20 a	16,70 c	3,20 a	5,10 a

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo Método *stepwise* ($p < 0,05$).

² Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem pelo Teste de Games-Howell ($p < 0,05$).

³ Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para o potássio, que apresentou distribuição paramétrica, foi utilizado o Teste de Levene, para testar a homogeneidade da variância que, quando homogênea, realizou-se a Análise de Variância (ANOVA). A partir da constatação da significância, foi empregado o Teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparar as médias dos tratamentos (Tabela 15).

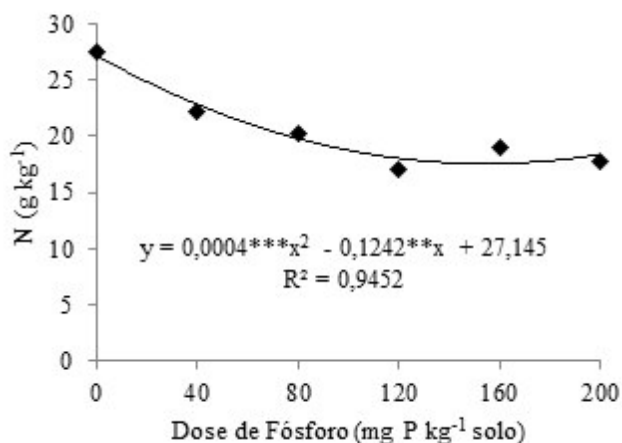
3.2.2.1 Nitrogênio

O teor de nitrogênio (N) na parte aérea do milho não foi influenciado pelas doses de P adicionadas ao solo (Tabela 14). Nos tratamentos T2 - 40 mg P kg⁻¹ solo a T6 -200 mg P kg⁻¹ solo, ocorreu efeito de diluição pois todos esses tratamentos tiveram maior MMSPA que o tratamento T1 - 0 mg P kg⁻¹ solo, embora tenha sido esse tratamento o que apresentou o maior valor para teor de N com 27,50 g kg⁻¹. O modelo de regressão quadrático está apresentado na

Figura 13.

Figura 13. Teor de nitrogênio na parte aérea do milho adubado com P.

** e *** Significativo a ($p < 0,01$) e a ($p < 0,001$), respectivamente.



Alguns estudos procuram relacionar a adubação mineral ou orgânica ao efeito positivo da presença de FMA nas raízes das espécies vegetais para a absorção de nutrientes, como por exemplo, nitrogênio e fósforo. Alguacil *et al.* (2011) avaliando a colonização micorrízica em seis espécies vegetais e a adição de resíduo orgânico num solo com metais pesados constataram efeito benéfico dos FMA em promover aumento na absorção de N. Xie *et al.* (2014) observaram efeito significativo da inoculação com FMA para a variável teor de N em *Kandelia obovata* adubada com diferentes doses de P, em comparação as plantas não inoculadas, embora nas doses mais altas de P o efeito benéfico dos FMA foi restringido. De um modo geral podemos assumir que os FMA presentes no solo podem favorecer a absorção de N em diversas espécies vegetais, especialmente em solo com baixos teores de P, como também foi observado por Zhao *et al.* (2015), em solo cultivado com milho.

Entretanto resultados contraditórios têm sido observados, como os obtidos no presente trabalho, em que plantas de milho adubadas com doses crescentes de superfosfato triplo não tiveram acréscimos no teor de N da parte aérea, resposta semelhante à obtida por Oliveira *et al.* (2015). Todavia, Silva *et al.* (2009) obteve efeito significativo da adubação fosfatada sobre o teor de N da parte aérea do milho e é sugerida aos produtores a adoção de cultivares eficientes na absorção de N, pois esse nutriente é requerido em grandes quantidades pelo milho.

3.2.2.2 Fósforo

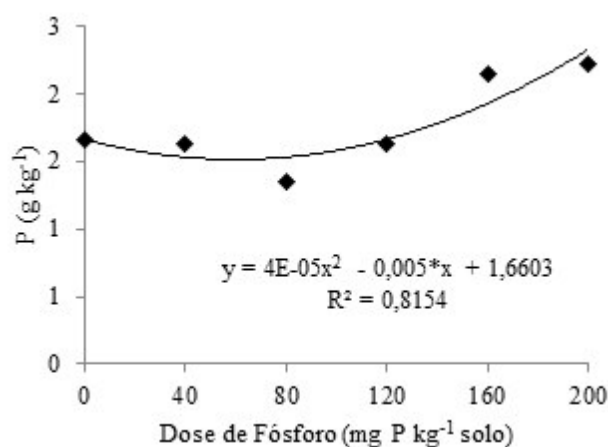
Observou-se efeito significativo para o teor de fósforo (P) na parte aérea do milho adubado com doses crescentes de P (Tabela 15). O maior teor de P foi obtido no tratamento T6 - 200 mg P kg⁻¹ solo, apesar de não diferir significativamente para o tratamento T5 - 160 mg P kg⁻¹ solo. Reis *et al.* (2008) obtiveram resultado parecido com o do presente trabalho, quando o milho adubado com doses de P e inoculado com FMA constatou-se aumento no teor de P da parte aérea, na maior dose de P adicionada ao solo pela adubação fosfatada. Apesar de que nesse ambiente sem restrição de fósforo, o efeito da micorrização foi reduzido, fato comumente relatado em solos com altos teores de P. Alguacil *et al.* (2010) constataram aumento nos teores de P na parte aérea de *Centrosema macrocarpum* a partir da adubação com duas fontes e doses crescentes de P. Entretanto, as altas doses de P adicionadas ao solo promoveram alterações na comunidade de FMA, diminuindo a diversidade de espécies em relação ao solo adubado com baixa dose de P.

Cozzolino *et al.* (2013) verificaram efeito significativo da inoculação de *Glomus intraradices* em plantas de milho adubado com NPK para teor de P na parte aérea em relação as plantas adubadas, mas não inoculadas com FMA. Mau; Utami (2014) estudando a inoculação micorrízica no milho com diferentes quantidades de esporos de FMA, em solo não estéril, observaram aumento significativo no teor de P na parte aérea das plantas inoculadas, quando comparado ao tratamento não inoculado.

O modelo de regressão quadrático está apresentado na Figura 14. Constata-se aumento no teor de P da parte aérea do milho, com o aumento das doses de P adicionado ao solo. De modo similar, Harger *et al.* (2007) obtiveram modelo de regressão quadrático em experimento conduzido em casa de vegetação, avaliando o teor de P na parte aérea do milho cultivado em solo adubado com diferentes doses de P.

Figura 14. Teor de fósforo na parte aérea do milho adubado com P.

* Significativo a ($p < 0,05$).



Resultado análogo foi obtido por Valderrama *et al.* (2011) em cultivo de milho adubado com P, no qual o maior teor de fósforo na parte aérea da planta ocorreu quando a maior dose de P foi adicionada ao solo. Segundo esses autores, a maior disponibilização de P no solo pela adubação fosfatada contribuiu para esse resultado, embora o aumento observado no teor de P nas folhas não se refletiu em aumentos nos índices de crescimento avaliados, comportamento semelhante ao observado no presente trabalho (Tabela 15).

Gerlach *et al.* (2015) avaliaram o efeito da inoculação com FMA, *Rhizophagus irregularis* na absorção de nutrientes por plantas de milho e constataram maior absorção de P pelas plantas inoculadas se comparadas as não inoculadas. Em experimento realizado em casa de vegetação com milho adubado com doses crescentes de fosforita Alvorada observou-se efeito significativo da adubação fosfatada em incrementar o teor de P na parte aérea das plantas (FOLONI *et al.*, 2008).

Tiritan *et al.* (2010b) também obtiveram modelo de regressão quadrático para teor de P na parte aérea de milho adubado com diferentes doses de P e cultivado em ambiente controlado. A adubação fosfatada, de um modo geral, aumenta a disponibilidade de P no solo o que pode favorecer uma maior absorção de P pela planta. Contudo, quando estas estão colonizadas por FMA, os altos teores de P limitaram os benefícios decorrentes dessa associação mutualística.

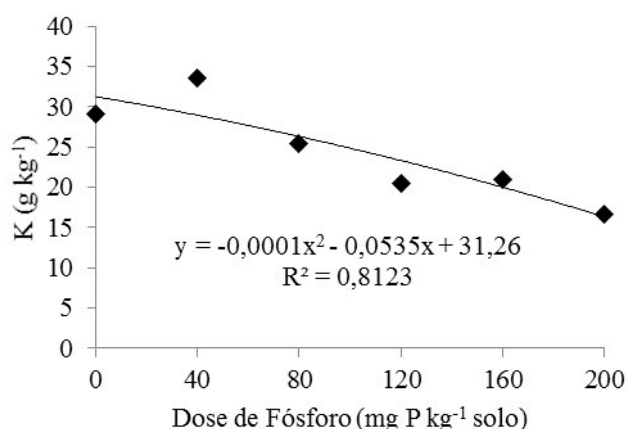
3.2.2.3 Potássio

O teor de potássio (K) na parte aérea do milho não foi influenciado pela adubação

fosfatada, observando-se maior valor no tratamento T2 - 40 mg P kg⁻¹ solo, sem haver diferença significativa, para o tratamento controle, sem adição de K. (Tabela 15). O modelo de regressão quadrático está apresentado na Figura 15. A partir da dose 80 mg P kg⁻¹ solo até o último valor acrescentado no solo, observou-se pequena redução no teor de K, sem ocorrer diferença estatística significativa entre esses tratamentos.

Oliveira *et al.* (2015) também não constataram efeito significativo da adubação fosfatada no teor de potássio na parte aérea do milho. Resultado similar foi obtido por Zuba Junio *et al.* (2013) avaliando o teor de K na parte aérea de milho submetido a diferentes doses de adubação fosfatada. Corroborando com os dados da presente pesquisa, os observados por Zhao *et al.* (2015), na qual não observaram efeito significativo da inoculação com FMA (*Rhizophagus intraradices*) para teor de potássio na parte aérea do milho.

Figura 15. Teor de potássio na parte aérea do milho adubado com P.



Melo *et al.* (2015) observaram maior absorção do teor de K em plantas de milho cultivadas em solo que teve a acidez corrigida com calcário e adubado com NPK quando comparadas a outras espécies vegetais cultivadas em solo submetido ao mesmo manejo. Esse resultado demonstra a maior eficiência do milho para absorver e acumular K na parte aérea, em relação as outras espécies vegetais.

3.2.2.4 Cálcio

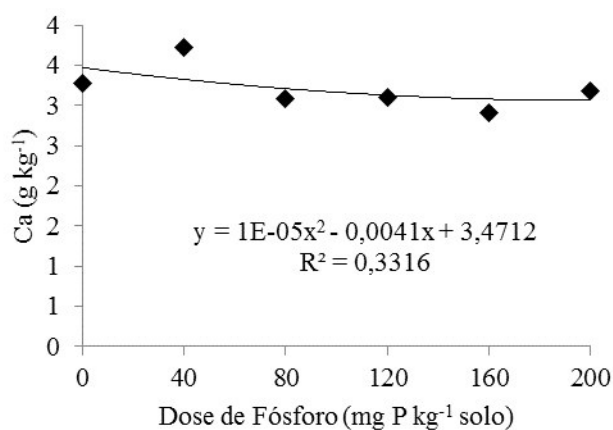
O teor de cálcio (Ca) na parte aérea do milho adubado com diferentes doses de P não sofreu influência da adubação fosfatada (Tabela. 14). Zuba Junio *et al.* (2013) obtiveram resultado semelhante ao verificarem que a adubação fosfatada não proporcionou aumento no teor de Ca nos tecidos vegetais do milho. Entretanto Melo *et al.* (2015), testando plantas de

milho cultivadas em solo com acidez corrigida com calcário e adubado com NPK, verificaram uma maior absorção de Ca em seus tecidos.

Cury *et al.* (2012), em estudo para determinar os efeitos da competição entre cultivares de milho e plantas de crescimento espontâneo para acúmulo de nutrientes na parte aérea, observaram que o cultivo da variedade de milho AL 25 em solo adubado com NPK favoreceu uma maior absorção de Ca. Segundo os autores isso indica que, para o Ca, a competição do milho com a plantas daninhas não interferiu na absorção desse nutriente.

O modelo de regressão quadrático está representado na Figura 16.

Figura 16. Teor de cálcio na parte aérea do milho adubado com P.



3.2.2.5 Magnésio

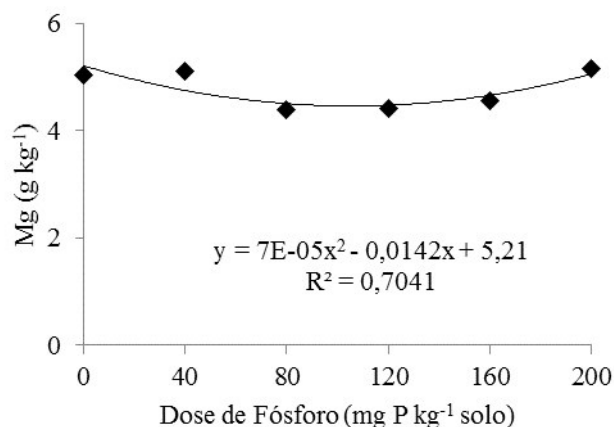
De acordo com o resultado obtido para o teor de magnésio (Mg) na parte aérea do milho não ocorreu influência significativa da adubação fosfatada para essa variável (Tabela 15). Alguacil *et al.* (2010) não observaram efeito significativo para teor de Mg na parte aérea de *Centrosema macrocarpum*, a qual tinha em suas raízes estruturas de FMA e foi cultivada em solo fertilizado com diferentes fontes e doses de P. Os autores constataram modificação na comunidade de FMA no solo submetido a doses mais altas de P. Esses resultados confirmam uma menor dependência da planta aos FMA em solos com alta fertilidade, fato também já observado por Oliveira; Alixandre (2013).

Oliveira *et al.* (2015) também não constataram efeito significativo da adubação fosfatada para o teor de Mg na parte aérea de plantas de milho. No entanto Zhao *et al.* (2015) atribuíram o aumento no teor de Mg na parte aérea de milho, a inoculação com o FMA, *Rhizophagus intraradices*, pois as plantas não inoculadas, tiveram um teor menor significativamente desse nutriente, indicando que a presença do FMA contribuiu para maior

absorção de Mg.

O modelo de regressão quadrático está apresentado na Figura 17.

Figura 17. Teor de magnésio na parte aérea do milho adubado com P.



3.2.3 Colonização micorrízica (CM) e o padrão morfológico.

A micorrização do milho ocorreu de forma natural, através da própria abundância de esporos nativos contidos no solo. A colonização micorrízica apresentou uma distribuição paramétrica de acordo com o Teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) e, como apresentou significância no Teste de Levene (variâncias homogêneas), comparou-se as médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) (Tabela 16).

Tabela 16. Resultado do Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) para a variável colonização micorrízica em solo cultivado com milho.

Variável	p-valor	Distribuição	Teste de Levene	Comparação de médias
Colonização micorrízica	0,228	Paramétrica	Variâncias Homogêneas	Teste de Tukey

Distribuição: Paramétrica ou Não Paramétrica;

Teste de Levene: Variâncias Homogêneas ou Heterogêneas;

Comparação de Médias: Teste de Tukey ou Teste de Games-Howell.

O tratamento T3 - 80 mg P kg⁻¹ solo apresentou a maior porcentagem de colonização micorrízica, diferindo significativamente dos demais tratamentos (Figura 16). Um dos principais efeitos benéficos da presença de FMA nas raízes das plantas é o aumento do

crescimento do hospedeiro, associado, principalmente, a uma maior absorção de nutrientes.

Geralmente relaciona-se maior desenvolvimento da espécie vegetal a altos percentuais de colonização micorrízica, considerando o efeito de outros fatores que podem influenciar no crescimento da planta (CAMERON, 2010). Por conseguinte, pode-se relacionar o crescimento observado nas plantas do tratamento T3 - 80 mg P kg⁻¹ solo (Tabela 13) à presença de estruturas de FMA nas suas raízes, admitindo-se ser esse um dos fatores que contribuíram para o desenvolvimento das plantas. Esse fato já havia sido observado anteriormente por Cozzolino *et al.* (2013) em plantas de milho inoculadas com *Glomus intraradices* em solo não estéril e adubadas com NK ou NPK, as quais apresentaram alto percentual de CM e maior biomassa vegetal que aquelas não inoculadas, apesar de essas terem recebido a mesma adubação.

Tabela 17. Colonização micorrízica em solo adubado com doses crescentes de P e cultivado com milho. Média de cinco repetições.

T1 - 0 mg P kg ⁻¹ solo	40,50% b
T2 - 40 mg P kg ⁻¹ solo	55,60% a
T3 - 80 mg P kg ⁻¹ solo	61,10% a
T4 - 120 mg P kg ⁻¹ solo	45,30% b
T5 - 160 mg P kg ⁻¹ solo	39,80% b
T6 - 200 mg P kg ⁻¹ solo	27,50% c

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem pelo Teste de Tukey (p < 0,05).

A partir do tratamento T4 - 120 mg P kg⁻¹ solo observou-se diminuição da CM, comportamento relacionado ao aumento da disponibilidade de P no solo. Fato também relatado por Sharda; Koide (2010) em plantas de milho adubadas com superfosfato triplo em alta concentração de P, em que as plantas tiveram o percentual de CM reduzido significativamente em comparação as plantas adubadas com baixa concentração de P. Concordam com os dados apresentados no presente trabalho, os resultados obtidos por Covacevich *et al.* (2007) em experimento com *Triticum aestivum* L colonizado por FMA nativos e cultivado em solo sob diferentes doses de P. Conforme esses autores, a colonização micorrízica diminuiu significativamente em função da alta concentração de P no solo, que afetou diretamente o desenvolvimento das hifas dos fungos, além da planta ter ficado menos dependente de FMA em ambiente com alta fertilidade.

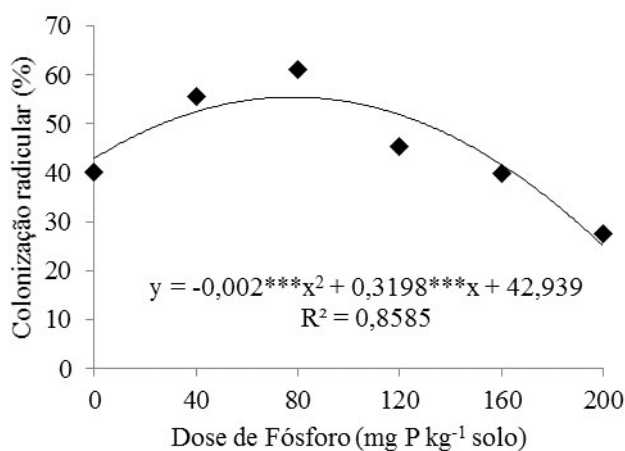
De acordo com Nyaga *et al.* (2015) em pesquisa realizada numa área de cultivo de milho com nível elevado de P no solo, resultou em diminuição da colonização micorrízica e no número de esporos de FMA. Os efeitos positivos da inoculação com FMA se manifestam com mais intensidade, apenas em condições sub-ótimas de disponibilidade de P, portanto, onde as condições do solo têm baixo nível de P, o FMA poderá não ser eficaz. Em alto nível de disponibilidade de P no solo, o FMA é igualmente ineficaz e poder ser prejudicial, pois o carbono que será realocado da planta para o micro-organismo poderia explicar declínio no rendimento de grãos na produção, uma vez que, a absorção de P pelo fungo, não está sendo mais necessária. Efeitos negativos dos altos níveis de fósforo no solo sobre a colonização micorrízica já foi relatado em um estudo realizado por Jefwa *et al.* (2009). Sob condições sub-ótimas de P, o carbono realocado para o fungo é compensado pelo aumento da absorção de fósforo pela planta como resultado da colonização micorrízica (NYAGA *et al.*, 2015).

Cheeke *et al.* (2011), avaliando a inoculação de *Glomus mosseae* em duas cultivares de milho, sendo uma delas transgênica, e fertilizada com duas concentrações de P na solução nutritiva (baixa e alta), observaram que independentemente da quantidade de esporos inoculados nas duas cultivares, a colonização micorrízica diminuiu quando as plantas foram adubadas com alta concentração de P. Esses resultados também se assemelham aos dados obtidos pelo presente estudo, nos quais altas doses de P aplicadas ao solo diminuiu significativamente o nível de colonização micorrízica no milho.

Na figura 18 é apresentado modelo de regressão quadrático para a CM em milho adubado com P.

Figura 18. Colonização micorrízica em solo adubado com fósforo e cultivado com milho.

*** Significativo a ($p < 0,001$).



O percentual de CM aumentou até a dose 80 mg P kg⁻¹ solo, na qual atingiu o valor máximo de CM. A partir da dose 120 mg P kg⁻¹ solo, observa-se redução no percentual de CM, devido provavelmente, ao acréscimo no teor de P no solo cultivado com milho. Balota *et al.* (2010) também observaram modelo de regressão quadrático para CM em plantas de *Arachis hypogaea* e *Helianthus annuus* L. inoculadas com FMA e cultivadas em solo sob diferentes doses de P. Os menores valores de CM foram observados nas maiores concentrações de P adicionados ao solo. Segundo os autores, a diminuição na colonização micorrízica devido ao aumento da adição de P é considerada normal, pois as plantas que apresentam estado nutricional adequado teriam mecanismos para reduzir o desenvolvimento ou a atividade de FMA nas suas raízes, objetivando reduzir o custo energético que a manutenção da associação representa para a planta.

Samarrão *et al.* (2011), estudando a colonização micorrízica em *Annona muricata* cultivada em solo não estéril e adubado com diferentes doses de P, igualmente constataram redução no percentual da CM, razão atribuída às maiores doses de P adicionadas ao solo.

O tratamento controle, apesar de apresentar um percentual de CM superior a 40%, não resultou em benefício para a planta, o que pode ser observado na Tabela 12. Como já relatado em outros estudos, um alto percentual de CM não necessariamente implicará em maior crescimento para as plantas, uma vez que como a fertilidade do solo, entre outros, exercem influência no desenvolvimento da planta. Lacerda *et al.* (2011) relataram resultado similar em plantas de *Jacaranda cuspidifolia* cultivadas em solo não estéril e com baixo nível de P, as quais apresentaram percentuais de CM semelhantes aos obtidos na presente pesquisa, embora tenham apresentado crescimento reduzido em relação as plantas cultivadas também em solo não estéril, mas com alto nível de P, constatando-se um efeito benéfico da adubação

fosfatada no crescimento da planta em conjunto com os FMA.

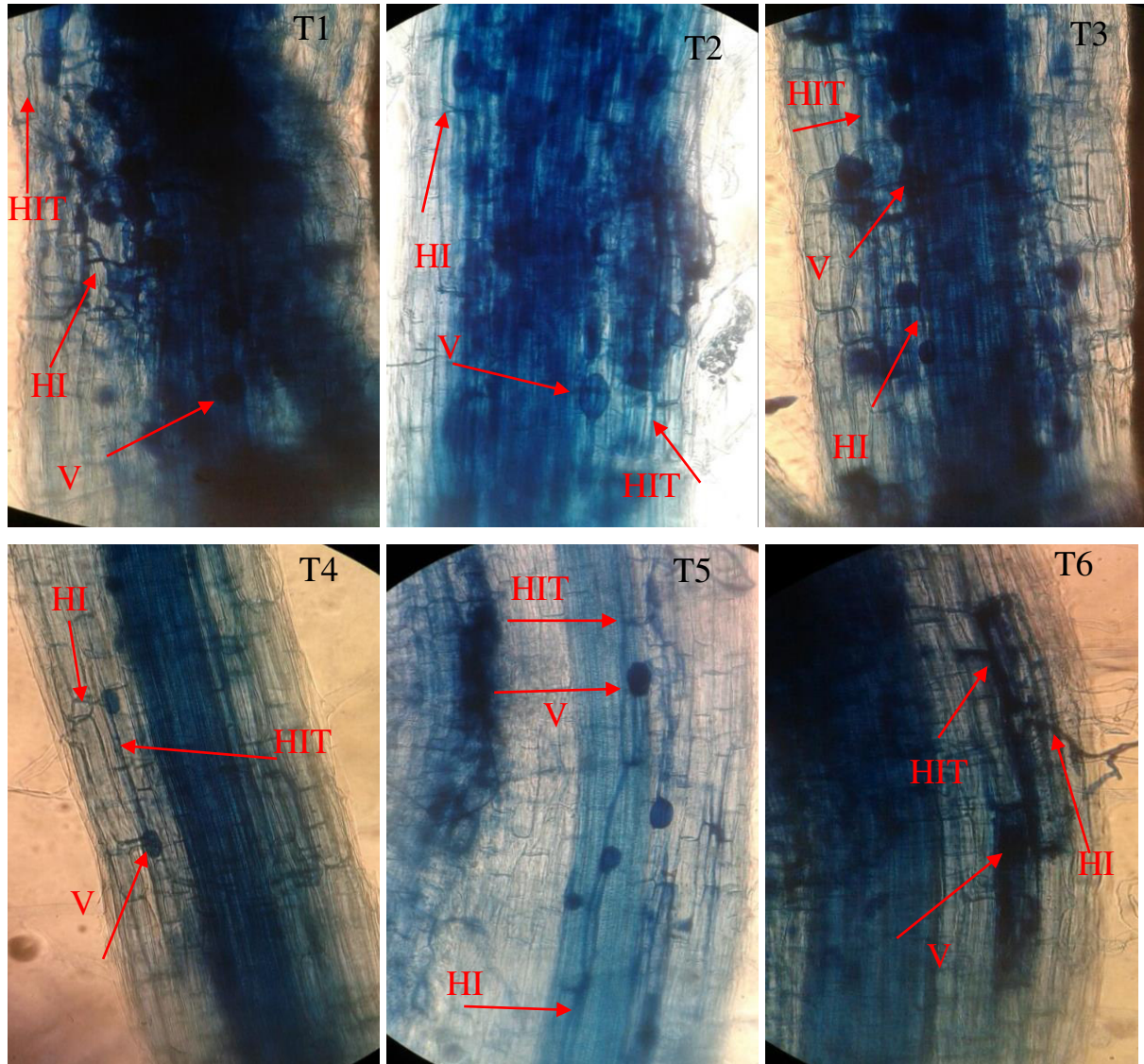
De acordo com Cardoso *et al.* (2010) os FMA proporcionam maior crescimento às plantas, principalmente em solo com baixos níveis de P disponíveis e esse fato não apenas está relacionado a uma das principais funções dos FMA, que é aumentar a absorção de nutrientes, como o P, mas também por absorverem formas não disponíveis às plantas.

Oliveira; Alixandre (2013), avaliando o crescimento de mudas de sabiá inoculadas com FMA e cultivadas com diferentes doses de P, constataram que as maiores taxas de colonização micorrízicas ocorreram na ausência ou em níveis baixos de fertilização fosfatada, similares aos encontrados no presente trabalho. De acordo com Nagahashi; Douds (2007), o nível de P no solo pode influenciar a colonização micorrízica como autorregulador, pois, em níveis baixos de P, a planta poderia exsudar substâncias que estimulam colonização e que consequentemente aumentariam o percentual de CM.

O padrão morfológico de colonização micorrízica observado nas raízes de milho foi do tipo intermediário em todos os tratamentos (Figura 19). Foram observadas estruturas endofíticas como hifas intracelulares, hifas intercelulares, hifas enoveladas e vesículas. Esse conjunto de estruturas caracteriza o tipo intermediário, conforme descrição dos padrões morfológico de colonização realizado por Dickson (2004).

Figura 19. Padrão morfológico de colonização micorrízica em raízes de milho cultivado em solo sob diferentes doses de P.

V: vesícula; HI: hifa intraradicular; HIT: hifa intercelular.



Fonte: Autor

A capacidade dos FMA para colonizar e fornecer nutrientes a planta hospedeira pode diferir dependendo do tipo de padrão morfológico que se desenvolverá na raiz. O tipo *Arum*, com a presença de hifas intercelulares, as quais podem estender-se no espaço intercelular do córtex da raiz, pode ser considerado vantajoso para a espécie hospedeira pois ocorreria uma propagação rápida da colonização e, conseqüentemente, uma transferência de nutrientes com maior rapidez (MUTHUKUMAR; PRAKASH 2009). No tipo *Paris* a propagação do FMA é concentrada no interior das células do córtex (intracelular) formando hifas lineares ou enoveladas no interior das células. Algumas vezes, as hifas enoveladas formam uma estrutura semelhante a um arbúsculo rudimentar (MUTHURAJA *et al.*, 2014).

Determinar qual das estruturas morfológicas produzidas por FMA está presente na planta é importante porque as estruturas fúngicas como hifas (inter e intra-celular), vesículas, arbúsculos, arbúsculos envelados e hifas enveladas têm papéis diferentes na simbiose (DICKSON *et al.*, 2007). Tem sido demonstrado que essas estruturas fúngicas endofíticas estão envolvidas no processo de transferências de nutrientes para a planta hospedeira (SMITH; SMITH, 2011).

Isso pode ser confirmando pelo trabalho de Kobae; Hata (2010) o qual os autores relatam que as hifas e arbúsculos envelados, que são comuns no padrão *Paris*, estão envolvidos no processo de transferência de P para as plantas. De acordo com Hodge *et al.* (2010) foi comprovado que as hifas enveladas têm a mesma função dos arbúsculos, todavia o padrão *Arum* é ainda melhor caracterizado quanto a sua função do que os tipos “intermediário” e *Paris*. Há evidências de que as estruturas intraradiculares são de curta duração, estando o micélio intraradicular em constante desenvolvimento e reorganização dentro das raízes (DICKSON *et al.*, 2007). Acrescenta-se que alguns estudos envolvendo padrão morfológico de colonização micorrízica sugerem que em plantas de crescimento rápido, como as plantas daninhas ou plantas de crescimento espontâneo, ocorre uma alta incidência do tipo *Arum*, indicando que esse tipo morfológico está relacionado ao desenvolvimento rápido dessas plantas (MASSENSINI *et al.*, 2014; SHAN *et al.*, 2009).

O padrão morfológico intermediário que ocorreu nas plantas de milho pode favorecer a absorção de nutrientes, incrementando o desenvolvimento da planta e contribuindo para uma melhor produtividade.

Muthukumar; Prakash (2009) avaliaram o padrão morfológico de colonização micorrízica em diversas espécies vegetais em cinco áreas sendo que, entre as plantas avaliadas, o milho apresentou padrão morfológico intermediário corroborando com os dados do presente estudo. De acordo com esses autores, certas plantas apresentam padrão morfológico consistente, mesmo quando colonizadas por diferentes espécies de FMA, enquanto outras espécies vegetais apresentam morfologia micorrízica dependente da espécie de FMA que está colonizando a planta. Portanto é provável que o tipo morfológico de colonização é determinado por ambos os organismos, planta hospedeira e espécie de FMA.

Concordando com o que foi mencionado acima, Feddermann *et al.* (2010) afirmam também que a morfologia da colonização micorrízica varia de acordo com a combinação entre os parceiros que estão envolvidos na simbiose, por isso o padrão morfológico que poderá ser observado, dependerá igualmente da espécie de FMA e do vegetal hospedeiro. Estudos realizados em diferentes grupos de plantas, desde Pteridófitas até

Angiosperma, confirmam a presença de FMA nas raízes da grande maioria das plantas, com morfologia observada do tipo *Arum*, *Paris* e intermediário, sendo que a predominância de algum destes padrões está relacionada à família da planta que está sendo avaliada (ZUBEK, *et al.*, 2010; CAMENZIND; RILLIG, 2013).

3.2.4 Densidade de esporos (DE)

A densidade de esporos apresentou distribuição paramétrica de acordo com o Teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) e como a partir do Teste de Levene as variâncias foram homogêneas, foi realizado o Teste de Tukey para comparar as médias dos tratamentos (Tabela 18).

Tabela 18. Resultado do Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) para a variável colonização micorrízica arbuscular em solo cultivado com milho.

Variável	p-valor	Distribuição	Teste de Levene	Comparação de médias
Densidade de esporos	0,060	Paramétrica	Variâncias Homogêneas	Teste de Tukey

Distribuição: Paramétrica ou Não Paramétrica;

Teste de Levene: Variâncias Homogêneas ou Heterogêneas.

O tratamento T2 - 40 mg P kg⁻¹ solo apresentou maior densidade com 696 esporos por 100 gramas de solo, apresentando diferença estatística significativa para os demais tratamentos. Contudo, ocorreu grande variação do número de esporos nos tratamentos em função das doses de P adicionadas ao solo. O tratamento T4 - 120 mg P kg⁻¹ solo apresentou a menor DE sem, no entanto, diferir significativamente para o tratamento T3 - 80 mg P kg⁻¹ solo. Soka *et al.* (2015) observaram maior abundância de FMA e esporos ou hifas, em solos com menores teores de nitrogênio, fósforo ou matéria orgânica em relação às áreas de solos em que esses teores foram altos levando a uma diminuição da densidade de esporos de FMA.

Tabela 19. Densidade de esporos no solo adubado com doses crescentes de P e cultivado com milho. Média de cinco repetições.

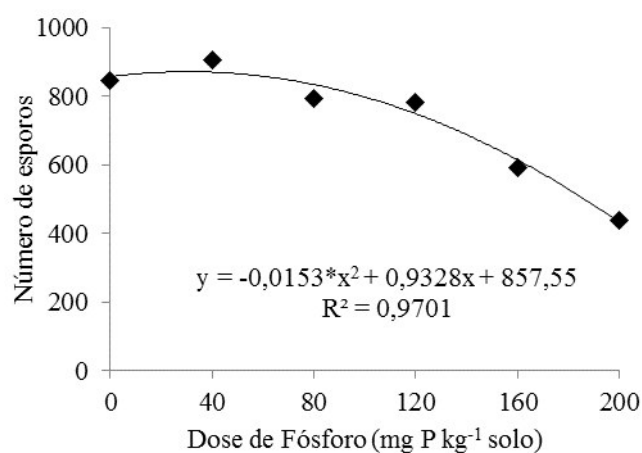
T1 - 0 mg P kg ⁻¹ solo	596 b
T2 - 40 mg P kg ⁻¹ solo	696 a
T3 - 80 mg P kg ⁻¹ solo	408 cd
T4 - 120 mg P kg ⁻¹ solo	380 d
T5 - 160 mg P kg ⁻¹ solo	556 b
T6 - 200 mg P kg ⁻¹ solo	460 c

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Segundo Siqueira; Klauberg-Filho (2000) a cultura do milho propícia estímulo a emergência e crescimento micelial de FMA devido a exsudação de compostos secundários bioativos que interagem com a comunidade microbiana promovendo o incremento do número de esporos de FMA. Angelini *et al.* (2012) concordam com esse argumento pois constataram aumento no número de esporos em solo cultivado com milho em relação ao cultivado com soja. Ainda segundo esses autores, a maior esporulação pode ser atribuída à planta com sistema radicular abundante e de crescimento rápido, com maior contato entre raízes e propágulos de FMA e grande capacidade de fornecer fotossintato ao FMA, tal como é o sistema radicular das gramíneas.

Acrescenta-se ainda que, conforme Campos *et al.* (2010), espécies de gramíneas, como milho, sorgo, milheto e *Brachiaria decumbens*, favoreçam a esporulação de FMA, sendo bastante utilizadas para a multiplicação de esporos em bancos de inóculos visto que a estrutura do sistema radicular com raízes predominantemente finas, facilita a multiplicação de propágulos infectivos. O modelo de regressão que apresentou melhor ajuste foi o quadrático, com pico do número de esporos no T2 - 40 mg P kg⁻¹ solo, observando-se a partir dessa dose, redução na DE (Figura 20). Contudo ocorreu uma grande variabilidade na quantidade de esporos de FMA, desde a dose 80 mg P kg⁻¹ solo até a maior dose acrescentada no solo. Ainda assim, é possível estabelecer que doses altas de P, não favorecem a esporulação.

Figura 20. Densidade de esporos de FMA em solo adubado com fósforo e cultivado com milho. * Significativo a ($p < 0,05$).



Magurno *et al.* (2014) observaram maior esporulação em solo cultivado com monocultura do milho em relação as rotações de culturas alfafa-milho e trigo-milho, além do milho favorecer a multiplicação de esporos. Os autores atribuem esses resultados à composição distinta de gêneros de FMA mostrada nas análises moleculares e filogenéticas que influenciam na esporulação de diferentes espécies de fungo.

A densidade de esporos é alterada por diversos fatores de natureza biótica ou abiótica como quantidade e quais espécies de FMA ocorrem na área, a presença de outros micro-organismos do solo, a fisiologia do hospedeiro e condições climáticas que podem interferir na sobrevivência e germinação dos esporos (SANTOS *et al.*, 2013).

De acordo com Collozi-Filho; Balota (1994), o potencial de inóculo de um solo está relacionado a fragmentos de raízes micorrizadas e ao micélio do FMA, mas também pode ter relação com o número de esporos presentes no solo cultivado. Portanto, apesar da quantidade de esporos no solo não fornecer um valor real de sua infectividade, pode dar indicação do nível populacional dos FMA (MERGULHÃO *et al.*, 2007).

A identificação morfológica dos esporos encontrados no solo cultivado com milho em cada tratamento, com diferentes doses de P, pode ser visualizada na Tabela 20. Foi possível identificar 13 morfotipos de diversos gêneros de FMA, sendo que o gênero *Acaulospora* apresentou a maior diversidade de espécies, seguida pelo gênero *Glomus*. A presença ou ausência de alguma espécie de FMA nas diferentes doses de P foi bastante variável, não apresentando uma regra lógica (Tabela 20). Em todos os tratamentos, independente da adição ou não de P no solo, foi constatado um maior número de esporos das espécies do gênero *Acaulospora*. Resultado similar foi encontrado por Hu *et al.* (2015) quantificando as espécies de FMA numa área com rotação de cultura milho-trigo em

diferentes sistemas de manejos, onde o gênero *Acaulospora* produziu a maior quantidade de esporos. Segundo os autores, esse gênero produz esporos pequenos e em grande quantidade num menor espaço de tempo, permitindo uma fácil propagação, tornando isso uma vantagem sobre os demais gêneros existentes numa mesma área de cultivo.

Tabela 20. Espécies e número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em diferentes níveis de P em solo cultivado com milho.

Espécies	T1⁽¹⁾	T2	T3	T4	T5	T6
Gênero <i>Acaulospora</i>						
<i>Acaulospora foveata</i> Trappe & Janos	56	96	72	16	28	16
<i>Acaulospora scrobiculata</i> Trappe	16	12	4	12	32	28
<i>Acaulospora</i> aff. <i>scrobiculata</i> Trappe	20	44	40	-	32	44
<i>Acaulospora</i> aff. <i>foveata</i> Trappe & Janos	24	24	12	12	16	28
<i>Acaulospora</i> sp.1	152	60	- ⁽²⁾	60	48	88
<i>Acaulospora</i> sp.2	80	36	104	156	160	72
<i>Acaulospora</i> sp.3	-	12	4	-	-	4
Gênero <i>Ambispora</i>						
<i>Ambispora</i> sp.	16	16	12	4	36	8
Gênero <i>Glomus</i>						
<i>Glomus etunicatum</i> Becker & Gerdemann	156	188	88	44	128	120
<i>Glomus</i> sp.	-	64	-	-	-	8
<i>Glomus glomerulatum</i> Sieverding	56	132	68	68	68	28
Gênero <i>Racocetra</i>						
<i>Racocetra castanea</i> (C. Walker) Oehl, F. A. Souza & Sieverd	20	4	4	8	8	16
Gênero <i>Scutellospora</i>						
<i>Scutellospora calospora</i> (Nicolson & Gerdemann) Walker & Sanders	-	4	-	-	-	-

⁽¹⁾ T1 - 0 mg P kg⁻¹ solo; T2 - 40 mg P kg⁻¹ solo; T3 - 80 mg P kg⁻¹ solo; T4 - 120 mg P kg⁻¹ solo; T5 - 160 mg P kg⁻¹ solo; T6 - 200 mg P kg⁻¹ solo. ⁽²⁾ Ausência de esporos.

Conforme Stürmer; Siqueira (2011), ao realizarem pesquisa sobre a alteração promovida pelo manejo e uso do solo na comunidade de espécies de FMA na Amazônia Brasileira, 84% de todas as espécies identificadas de FMA pertenciam aos gêneros *Acaulospora* e *Glomus* confirmando que, além de se propagarem em solos cultivados, também demonstram a capacidade de adaptação às eventuais condições adversas. Nyaga *et al.*

(2015) identificaram em solo cultivado com milho e feijão comum esporos de quinze morfotipos de FMA, prevalecendo as famílias Gigasporaceae (9), seguida pela família Acaulosporaceae (4) e, por último, a família Glomaceae (2).

Oliveira *et al.* (2009) avaliaram a composição da comunidade de fungos micorrízicos nativos no solo rizosférico de genótipos de milho contrastantes na eficiência do uso de P e cultivados em solos com alto e baixo teor de P disponível. O resultado das análises de PCR-DGGE para espécies das famílias Acaulosporaceae e Glomaceae da rizosfera dos genótipos de milho, associado a análise da colonização micorrízica, mostraram que tanto os genótipos de milho quanto o nível de P no solo influenciaram a densidade da população total (número de esporos e colonização das raízes), bem como a diversidade de FMA no solo. Deve ser destacado que as diferenças na ocorrência de espécies de FMA podem depender da exsudação radicular dos genótipos de milho sob estresse de P, pois os exsudatos das raízes são determinantes da diversidade de micro-organismos na rizosfera. Segundo Koide; Mosse (2004) plantas cultivadas em solos com deficiência de P podem exsudar substâncias funcionais, tais como ácidos orgânicos, que podem estimular a colonização e o crescimento da micorriza e influenciar a especificidade FMA-hospedeiro.

Conforme Gomide *et al.* (2014), ao avaliarem a ocorrência de FMA nas diferentes fitofisionomias do Pantanal Brasileiro, ocorre uma maior proporção de espécies pertencentes aos gêneros *Glomus* e *Acaulospora* independente da época de amostragem. De acordo ainda com esses autores, o conhecimento da composição das espécies de FMA numa área é primordial para estudar os impactos de qualquer tipo de prática de manejo agrícola sobre os fungos.

4. CONCLUSÕES

Plantas de feijão de corda e milho respondem a adubação fosfatada até a dose de 150 mg P kg⁻¹ solo e 120 mg P kg⁻¹ solo, respectivamente;

A colonização micorrízica foi influenciada negativamente pelas maiores doses de P adicionados ao solo;

O padrão morfológico de colonização micorrízica intermediário foi observado nas duas espécies vegetais, não ocorrendo influência da adubação fosfatada sobre sua morfologia;

No solo cultivado com feijão de corda foi possível identificar 15 morfotipos de diversos gêneros de FMA, ocorrendo uma predominância do gênero *Glomus*, seguido de espécies do gênero *Acaulospora*;

No solo cultivado com milho foi possível identificar 13 morfotipos de diversos gêneros de FMA, sendo que o gênero *Acaulospora* apresentou maior diversidade de espécies, seguida pelo gênero *Glomus*;

A adubação fosfatada influenciou no aumento do teor de P na parte aérea das plantas feijão de corda e milho, porém não teve influência no teor dos outros macronutrientes analisados.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-FATTAHA, G. M.; EL-HADDADB, S. A.; HAFEZC, E. E.; RASHADD, Y. M. Induction of defense responses in common bean plants by arbuscular mycorrhizal fungi. **Microbiological Research**, v.166, n. 4, p. 268-281, 2011.
- ALGUACIL, M. del M.; LOZANO, Z.; CAMPOY, M. J.; ROLDÁN, A. Phosphorus fertilisation management modifies the biodiversity of AM fungi in a tropical savanna forage system. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 42, n. 7, p. 1114-1122, 2010.
- ALGUACIL, M. M.; TORRECILLAS, E.; CARAVACA, F.; FERNÁNDEZ, D. A.; AZCÓN, R.; ROLDÁN, A. The application of an organic amendment modifies the arbuscular mycorrhizal fungal communities colonizing native seedlings grown in a heavy-metal-polluted soil. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 43, n.7, p. 1498-1508, 2011.
- ALVES, W. W. A.; ALBUQUERQUE, J. H. de; OLIVEIRA, F. A. de; AZEVEDO, C. A. V. de; DANTAS NETO, J. Água disponível no solo e adubação fosfatada: efeito sobre o crescimento e desenvolvimento do milho. **Revista Verde**, v. 4, n. 1, p. 47–53, 2009.
- ASSIS, P. C. R.; SAGGIN JÚNIOR, O. J.; PAULINO, H. B.; STÜRMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Fungos micorrízicos arbusculares em campos de murundus após a conversão para sistemas agrícolas no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 6, p. 1703-1711, 2014
- AQUINO, A. B.; AQUINO, B. F.; HERNANDEZ, F. F. F.; HOLANDA, F. J. M.; FREIRE, J. M.; CRISOSTOMO, L. A.; COSTA, R. I.; UCHÔA, S. C. P.; FERNANDES, V. L. B. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do CE**. 1.ed. Fortaleza: UFC, 1993. 247p.
- AZEVEDO, W. S. L.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; ARAÚJO, A. E. de; PEREZ-MARIN, A. M.; MEDEIROS, S. de S. Organic fertiliser and the use of mulch in cowpea production under semiarid conditions. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 4, p. 689-696, 2015.
- BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; TRUBER, P. V.; CEREZINI, P.; SCHERER, A. Efeito dos fungos micorrízicos arbusculares sob diferentes doses de fósforo no girassol e amendoim. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, n. 11 p. 1-8, 2010.
- BEZERRA, M. A. F.; OLIVEIRA, F. A. de; BEZERRA, F. T. C.; PEREIRA, W. E.; SILVA, S. A. da. Cultivo de feijão-caupi em latossolos sob o efeito residual da adubação fosfatada. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 1, p. 109 – 115, 2014.
- BONFIM-SILVA, E. M.; GUIMARÃES, S. L.; FARIAS, L. do N.; OLIVEIRA, J. R. de; BOSA, C. K.; FONTENELLI, J. V. Adubação fosfatada no desenvolvimento e produção de feijão guandu em Latossolo Vermelho do Cerrado em primeiro cultivo. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 5, p. 1380-1388, 2014.
- BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. Total nitrogen. In: PAGE, A. L. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 595-624.
- CAMARGO-RICALDE, S. L.; MONTAÑO, N. M.; ROSA-MERA, C. J. de; ARIAS, S. A.

M. Micorrizas: una gran unión debajo del suelo. **Revista Digital Universitária**, v. 13, n. 7, p. 3-19, 2012.

CAMENZIND, T.; RILLIG, M. C. Extraradical arbuscular mycorrhizal fungal hyphae in an organic tropical montane forest soil. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 64, n. 1, p. 96-102, 2013.

CAMERON, D. D. Arbuscular mycorrhizal fungi as (agro)ecosystem engineers. **Plant Soil**, v. 333, n. 1, p. 1-5, 2010.

CAMILI, E. C.; SILVA, A. R. B. da; MULLER, D. H.; CAMPOS FILHO, S.; CAMPOS, D. T. da S. Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada no desenvolvimento de mudas de melancia. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 5, n. 2, p. 47-60, 2012.

CAMPOS, D. T. da S.; ANDRADE, J. A. da C.; CASSIOLATO, A. M. R. Crescimento e micorrização de genótipos de milho em casa de vegetação. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 555-562, 2010.

CANCELLIER, L. L.; AFFÉRI, F. S.; ADORIAN, G. C.; RODRIGUES, H. V. M. Influência da adubação orgânica na linha de semeadura na emergência e produção forrageira de milho. **Revista Verde**, v. 5, n. 5, p. 25-32, 2010.

CARDOSO, E. J. B. N.; CARDOSO, I. M.; NOGUEIRA, M. A.; MALUCHE-BARETTA, C. R. D.; PAULA, A. L. M. Micorrizas arbusculares na aquisição de nutrientes pelas plantas. In: SIQUEIRA, J.O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. N.; TSAI, S. M. **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. 1. ed. Lavras: UFLA; 2010, p. 153-214.

CARNEIRO, R. F. V.; MARTINS, M. A.; VÁSQUEZ, H. M.; DETMANN, E. Doses de fósforo e inoculação micorrízica no cultivo de estilosantes em solo sob condições naturais. **Archivos de zootecnia**, v. 59, n. 227, p. 415-426. 2010.

CARNEIRO, R. F. V.; MARTINS, M. A.; FREITAS, M. S. M.; DETMANN, E.; VASQUEZ, H. M. Bagaço de cana-de-açúcar como substrato para multiplicação de fungos micorrízicos arbusculares e sua influência sob o estilosantes. **Revista Caatinga**, v. 21 n. 5, p.189-196, 2008.

CARRENHO, R.; GOMES-DA-COSTA, S. M.; BALOTA, É. L.; COLOZZI-FILHO, A. Fungos micorrízicos arbusculares em agrossistemas brasileiros. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (Ed.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. p. 215-249.

CASTRO, A. M. C.; PREZOTTO, A. L. Desempenho agrônômico do milho em sistema de adubação verde. **Agrarian**, v. 1, n. 2, p. 35-44, 2008.

CAVAGNARO, T. R.; GAO, L. L.; SMITH, F. A.; SMITH, S. E. Morphology of arbuscular mycorrhizas is influenced by fungal identity. **New Phytologist**, v. 151, n. 2, p. 469-475, 2001.

CHEEKE, T. E.; PACE, B. A.; ROSENSTIEL, T. N.; CRUZAN, M. B. The influence of fertilizer level and spore density on arbuscular mycorrhizal colonization of transgenic Bt

11maize (*Zea mays*) in experimental microcosms. **Microbial Ecology**, v. 75, n. 2, p. 304-312, 2011.

CLEMENT, C. R.; HABTE, M. Genotypic variation in vesicular-arbuscular mycorrhizal dependence of the pejibaye palm. **Journal of Plant Nutrition**, v. 18, n. 9, p. 1907-1916, 1995.

COELHO, C. M. M.; COIMBRA, J. L. M.; SOUZA, C. A.; BOGO, A.; GUIDOLIN, A. F. Diversidade genética em acessos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência Rural**, v. 37, n. 5, p. 1241-1247, 2007.

COELHO, I. R. CAVALCANTE, U. M. T.; CAMPOS, M. A. da S.; SILVA, F. S. B. da. Uso de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) na promoção do crescimento de mudas de pinheira (*Annona squamosa* L., Annonaceae). **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n.4, p. 933-937, 2012.

COIMBRA, R. R.; FRITSCHÉ-NETO, R.; COIMBRA, D. B.; NAOE, L. K.; CARDOSO, E. A.; RAONI, D.; MIRANDA, G. V. Relação entre tolerância do milho a baixo teor de fosforo no solo e responsividade a adubação fosfatada. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 2, p. 332-339, 2014.

CORDEIRO, M. A. S.; FERREIRA, D. A.; PAULINO, H. B.; SOUZA, C. R. F.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Mycorrhization stimulant based in formononetin associated to fungicide and doses of phosphorus in soybean in the Cerrado. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 4, p. 1062-1070, 2015.

COSTA, N. de L.; PAULINO, V. T.; COSTA, R. S. C. da; PEREIRA, R. G. de A.; TOWNSEND, C. R.; MAGALHÃES, J. A. Efeito de micorrizas arbusculares sobre o crescimento e nutrição mineral de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Revista Ciência Animal Brasileira**, v. 13, n. 4, p. 406-411, 2012.

COUTINHO, P. W. R.; SILVA, D. M. S. da; SALDANHA, E. C. M. OKUMURA, R. S.; SILVA JÚNIOR, M. L. da. Doses de fósforo na cultura do feijão-caupi na região nordeste do Estado do Pará. **Revista Agro@mbiente**, v. 8, n. 1, p. 66-73, 2014.

COVACEVICH, F.; ECHEVERRIA, H. E.; AGUIRREZABAL, L. A. N. Soil available phosphorus status determines indigenous mycorrhizal colonization of field and glasshouse-grown spring wheat from Argentina. **Applied Soil Ecology**, v. 35, n. 1, p. 1-9, 2007.

COZZOLINO, V.; MEO, V. D.; PICCOLO, A. Impact of arbuscular mycorrhizal fungi applications on maize production and soil phosphorus availability. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 129, p. 40-44, 2013.

CUNHA, D. A. da; TEIXEIRA, I. R.; JESUS, F. F. de; GUIMARÃES, R. T.; TEIXEIRA, G. C. da S. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 2, p. 617-628, 2014.

CURY, J. P.; SANTOS, J. B.; SILVA, E. B.; BYRRO, E. C. M.; BRAGA, R. R.; CARVALHO, F. P.; VALADÃO SILVA, D. Acúmulo e partição de nutrientes de cultivares de milho em competição com plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 30, n. 2, p. 287-296, 2012.

DAMASCENO, N. P.; KHAN, A. S.; LIMA, P. V. P. S. O impacto do Pronaf sobre a sustentabilidade da agricultura familiar, geração de emprego e renda no Estado do Ceará. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 49, n. 1, p. 129-156, 2011.

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

DEMÉTRIO, C. S.; FORNASIERI FILHO, D.; CAZETTA, J. O.; CAZETTA, D. A. Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 12, p. 1691-1697, 2008.

DICKSON, S. The *Arum-Paris* continuum of mycorrhizal symbioses. **New Phytologist**, v. 163, p. 187–200, 2004.

DICKSON, S.; SMITH, F. A.; SMITH, S. E. Structural differences in arbuscular mycorrhizal symbioses: more than 100 years after Gallaud, where next? **Mycorrhiza**, v. 17, n. 5, p. 375–393, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FARIAS, L. do N.; BONFIM-SILVA, E. M.; SOUZA, W. P.; VILARINHO, M. K. C.; SILVA, T. J. A. da; GUIMARÃES, S. L. Características morfológicas e produtivas de feijão guandu anão cultivado em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 5, p. 497–503, 2013.

FEDDERMANN, N.; FINLAY, R. D.; BOLLER, T.; ELFSTRAND, M. Functional diversity in arbuscular mycorrhiza – the role of gene expression, phosphorous nutrition and symbiotic efficiency. **Fungal Ecology**, v. 3, n. 1, p. 1-8, 2010.

FEITOSA, S. O.; SILVA, S. L.; FEITOSA, H. O.; CARVALHO, C. M. FEITOSA, E. O. Crescimento do feijão caupi irrigado com diferentes concentrações efluente tratado e água salina. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 36, n.1, p. 146-155, 2015.

FERNANDES, A. R.; FONSECA, M. R.; BRAZ, A. M. de S. Produtividade de feijão caupi em função da calagem e fósforo. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 4, p. 54 – 62, 2013.

FERREIRA, G. L.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, F. A. Acúmulo de macronutrientes por plantas daninhas e de milho cultivadas em convivência em solo com diferentes manejos de fertilidade. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 669-682, 2015.

FISHER, J. B.; JAYACHANDRAN, K. Presence of arbuscular mycorrhizal fungi in South Florida native plants. **Mycorrhiza**, v. 15, n. 8 p. 580 -588, 2005.

FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S.; CALONEGO, J. C.; ALVES JUNIOR, J. Aplicação de fosfato natural e reciclagem de fósforo por milheto, braquiária, milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1147-1155, 2008.

FONSECA, M. R. **Nutrição mineral e produção do feijão caupi em função do fósforo e da saturação por bases, em Latossolo Amarelo**. 2008. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2008.

FRACCHIA, S.; ARANDA, A.; GOPAR, A.; SILVANI, V.; FERNANDEZ, L.; GODEAS, A. Mycorrhizal status of plant species in the Chaco Serrano Woodland from central Argentina. **Mycorrhiza**, v. 19, n. 3, p. 205-214, 2009.

FRANZINI, V. I.; AZCÓN, R.; MÉNDES, F. L.; AROCA, R. Different interaction among *Glomus* and *Rhizobium* species on *Phaseolus vulgaris* and *Zea mays* plant growth, physiology and symbiotic development under moderate drought stress conditions. **Plant Growth Regulation**, v. 70, n. 3, p. 265-273, 2013.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spore of mycorrhizal Endogene specie extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactive British Mycology Society**, v. 46, p. 235-244, 1963.

GERLACH, N.; SCHMITZ, J.; POLATAJKO, A.; SCHLÜTER, U.; FAHNENSTICH, H.; WITT, S.; FERNIE, A. R.; UROIC, K.; SCHOLZ, U.; SONNEWALD, U.; BUCHER, M. An integrated functional approach to dissect systemic responses in maize to arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Plant, Cell and Environment**, v. 38, n. 8, p. 1591–1612, 2015.

GOMIDE, P. H. O.; SILVA, M. L. N.; SOARES, C. R. F. S.; CARDOSO, E. L.; CARVALHO, F. de.; LEAL, P. L.; MARQUES, R. M.; STÜRMER, S. L. Fungos micorrízicos arbusculares em fitofisionomias do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 38, n. 4, p. 1114-1127, 2014.

GOMES, E. A.; OLIVEIRA, F. A. S.; LANA, U. G. P.; SOUZA, F. A. de. **Análise molecular de fungos micorrízicos arbusculares em raízes de milho**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 21 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 29).

HARGER, N.; BRITO, O. R.; RALISCH, R.; ORTIZ, F. R.; WATANABE, T. S. Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 28, n. 1, p. 39-44, 2007.

HIPPLER, F. W. R.; MOREIRA, M. Dependência micorrízica do amendoizeiro sob doses de fósforo. **Bragantia**, v. 72, n. 2, p. 184-191, 2013.

HIPPLER, F. W. R.; MOREIRA, M.; DIAS, N. M. S.; HERMANN, E. R. Fungos micorrízicos arbusculares nativos e doses de fósforo no desenvolvimento do amendoim RUNNER IAC 8861. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 3, p. 605-610, 2011.

HODGE, A.; HELGASON, T.; FITTER, A. H. Nutritional ecology of arbuscular mycorrhizal fungi. **Fungal Ecology**, v. 3, n. 4, p. 267 – 273, 2010.

HU, J.; YANG, A.; ZHU, A.; WANG, J.; DAI, J.; WONG, M. H.; LIN, X. Arbuscular mycorrhizal fungal diversity, root colonization, and soil alkaline phosphatase activity in response to maize-wheat rotation and no-tillage in North China. **Journal of Microbiology**, v. 53, n. 7, p. 454–461, 2015.

INVAM, International Culture Collection of (vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi. Morgantow, EUA:West Virginia University, 1998. Disponível em: <<http://invam.caf.wvu.edu>>. Acesso em 10 de janeiro de 2016.

JALONEN, R.; TIMONEN, R.; SIERRA, J.; NYGREN, P. Arbuscular mycorrhizal symbioses in a cut-and-carry forage production system of legume tree *Gliricidia sepium* and fodder grass *Dichanthium aristatum*. **Agroforestry Systems**, v. 87, n. 2, p. 319-330, 2013.

JEFWA, J. M.; MUNG'ATU, J.; OKOTH, P.; MUYA, E.; ROIMEN, H.; NJUGUINI, S. Influence of land use types on occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in the high altitude regions of mt. Kenya. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 11, n. 2, p. 277-290, 2009.

JEONG, H. S.; LEE, J.; EOM, A. H. Effects of interspecific interactions of arbuscular mycorrhizal fungi on growth of soybean and corn. **Mycobiology**, v. 34, n. 1, p. 34-37, 2006.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, v. 48, p. 692, 1964.

JOHNSON, J. M.; HOUNGNANDANA, P.; KANEB, A.; SANON, K. B.; NEYRA, M. Diversity patterns of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi associated with rhizosphere of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in Benin, West Africa. **Pedobiologia**, v. 56, n. 3, p. 121– 128, 2013.

JOHNSON, J. M.; HOUNGNANDAN, P.; KANE, A.; CHATAGNIER, O.; SANON, K. B.; NEYRA, M.; VAN TUINEN, D. Colonization and molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with the rhizosphere of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in Benin (West Africa): an exploratory study. **Annals of Microbiology**, v. , p. 1-15, 2015.

KARANIKA, E. D.; VOULGARIA, O. K.; MAMOLOS, A. P.; ALIFRAGIS, D. A.; VERESOGLOU, D. S. Arbuscular mycorrhizal fungi in Northern Greece and influence of soil resources on their colonization. **Pedobiologia**, v. 51, n. 06, p. 409-418, 2008.

KOBAE, Y.; HATA, S. Dynamics of periarbuscular membranes visualized with a fluorescent phosphate transporter in arbuscular mycorrhizal roots of rice. **Plant Cell Physiology**, v. 51, n. 3, p. 341–353, 2010.

KOIDE, R. T.; MOSSE, B. A history of research on arbuscular mycorrhiza. **Mycorrhiza**, v. 14, n. 3, p. 145-163, 2004.

KOSKE, R. E.; GEMMA, J. N. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. **Mycological Research**, v. 92, n. 4, p. 486-505, 1989.

LACERDA, K. A. P.; SILVA, M. M. de S.; CARNEIRO, M. A. C. REIS, E. F. dos; SAGGIN JÚNIOR, O. J. Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada no crescimento inicial de seis espécies arbóreas do Cerrado. **Revista Cerne**, v. 17, n. 3, p. 377-386, 2011.

LIMA, A. S. T. de; XAVIER, T. F.; LIMA, C. E. P. de; OLIVEIRA, J. de P.; MERGULHÃO, A. C. do E. S.; FIGUEIREDO, M. do V. B. Triple inoculation with *Bradyrhizobium*, *Glomus*

and *Paenibacillus* on cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] WALP.) development. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 42, n. 3, p. 919-926, 2011.

MASCENA, A. M. **Diagnóstico da ocorrência de micro-organismos simbiotes em áreas sob processo de desertificação no município de Irauçuba, Ceará**. 2014. 85 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

MACHINESKI, O.; BALOTA, E. L.; SOUZA, J. R. P. de. Resposta da mamoneira a fungos micorrízicos arbusculares e a níveis de fósforo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, suplemento 1, p. 1855-1862, 2011.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997.

MASSENSINI, A. M.; BONDUKI, V. H. A.; TÓTOLA, M. R.; FERREIRA, F. A.; COSTA, M. D. Arbuscular mycorrhizal associations and occurrence of dark septate endophytes in the roots of Brazilian weed plants. **Mycorrhiza**, v. 24, n. 2, p. 153–159, 2014.

MAU, A. E.; UTAMI, S. R. Effects of biochar amendment and arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on availability of soil phosphorus and growth of maize. **Journal of Degraded and Mining Lands Management**. v. 1, n. 2, p. 69-74, 2014).

MCGONIGLE, T. P.; MILLER, M. H.; EVANS, D. G.; FAIRCHILD, G. L.; SWAN, J. A. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v. 115, p. 495-501, 1990.

MELO, C. A. D.; GUIMARÃES, F. A. R.; GONÇALVES, V. A.; BENEVENUTE, S. da S.; FERREIRA, G. L.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, F. A. Acúmulo de macronutrientes por plantas daninhas e de milho cultivadas em convivência em solo com diferentes manejos de fertilidade. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 669-682, 2015.

MELO, W. B. de; OLIVEIRA FILHO, F. de S.; SANTOS, J. G. R. dos; ARNAUD, E. da R.; MARACAJA, P. B. Crescimento de plantas de milho e feijão adubadas com biofertilizantes líquidos em sistema de consorciação. **Revista Verde**, v. 8, n. 3, p.104 - 108, 2013.

MELLO, C. M. A. de; SILVA, I. R. da; PONTES, J. S. de; GOTO, B. T.; SILVA, G. A. da; MAIA, L. C. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em área de Caatinga, PE, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n. 4, p. 938-943, 2012.

MERGULHÃO, A. C. do E. S.; OLIVEIRA, J. de P.; BURITY, H. A.; MAIA, L. C. Potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares em áreas nativas e impactadas por mineração gesseira no semi-árido brasileiro. **Hoehnea**, v. 34, n. 3, p. 341-348, 2007.

MIRDHE, R. M.; LAKSHMAN, H. C. Synergistic interaction between arbuscular mycorrhizal fungi, rhizobium and phosphate solubilising bacteria on *Vigna unguiculata* (L) verdc. **International Journal of Bioassays**, v. 3, n. 5, p. 2096-2099, 2014.

MIRANDA, R. A.; DUARTE, J. O.; GARCIA, J. C. Economia da produção. In: CRUZ, J. C. (Ed.). **Cultivo do milho**. 8 ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. Disponível

em<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_8_ed/economia.htm>. Acesso: 10 de outubro de 2015.

MONTAÑEZ, A. El estudio de las micorrizas arbusculares: limitantes y perspectivas. **Agrociencia**, v. 9, n. 2, p. 311-315, 2005.

MOREIRA, M.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Doses de fósforo determinam a prevalência de fungos micorrízicos arbusculares em *Araucaria angustifolia*. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 4, p. 813-820, 2012.

MORTON, J. B. Problems and solutions for the integration of Glomalean taxonomy, systematic biology, and the study of endomycorrhizal phenomena. **Mycorrhiza**, v. 2, p. 97-109, 1993.

MORTON, J. B.; BENTIVENGA, S. P.; WHEELER, W. W. Germplasm in the international collection of arbuscular and vesiculararbuscular mycorrhizal fungi (INVAM) and procedures for culture development, documentation and storage. **Mycotaxon**, v. 48, p. 491-528, 1993.

MUTHUKUMAR, T.; PRAKASH, S. Arbuscular mycorrhizal morphology in crops and associated weeds in tropical agro-ecosystems. **Mycoscience**, v. 50, n. 3, p. 233-239, 2009.

MUTHURAJA, R.; MUTHUKUMAR, T.; SATHIYADASH, K. Arbuscular mycorrhizal (AM) and Dark septate endophyte (DSE) fungal association in lycophytes and ferns of the Kollu Hills, Eastern Ghats, Southern India. **American Fern Journal**, v. 104, n. 2, p. 67-102, 2014.

NAGAHASHI, G.; DOUDS, D. J. Separated components of root exudate and cytosol stimulate different morphologically identifiable types of branching responses by arbuscular mycorrhizal fungi. **Mycological research**, v. 111, n. 4, p. 487-492, 2007.

NAKAYAMA, F. T.; PINHEIRO, G. A. S.; ZERBINI, E. F. Eficiência do fertilizante organomineral na produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em sistema de semeadura direta. **Revista Fórum Ambiental**, v. 9, n. 7, p. 122-138, 2013.

NASCIMENTO, B. L. M.; LIMA, I. M. A.; IWATA, B. F.; AQUINO, B. F. Altura e diâmetro do milho cultivado em função de diferentes doses de fertilizantes fosfatados. **Scientia Plena**, v. 10, n. 9 p. 1-18, 2014.

NASCENTE, A. S.; COBUCCI, T.; SOUSA, D. M. G. de; LIMA, D. de P. Adubação fosfatada no sulco e foliar afetando a produtividade de grãos do feijoeiro comum. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 3, p. 1231-1240, 2014.

NEERAJ, K. S. Organic amendments to soil inoculated arbuscular mycorrhizal fungi and *Pseudomonas fluorescens* treatments reduce the development of root-rot disease and enhance the yield of *Phaseolus vulgaris* L. **European Journal of Soil Biology**, v. 47, n. 5, p. 288-295, 2011.

NUNES, E. M. **Efeito do gesso, fósforo e adubo verde na absorção de nutrientes pelo feijoeiro (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cultivado em solo salino sódico**. 2008. 58 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Campina Grande, Patos,

2008.

NYAGA, J.; JEFWA, J. M.; MUTHURI, C. W.; MATIRU, V. N.; WACHIRA, P. M.; OKOTH, S. A. Arbuscular mycorrhizal fungi with different soil fertility amendment practices in agricultural landscapes of Kenyan highlands. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 103, n. 2, p. 229–240, 2015.

OKUMURA, R. S.; MARIANO, D. de C.; ZACCHEO, P. V. C. Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 4, n. 2, p. 226–244, 2011.

OLIVEIRA, C. A.; GOMES, E. A.; MARRIEL, I. E.; GUIMARÃES, C. T.; SCHAFFERT, R. E.; LANA, U. G. P.; ALVES, V. M.C. **Análise da diversidade micorrízica na rizosfera de genótipos de milho (*Zea mays* L.) contrastantes para eficiência no uso de P utilizando Eletroforese em Gel de Gradiente Desnaturante (DGGE)**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 28 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 16).

OLIVEIRA, F. A. de; CAVALCANTE, L. F.; SILVA, I. de F. da; PEREIRA, W. E.; OLIVEIRA, J. C. de; FILHO, J. F. da C. Crescimento do milho adubado com nitrogênio e fósforo em um Latossolo Amarelo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 3, p. 238-244, 2009.

OLIVEIRA, G. A.; ARAÚJO, W. F.; CRUZ, P. L. S.; SILVA, W. L. M. da; FERREIRA, G. B. Resposta do feijão-caupi as lâminas de irrigação e as doses de fósforo no cerrado de Roraima. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 4, p. 872-882, 2011.

OLIVEIRA, J. J. F.; ALIXANDRE, T. F. Parâmetros biométricos de mudas de sabiá micorrizadas sob níveis de fósforo em Latossolo Amarelo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 74, p. 159-167, 2013.

OLIVEIRA, M. A. de; ZUCARELI, C.; FERREIRA, A. S.; DOMINGUES, A. R.; SPOLAOR, L. T.; NEVES, C. S. V. J. Adubação fosfatada associada à inoculação com *Pseudomonas fluorescens* no desempenho agrônômico do milho. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n. 1, p. 18-25, 2015.

OLIVEIRA, M. A. de; ZUCARELI, C.; SPOLAOR, L. T. DOMINGUES, A. R.; FERREIRA, A. S. Desempenho agrônômico do milho sob adubação mineral e inoculação das sementes com rizobactérias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 10, p. 1040-1046, 2012.

OLIVEIRA, T. C. de; SILVA, J.; SANTOS, M. M. dos; CANCELLIER, E. L.; FIDELIS, R. R.

Desempenho agrônômico de cultivares de feijão em função da adubação fosfatada no sul do Estado do Tocantins. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 1, p. 50 – 59, 2014.

OLIVEIRA, T. C. de; SILVA, J.; SOUSA, S. A. de; CAMPESTRINI, R.; FIDELIS, R. R. Potencial produtivo de genótipos de feijão comum em função do estresse de fósforo no Estado do Tocantins. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 3, n. 3, p. 24-30, 2012.

PEREIRA JUNIOR, E. B.; OLIVEIRA, F. H. T. de; OLIVEIRA, F. T. de; SILVA, G. F. da; HAFLE, O. M.; SILVA, A. R. da C. Adubação nitrogenada e fosfatada na cultura do feijão caupi irrigado no município de Sousa – PB. **Global Science and Technology**, v. 8, n. 1, p. 110 – 121, 2015.

PESSOA, F. E. P.; CAMPOS, J. N. B. Ciclo diário de precipitações pluviais em intervalos de cinco minutos no município de Fortaleza. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 2, p. 195-204, 2015.

QUARESMA, J. P. de S.; JAKELAITIS, A.; ALEXANDRINO, E.; OLIVEIRA, A. A. de; PITTELKOW, F. K.; ARAÚJO, R. Produção de milho e braquiário consorciado sob adubação nitrogenada e fosfatada. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 4, p. 613-620, 2010.

RAMOS, D. P.; SOUSA, S. A. de; OLIVEIRA, T. C. de; GONÇALVES, G. de M. O.; PASSOS, N. G. dos; FIDELIS, R. R. Adubação nitrogenada no feijoeiro comum irrigado em diferentes épocas, com e sem parcelamento das doses. **Biotemas**, v. 27, n. 1, p. 9-21, 2014.

RANE, M.; BAWSKAR, M.; RATHOD, D.; NAGAONKAR, D.; RAI, M. Influence of calcium phosphate nanoparticles, *Piriformospora indica* and *Glomus mosseae* on growth of *Zea mays*. **Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology**, v. 6, n. 4, p. 1-8, 2015.

RAY, J. G.; VALSALAKUMAR, N. Arbuscular mycorrhizal fungi and *Piriformospora indica* individually and in combination with *Rhizobium* on green gram. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, n. 2, p. 285–298, 2010.

REIS, E. F. dos; CARNEIRO, M. A. C.; SAGGIN-JÚNIOR, O. J.; ROTTA, D. A.; SOUSA, M. Y. Absorção de fósforo em doze genótipos de milho inoculados com fungo micorrízico arbuscular em solo de cerrado. **Ciência Rural**, v. 38, n. 9, p. 2441-2447, 2008.

ROCHA, F. S.; SAGGIN JÚNIOR, O. J.; SILVA, E. M. R.; LIMA, W. L. Dependência e resposta de mudas de cedro a fungos micorrízicos arbusculares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.1, p.77-84, 2006.

ROONEY, D. C.; PROSSER, J. I.; BENDING, G. D.; BAGGS, E. M.; KILLHAM, K.; HODGE, A. Effect of arbuscular mycorrhizal colonisation on the growth and phosphorus nutrition of *Populus euramericana* c.v. Ghoy. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 11, p. 4605-4612, 2011.

SAMARÃO, S. S.; RODRIGUES, L. A.; MARTINS, M. A.; MANHÃES, T. N.; ALVIM, L. A. da M. Desempenho de mudas de gravioleira inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares em solo não-esterilizado, com diferentes doses de fósforo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n. 1, p. 81-88, 2011.

SANTOS, R. S.; SCORIZA, R. N.; FERREIRA, J. S. Fungos micorrízicos arbusculares em diferentes coberturas florestais em Vitória da Conquista, Bahia. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 3, p. 344-350, 2013.

SANTOS, L. A. dos; SORATTO, R. P.; FERNANDES, A. M.; GONSALES, J. R. Crescimento, índices fisiológicos e produtividade de cultivares de feijoeiro sob diferentes

níveis de adubação. **Revista Ceres**, v. 62, n. 1, p. 107-116, 2015.

SCHENCK, N. C.; PEREZ, Y. A **manual of identification of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi**, 2 ed, 1988. 241p.

SCHIAVO, J. A.; SILVA, C. A. da; ROSSET, J. S.; SECRETTI, M. L.; SOUSA, R. A. C. de CAPPI, N. Composto orgânico e inoculação micorrízica na produção de mudas de pinhão manso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 3, p. 322-329, 2010.

SENA, J. O. A.; LABATE, C. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Caracterização fisiológica da redução de crescimento de mudas de citros micorrizadas em altas doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 05, p. 827-832, 2004.

SHAH, M. A.; RESHI, Z. A.; KHASA, D. Arbuscular mycorrhizal status of some Kashmir Himalayan alien invasive plants. **Mycorrhiza**, v. 20, n. 1, p. 67-72, 2009.

SHARDA, J. N.; KOIDE, R. T. Exploring the role of root anatomy in P-mediated control of colonization by arbuscular mycorrhizal fungi. **Botany**, v. 88, n. 2, p. 165-173, 2010.

SHUKLA, A.; KUMAR, A.; JHA, A.; AJIT; RAO, D. V. K. N. Phosphorus threshold for arbuscular mycorrhizal colonization of crops and tree seedlings. **Biology and Fertility of Soils**, v. 48, n. 1, p. 109-116, 2012.

SILVA, A. de A.; SILVA, T. S.; VASCONCELOS, A. C. P. de; LANA, R. M. Q. Influência da aplicação de diferentes fontes de Map revestido com polímeros de liberação gradual na cultura do milho. **Bioscience Journal**, v. 28, Supplement 1, p. 240-250, 2012.

SILVA, E. F. L.; ARAÚJO, A. S. F. de; SANTOS, V. B. dos; NUNES, L. A. P. L.; CARNEIRO, R. F. V. Fixação biológica do N₂ em feijão-caupi sob diferentes doses e fontes de fósforo solúvel. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 3, p. 394-402, 2010.

SILVA, E. P. da. **Produção de mudas de arbóreas nativas de interesse do nordeste brasileiro interagindo com fosfato de rocha, matéria orgânica e a microbiota do solo**. 2013. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

SILVA, F. L. B. da; LACERDA, C. F. de; SOUSA, G. G. de; NEVES, A. L. R.; SILVA, G. L. da; SOUSA, C. H. C. Interação entre salinidade e biofertilizante bovino na cultura do feijão-de-corda. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 383-389, 2011.

SILVEIRA, S. V. da; FIALHO, F. B.; SCHWARZ, S. F.; SOUZA, P. V. D. de. Combinação entre turfa vermelha e areia na obtenção de substrato-inóculo do fungo micorrízico arbuscular *Glomus clarum*. **Ciência Rural**, v. 43, n. 3, p. 419-425, 2013.

SMITH, F. A.; JAKOBSEN, I.; SMITH, S. E. Spatial differences in acquisition of soil phosphate between two arbuscular mycorrhizal fungi in symbiosis with *Medicago truncatula*. **New Phytologist**, v. 147, n. 2, p. 357-366, 2000.

SMITH, S. E.; SMITH, F. A. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth:

new paradigms from cellular to ecosystem scales. **The Annual Review of Plant Biology**, v. 62, p. 227–50, 2011.

SMITH, S.E.; READ, D.J. **Mycorrhizal symbiosis**. 3rd ed. Califórnia: Academic Press, 2008. 605p.

SOKA, G. E.; RITCHIE, M. E.; MAYEMBA, E. P. Influence of current land use and edaphic factors on arbuscular mycorrhizal (AM) hyphal abundance and soil organic matter in and near Serengeti National Park. **Journal of Ecology and the Natural Environment**, v. 7, n. 5, p. 158-169, 2015.

SOUSA, G. G. de; VIANA, T. V. de A.; LACERDA, C. F. de; AZEVEDO, B. M. de; SILVA, G. L. da; COSTA, F. R. B. Estresse salino em plantas de feijão-caupi em solo com fertilizantes orgânicos. **Revista Agro@mbiente**, v. 8, n. 3, p. 359-367, 2014.

STÜRMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O. Species richness and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi across distinct land uses in Western Brazilian Amazon. **Mycorrhiza**, v. 21, n. 4, p. 255-267, 2011.

TAFFOUO, V. D.; NGWENE, B.; AKOA, A.; FRANKEN, P. Influence of phosphorus application and arbuscular mycorrhizal inoculation on growth, foliar nitrogen mobilization, and phosphorus partitioning in cowpea plants. **Mycorrhiza**, v. 24, p. 361–368, 2014.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

TIRITAN, C. S.; SANTOS, D. H.; BORDINI, R. A.; FOLONI, J. S. S.; ONISHI, R. Y. Produção de matéria seca de milho em função da adubação fosfatada mineral e organomineral. **Colloquium Agrariae**, v. 6, n. 1, p. 01-07, 2010a.

TIRITAN, C. S.; SANTOS, D. H.; FOLONI, J. S. S.; ALVES JÚNIOR, R. Adubação fosfatada mineral e organomineral no desenvolvimento do milho. **Colloquium Agrariae**, v. 6, n. 1, p. 08-14, 2010b.

TRESEDER, K. K. The extent of mycorrhizal colonization of roots and its influence on plant growth and phosphorus content. **Plant Soil**, v. 371, n. 1, p. 1-13, 2013.

TRESEDER, K. K.; ALLEN, M. F. Direct nitrogen and phosphorus limitation of arbuscular mycorrhizal fungi: a model and field test. **New Phytologist**, v. 155, n. 3, p. 507–515, 2002.

UMA, E.; MUTHUKUMAR, T.; SATHIYADASH, K.; MUNIAPPAN, V. Mycorrhizal and dark septate fungal associations in gingers and spiral gingers. **Botany**, v. 88, n. 5, p. 500-511, 2010.

UMA, E.; SATHIYADASH, K.; LOGANATHAN, J.; MUTHUKUMAR, T. Tree species as hosts for arbuscular mycorrhizal and dark septate endophyte fungi. **Journal of Forestry Research**, v. 23, n. 4, p. 641–649, 2012.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA

FILHO, M. C. M. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 2, p. 254-263, 2011.

VITORAZI FILHO, J. A.; LIMA, K. B.; FREITAS, M. S. M.; MARTINS, M. A.; OLIVARES, F. L. Crescimento de mudas de maracujazeiro-doce inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e bactérias diazotróficas sob diferentes doses de fósforo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 2, p. 442-450, 2012.

XIE X.; WENGA, B.; CAIC, B.; DONG, Y.; YANA, C. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation and phosphorus supply on the growth and nutrient uptake of *Kandelia obovata* (Sheue, Liu & Yong) seedlings in autoclaved soil. **Applied Soil Ecology**, v. 75, n. 1, p. 162–171, 2014.

YASMEEN, T.; HAMEED, S.; TARIQ, M.; ALI, S. Significance of arbuscular mycorrhizal and bacterial symbionts in a tripartite association with *Vigna radiata*. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 34, n. 4, p. 1519-1528, 2012.

YOUNESI, O.; MORADI, A. Effects of plant growth-promoting rhizobacterium (PGPR) and arbuscular mycorrhizal fungus (AMF) on antioxidant enzyme activities in salt-stressed bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agriculture (Pol'nohospodárstvo)**, v. 60, n. 1, p. 10–21, 2014.

ZHAO, R.; GUO, W.; BI, N.; GUO, J.; WANG, L. ZHAO, J.; ZHANG, J. Arbuscular mycorrhizal fungi affect the growth, nutrient uptake and water status of maize (*Zea mays* L.) grown in two types of coal mine spoils under drought stress. **Applied Soil Ecology**, v. 88, p. 41–49, 2015.

ZUBA JUNIO, G. R.; SAMPAIO, R. A.; NASCIMENTO, A. L.; SANTOS, G. B.; SANTOS, L. D. T.; FERNANDES, L. A. Produtividade de milho adubado com composto de lodo de esgoto e fosfato natural de Gafsa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 7, p. 706–712, 2013.

ZUBEK, S.; PIATEK, K.; NAKS, P.; HEISE, W.; WAYDA, M.; MLECZKO, P. Fungal root endophyte colonization of fern and lycophyte species from the Celaque National Park in Honduras. **American Fern Journal**, v. 100, n. 2, p. 126-136, 2010.

ZUCARELI, C.; CIL, I. R.; PRETE, C. E. C.; PRANDO, A. M. Eficiência agronômica da inoculação à base de *Pseudomonas fluorescens* na cultura do milho. **Revista Agrarian**, v. 4, n. 13, p. 152-157, 2011.

ZUCARELI, C.; RAMOS JUNIOR, E. U.; OLIVEIRA, M. A. de; CAVARIANI, C.; NAKAGAWA, J. Índices biométricos e fisiológicos em feijoeiro sob diferentes doses de adubação fosfatada. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 1313-1324, 2010.

ZUCARELI, C.; RAMOS JUNIOR, E. U.; OLIVEIRA, M. A. de; CAVARIANI, C.; NAKAGAWA, J. Crescimento do feijoeiro cv. IAC Carioca Tybatã em função da adubação fosfatada. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 11, n. 3, p. 213-221, 2012.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A agricultura familiar no Brasil corresponde a grande maioria dos agricultores brasileiros, sendo necessário o fortalecimento das políticas públicas já existentes visando fomentar a produção, gerando renda para o agricultor e um alimento com qualidade para a população.

Os fungos micorrízicos arbusculares possuem um papel importante nos solos cultivados, principalmente com culturas de interesse agrônômico, pois em geral, os solos são pobres de fósforo e, quando se propõe a diminuir a utilização de adubos fosfatados, a estratégia biotecnológica de usar esses micro-organismos para potencializar a produção é muito favorável.

A adubação fosfatada não influenciou o padrão morfológico de colonização por fungos micorrízicos arbusculares das espécies vegetais estudadas.

As espécies de FMA identificadas nos solos em que foram cultivadas as plantas de feijão de corda e milho confirmam a tese de que espécies das famílias Glomeraceae parecem predominar em solos de região semiárida ou mata nativa, sendo por isso mais adaptados a solos que possuem baixa fertilidade.

**APÊNDICE A – FOTOS DOS ESPOROS DE FUNGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES IDENTIFICADOS NO SOLO UTILIZADO NO EXPERIMENTO
COM FEIJÃO DE CORDA E MILHO.**



Glomus etunicatum



Acaulospora sp.1



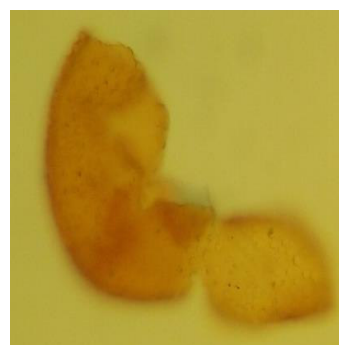
Acaulospora aff. *scrobiculata*



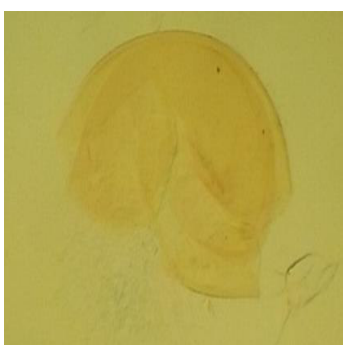
Acaulospora aff. *foveata*



Acaulospora sp.2



Acaulospora foveata



Acaulospora sp.3



Glomus sp.



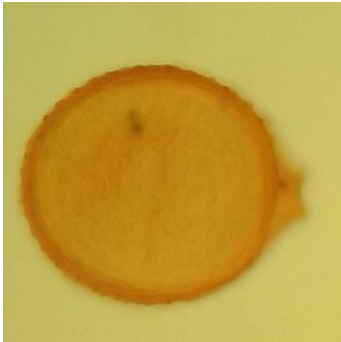
Glomus glomerulatum



Acaulospora scrobiculata



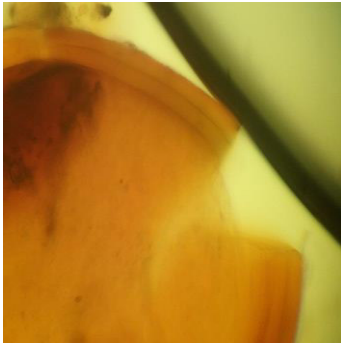
Scutellospora calospora



Ambispora sp.



Racocetra castanea



Scutellospora biornata