

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO**

EUDES PINHEIRO DA SILVA

**INTERAÇÃO DO FOSFATO DE ROCHA, MATÉRIA ORGÂNICA E MICROBIOTA
DO SOLO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ARBÓREAS NATIVAS DE INTERESSE
ECONÔMICO E AMBIENTAL NO NORDESTE BRASILEIRO**

FORTALEZA

2013

EUDES PINHEIRO DA SILVA

**INTERAÇÃO DO FOSFATO DE ROCHA, MATÉRIA ORGÂNICA E MICROBIOTA
DO SOLO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ARBÓREAS NATIVAS DE INTERESSE
ECONÔMICO E AMBIENTAL NO NORDESTE BRASILEIRO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal do Ceará – UFC, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Agronomia. Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Orientadora: Prof^a. Dra. Vânia Felipe Freire Gomes

**FORTALEZA
2013**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Pós-Graduação em Economia Agrícola

S58i

Silva, Eudes Pinheiro da

Interação do fosfato de rocha, matéria orgânica e microbiota do solo na produção de mudas de arbóreas nativas de interesse econômico e ambiental no nordeste brasileiro. / Eudes Pinheiro da Silva. – 2013.

77. : il., enc. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciências do Solo, Mestrado em Agronomia, Fortaleza, 2013.

Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Orientação: Prof^ª. Dr^ª. Vânia Felipe Freire Gomes.

1. *Cecropia pachystachya* Trécul. 2. *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. 3. Fósforo. 4. Micorriza. 5. Rizóbio. I. Título.

CDD: 631.4

EUDES PINHEIRO DA SILVA

**INTERAÇÃO DO FOSFATO DE ROCHA, MATÉRIA ORGÂNICA E MICROBIOTA
DO SOLO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ARBÓREAS NATIVAS DE INTERESSE
ECONÔMICO E AMBIENTAL NO NORDESTE BRASILEIRO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Agronomia. Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovado em: 24 / 05 / 2013.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Vânia Felipe Freire Gomes – Doutora
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Paulo Furtado Mendes Filho – Doutor
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Ricardo Luiz Lange Ness – Doutor
Universidade Federal do Ceará (UFC-Cariri)

Prof^ª. Jamili Silva Fialho – Doutora
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Aos meus queridos pais, pela dedicação e exemplo de vida na formação do meu caráter e na minha educação.

À minha esposa Genize e ao meu querido filho Artur, fontes de inspiração e motivação ao meu projeto de vida.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará (UFC) que me possibilitou uma formação humana, ética e responsável no “campo” da Agronomia, especialmente ao programa de Pós-Graduação em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas do Departamento de Ciências do Solo.

A CAPES, através do Programa de Apoio à Pós-Graduação, pelo apoio financeiro concedido durante a realização do curso.

À UFC Cariri pela parceria com esta dissertação através do projeto P-350, BNB/ASTEF/UFC – “Produção de mudas de espécies arbóreas nativas para obtenção racional de lenha, carvão, estacas e a recuperação de áreas degradadas”, concedendo apoio financeiro e logístico ao desenvolvimento deste projeto.

A professora Dra. Vânia Felipe Freire Gomes, do Departamento de Ciências do Solo, pela confiança depositada, incentivo e orientação para o desenvolvimento deste projeto.

Ao professor Dr. Paulo Furtado Mendes Filho, do Departamento de Ciências do Solo, pelas orientações, ensinamentos, amizade e por acreditar em mim durante todos esses anos de convivência.

Ao professor Dr. Ricardo Luiz Lange Ness da Universidade Federal do Ceará, Campus do Cariri, pela sua valiosa colaboração na viabilização do projeto de dissertação.

Ao Sr. Renato César Carvalho de Almeida, proprietário do Sítio Pinheiros, por ter coletado e fornecido o solo e o material orgânico utilizados para formar os substratos usados nos experimentos.

Aos professores e colegas do curso de Pós-Graduação – Solos e nutrição de plantas da Universidade Federal do Ceará.

Aos funcionários do Departamento de Ciências do Solo, especialmente, ao Eng. Agrônomo Antônio José Duarte de Menezes, a Maria Geórgia Brandão Melo, e a todos os funcionários do Laboratório da FUNCEME/UFC, por sua solicitude e colaboração neste projeto.

Aos colegas de pesquisa do Laboratório de Microbiologia do Solo Ewerton Matos, José Maria Tupinambá da S. Jr., Ítalo Félix, Emanuel Dias e Aldênia Mascena por toda ajuda e colaboração para o desenvolvimento deste trabalho. Bem como, ao colega Dimitri Matos por toda ajuda e colaboração nas análises estatísticas dos dados desse trabalho.

Enfim, a todas as pessoas que contribuíram de forma direta ou indireta para concretização desse projeto.

RESUMO

A regeneração natural da vegetação é o procedimento mais barato para reabilitar áreas degradadas, porém, é lento. O plantio de mudas de arbóreas nativas pode ser uma solução. Nesse contexto, conduziu-se o presente trabalho em casa de vegetação por 120 dias, testando 5 doses de P (0, 75, 150, 300 e 600 mg L⁻¹) com fosfato de rocha natural na colonização por FMA e por rizóbio nativos, e no desenvolvimento de mudas de embaúba (*Cecropia pachystachya* Trécul) e de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth), cultivadas em solo natural (SN), solo natural com 50 % esterilizado (SND) e solo natural adicionado de 25 % de material orgânico (SNM). Analisou-se o comprimento, massa da matéria seca, teores de N, P, K da parte aérea e o diâmetro do colo das plantas, número de esporos e colonização micorrízica, massa da matéria seca dos nódulos de rizóbios, carbono da biomassa microbiana, respiração basal e quociente metabólico do solo. O crescimento em comprimento, o diâmetro do colo e a produção de massa da matéria seca da parte aérea das plantas de embaúba não sofreram efeito dos tratamentos. Os substratos SN e SND proporcionaram a maior esporulação e colonização de FMA, favorecendo o aporte de P na parte aérea dessas plantas. Essa atividade foi reduzida nas maiores doses de P. A Respiração Basal e o carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS) foram menores no SND e não sofreram influência das doses de P. O substrato SND proporcionou maior aporte de N na parte aérea das plantas, mas sem influência das doses de P. Enquanto que o SNM proporcionou maior aporte de P e K na parte aérea das plantas. Os FMA favoreceram o aporte de P na parte aérea das plantas de embaúba, mas com redução nas maiores doses de P. O crescimento em comprimento das plantas de sabiá não sofreu efeito dos tratamentos, porém o diâmetro do colo e a massa da matéria seca da parte aérea das plantas apresentaram melhores resultados no substrato SNM, mas sem influência das doses de P. O SNM apresentou o menor número de esporos, maior colonização de FMA na dose de 75 mg de P, todavia com redução nas maiores doses, e maior CBMS, mas sem influência das doses de P. O SND e o rizóbio nativo proporcionaram maior aporte de N na parte aérea e maior massa nodular nas plantas de sabiá, sendo influenciados pelas doses de P. O SNM proporcionou maior aporte de P e K na parte aérea das plantas de sabiá, tendo a dose de 600 mg de P favorecido os maiores valores desses nutrientes. Os FMA proporcionaram um discreto incremento no teor de P na parte aérea das plantas de sabiá.

Palavras-chave: *Cecropia pachystachya* Trécul. *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. Fósforo. Micorriza. Rizóbio. Reabilitação de áreas degradadas.

ABSTRACT

Natural regeneration of vegetation is the procedure cheaper to rehabilitate degraded areas, however, is slow. The planting of native tree seedlings may be a solution. In this context, an experiment was carried out in a greenhouse for 120 days, testing 5 P rates (0, 75, 150, 300 and 600 mg L⁻¹) with rock phosphate colonization by AMF and native rhizobia in development of seedlings embaúba (*Cecropia pachystachya* Trécul) and sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth), grown in natural soil (NS), natural soil sterilized with 50% (NSS) and natural soil added with 25% organic compost (NSC). We analyzed the length, dry matter weight, N, P, K aerial part and the stem diameter of the plant, number of spores and mycorrhizal colonization, dry matter weight of nodules rhizobia, microbial biomass carbon, basal respiration and metabolic quotient soil. The growth in length, stem diameter and dry matter weight of embaúba not affected by the treatments. The substrates NS and NSS provided the greatest colonization and sporulation of AMF, favoring the input of P in shoots of these plants. This activity was reduced at the highest levels of P. The soil basal respiration and microbial biomass carbon (MBC) were lower in the NSS and not influenced by P fertilization. The substrate NSS provided major input of N in shoots, not influenced by P fertilization. Whereas the NSC provided major input of P and K in shoots of embaúba plants. The AMF favored the input of P in shoots of embaúba plants, but this activity was reduced at the highest levels of P. The growth of sabiá was not affected by treatments, but stem diameter and dry mass weight showed better results in substrate NSC. However, were not affected by the rates of P. The NSC had the lowest number of spores, the highest colonization of AMF at rate of 75 mg of P, however with reduction in higher rates, and higher MBC, but without influence of P rates. The NSS and native rhizobia provided major input of N in shoots and increased nodular mass in sabiá and levels of phosphorus influenced these parameters. The NSC provided major input of P and K in shoots of sabiá, in rate of 600 mg P, favored higher values of these nutrients. AMF provided a mild increase the levels of P in the shoots of sabiá plants.

Keywords: *Cecropia pachystachya* Trécul. *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. Phosphorus. Mycorrhiza. Rhizobia. Rehabilitation of degraded areas.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	10
2.	HIPÓTESE/OBJETIVO	12
3.	REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1.	Desertificação e reabilitação de áreas degradadas	13
3.2.	Recolonização de áreas degradadas a partir de mudas das plantas nativas	15
3.2.1.	Embaúba (<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul)	15
3.2.2.	Sabiá (<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> Benth.)	17
3.3.	Fósforo no desenvolvimento das plantas	19
3.4.	Associações simbióticas de rizóbios e de fungos micorrízicos	22
3.5.	Matéria orgânica do solo	26
4.	MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1.	Local dos experimentos	28
4.2.	Instalação e condução dos experimentos	28
4.3.	Tratamentos pré-germinativo das sementes	32
4.4.	Parâmetros avaliados	32
4.4.1.	Comprimento da parte aérea e o diâmetro do colo das plantas	32
4.4.2.	Massa da matéria seca da parte aérea das plantas	32
4.4.3.	Determinação dos teores dos elementos minerais N, P e K na parte aérea das plantas	33
4.4.4.	Número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares nos substratos ...	33
4.4.5.	Porcentagem de colonização micorrízica arbuscular nas raízes das plantas	33
4.4.6.	Massa da matéria seca dos nódulos de rizóbios em plantas de sabiá	33
4.4.7.	Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo	33
4.4.8.	Respiração basal do solo	34
4.4.9.	Quociente metabólico do solo	34
4.5.	Análises estatísticas	34
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1.	Crescimento das plantas de Embaúba (<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul)	35
5.1.1.	Crescimento em comprimento, diâmetro do colo e massa da matéria seca da parte aérea das plantas de embaúba	35
5.1.2.	Parâmetros microbiológicos	36
5.1.2.1.	Número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares nos substratos cultivados com plantas de embaúba	36

5.1.2.2.	Percentagem de colonização micorrízica arbuscular em plantas de embaúba	37
5.1.2.3.	Respiração basal do solo cultivado com plantas de embaúba	39
5.1.2.4.	Carbono da biomassa microbiana do solo cultivado com embaúba	40
5.1.2.5.	Quociente metabólico do solo cultivado com embaúba	41
5.1.3.	Teores de nutrientes N, P e K na parte aérea das plantas de embaúba	42
5.1.3.1.	Teor de nitrogênio presente na parte aérea das plantas de embaúba	42
5.1.3.2.	Teor de fósforo presente na parte aérea das plantas de embaúba	43
5.1.3.3.	Teor de potássio presente na parte aérea das plantas de embaúba	45
5.2.	Crescimento das plantas de Sabiá (<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> Benth.)	47
5.2.1.	Crescimento em comprimento, diâmetro do colo e massa da matéria seca da parte aérea das plantas de sabiá	47
5.2.2.	Parâmetros microbiológicos	49
5.2.2.1.	Número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares nos substratos cultivados com plantas de sabiá	49
5.2.2.2.	Percentagem de colonização micorrízica arbuscular em plantas de sabiá .	51
5.2.2.3.	Massa da matéria seca dos nódulos de rizóbios em plantas de sabiá	52
5.2.2.4.	Respiração basal do solo cultivado com plantas de sabiá	53
5.2.2.5.	Carbono da biomassa microbiana do solo cultivado com plantas de sabiá	54
5.2.2.6.	Quociente metabólico do solo cultivado com plantas de sabiá	54
5.2.3.	Teores de nutrientes N, P e K na parte aérea das plantas de sabiá	56
5.2.3.1.	Teor de nitrogênio presente na parte aérea das plantas de sabiá	56
5.2.3.2.	Teor de fósforo presente na parte aérea das plantas de sabiá	58
5.2.3.3.	Teor de potássio presente na parte aérea das plantas de sabiá	60
5.3.	Considerações finais	61
6.	CONCLUSÕES	62
	REFERÊNCIAS	63
	ANEXOS	77

1. INTRODUÇÃO

A degradação do solo, dos recursos hídricos, da fauna e flora leva à redução da qualidade de vida das populações afetadas, podendo chegar até a desertificação. Apesar do processo de desertificação ser natural, ele vem sendo acelerado pelo desmatamento, agricultura intensiva, mineração predatória, efeito estufa e chuva ácida. A degradação do solo é causada por diversos fatores complexos, incluindo os fatores naturais, socioeconômicos e políticos. O exponencial aumento no número de seres humanos e a disponibilidade de recursos cada vez mais em declínio impõem grande urgência na busca do uso eficiente dos recursos naturais e da reabilitação de habitats degradados.

A regeneração natural da vegetação é, sem dúvida, o procedimento mais barato para reabilitar áreas degradadas. Mas isto exige pré-condições, como por exemplo, a presença de sementes ou propágulos viáveis em quantidade suficiente e condições edafoclimáticas ao nível das exigências de germinação e crescimento de cada espécie. Porém, muitas vezes, esse processo é lento e demanda intervenções do homem, tais como a semeadura de espécies adaptadas e o plantio de mudas de arbóreas nativas.

Nesse contexto, a Embaúba (*Cecropia pachystachya* Trécul) é uma árvore de médio porte, pioneira, rústica e de crescimento rápido, ideal para o início de reflorestamento em áreas degradadas. Ela é atrativa para fauna por oferecer alimento para pássaros, bicho preguiça e morada para vários tipos de insetos como formigas e cupins. Além disso, apresenta alto índice de promiscuidade micotrófica em relação aos fungos micorrízicos arbusculares, o que aumenta as chances de ser colonizada espontaneamente pelos fungos nativos e amplia a sua capacidade de absorver nutrientes e crescer de modo competitivo no ambiente.

Outra planta muito interessante na revegetação, em condições semiáridas, é o sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.), pois desenvolve-se bem em áreas degradadas, é pouco exigente em fertilidade e umidade do solo, tem rápido crescimento e um sistema radicular superficial, desenvolvido e extenso que protege o solo contra a erosão. É uma planta que realiza simbioses com os fungos micorrízicos arbusculares e com as bactérias fixadoras de nitrogênio, favorecendo a sua sobrevivência e estabelecimento no campo, e enriquecendo o solo, principalmente com o nitrogênio fixado. A sua madeira é amplamente usada e a sua folhagem, rebrotos e frutos são excelente fonte de proteína na alimentação de bovinos, caprinos e ovinos. As suas flores são uma importante fonte de néctar e pólen para as abelhas, podendo ser explorada economicamente pelas comunidades rurais.

Outra estratégia interessante para recuperação de áreas degradadas é a utilização de microrganismos capazes de fixar nitrogênio, promover o crescimento das plantas e de

solubilizar fósforo. Estes microrganismos podem ajudar no crescimento e desenvolvimento da vegetação em solos degradados, favorecendo as práticas agrícolas e reduzindo os impactos ambientais. A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é a principal via de incorporação de nitrogênio ao ecossistema, sendo capaz de garantir o desenvolvimento da maioria das espécies leguminosas. Por outro lado, os fungos micorrízicos arbusculares podem contribuir para a nutrição de um modo geral, facilitando a absorção da água e dos nutrientes pelas plantas, especialmente aqueles de baixa mobilidade no solo, sendo muito importante nos programas de reflorestamentos.

Também, a eficiência do fósforo no solo pode ser melhorada com a contribuição dos microrganismos solubilizadores de fosfato, que além de disponibilizá-lo às plantas, aumentam o crescimento destas por outros mecanismos, como estimulando a eficiência da FBN, aumentando a disponibilidade de outros elementos traço, como o ferro e o zinco, e sintetizando importantes substâncias promotoras do crescimento das plantas. A utilização de fosfato de rocha natural reativo é uma fonte de fósforo eficiente agronomicamente, de custo mais baixo quando comparado aos fosfatos acidulados, e com o benefício de ser liberado de maneira gradual, contínua e progressiva durante todo o ciclo das culturas.

Somado a tudo isso, a matéria orgânica é uma das estratégias chave para manter a qualidade do solo adequada. Ela não só melhora a estrutura do solo, como também a atividade biológica e aumenta a capacidade de retenção de água no solo. Uma das mais importantes contribuições da matéria orgânica nas propriedades do solo é sua capacidade de suprir nutrientes para os organismos e para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

2. HIPÓTESE / OBJETIVO

A adição de matéria orgânica e doses de fósforo, utilizando-se fosfato de rocha natural reativo, favorecem a atividade da microbiota do solo e o crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas colonizadas com fungos micorrízicos arbusculares e rizóbio nativos.

Objetivos:

- 1) Testar diferentes doses de P com fosfato de rocha natural reativo na colonização micorrízica arbuscular e de rizóbio (no caso da leguminosa) e no crescimento de mudas de embaúba e de sabiá;
- 2) Avaliar o efeito do material orgânico na disponibilidade do fósforo e no crescimento das mudas colonizadas com fungos micorrízicos arbusculares e rizóbio (no caso da leguminosa) nativos.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Desertificação e reabilitação de áreas degradadas

A desertificação é definida pela Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD) como "**degradação da terra em áreas subúmidas, semiáridas e áreas secas resultantes de vários fatores, incluindo as variações climáticas e atividades humana**". Significa a destruição da base de recursos naturais, como resultado da ação do homem sobre o seu ambiente, e de fenômenos naturais, como a variabilidade climática (BRASIL, 2004). Mais de 100 países em seis continentes e um quinto da população do mundo são afetados pela desertificação que se expande, globalmente, a uma taxa anual de 0,5 milhões de km². Ela é um problema ambiental mundial, e seu controle necessita de esforços coletivos das sociedades internacionais, incluindo transferência de tecnologias e troca de informações (CI; YANG, 2010).

A desertificação ou a degradação do solo provocada pelas atividades humanas e pelas variações climáticas causa efeitos como a arenização, erosão do solo, salinização e declínio da produtividade do solo. Tal processo é o principal fator que limita o ambiente e o desenvolvimento socioeconômico sustentável em zonas áridas. As terras secas no mundo cobrem uma área de cerca de 5,55 bilhões de hectares, representando 37 % da área total da terra, das quais mais de 75 % estão ameaçadas pela desertificação de média intensidade (CI *et al.*, 2010).

As áreas suscetíveis à desertificação no Brasil abrangem o trópico semiárido, subúmido seco e áreas de entorno, ocupando cerca de 1.340.000 km² e atingindo diretamente 30 milhões de pessoas. Desse total, 180.000 km² já se encontram em processo grave e muito grave de desertificação, concentrados principalmente nos Estados do Nordeste, que têm 55,25 % do seu território atingido em diferentes graus de deterioração ambiental (BRASIL, 2007).

A degradação e a desertificação do solo tem causado consequências dramáticas e grande preocupação na comunidade internacional, pois, em muitos casos, é de difícil reabilitação e gera altíssimo custo social, econômico e ambiental (BRASIL, 2007). A desertificação restringe seriamente a segurança alimentar, a segurança ecológica e a estabilidade socioeconômica, bem como o desenvolvimento sustentável. Ela tem causado sérios efeitos sobre o ambiente global e as vidas das pessoas em muitos países em desenvolvimento.

O combate à desertificação é uma obrigação compartilhada, globalmente, por todas as comunidades. Ele envolve uma sofisticada engenharia e medidas de controle

biológico, tais como: a revegetação, proteção de sistemas de oásis de deserto, transformação e restauração de grandes áreas de florestas naturais do deserto, fixação de areias e outras medidas específicas para diferentes regiões. Os resultados de projetos atuais e já desenvolvidos têm sido positivos, mas muitas pessoas ainda sofrem com a miséria causada pela deterioração do ambiente, a degradação da terra, as mudanças climáticas e a pobreza (CI *et al.*, 2010).

A Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD) tem criado princípios adaptativos, mitigadores e orientadores para a reabilitação e controle da desertificação. Ela criou um centro para ação global, promovendo a parceria e a cooperação internacional no combate à desertificação e mitigando os impactos da seca. Também, tem chamado à atenção dos governos e das organizações internacionais para as responsabilidades em comum (CI *et al.*, 2010).

Como resultado dos processos da degradação e da desertificação, as perturbações das comunidades vegetais são muitas vezes acompanhadas, ou precedidas, por danos as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, tais como: a estrutura do solo, a disponibilidade de nutrientes para às plantas, o teor de matéria orgânica, a atividade microbiana etc. (JEFFRIES; BAREA, 2001). As propriedades químicas do solo são fundamentais para a qualidade do mesmo, especialmente a estabilidade de agregados e acúmulo de matéria orgânica, pois são os fatores mais influentes (BUSCOT, 2005; MILLER; JASTROW, 2000).

A degradação dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo limita o restabelecimento da cobertura vegetal natural. A desertificação provoca, particularmente, distúrbios nas relações simbióticas entre as planta e os microrganismos, sendo um fator crítico que afeta o crescimento e o desenvolvimento das plantas em ecossistemas degradados (FRANCIS; THORNES, 1990). Por esta razão, em programas de revegetação o restabelecimento da atividade e da eficiência dos fungos micorrízicos arbusculares e bactérias diazotróficas são fundamentais para se iniciar uma reabilitação de uma área degradada (JEFFRIES; BAREA, 2001).

A degradação da vegetação pode alterar o equilíbrio da população microbiana do solo comprometendo por um longo período todo o ecossistema (SOUTO, 2002). A densidade e a atividade microbiana dependem de características químicas, físicas e biológicas do solo. Além disso, estão diretamente influenciadas por vários fatores ambientais como aeração, temperatura, umidade, mineralogia do solo, disponibilidade de nutrientes minerais (N, P, S, Ca, Mo, Co e Fe) e de substrato orgânico, como também o manejo do solo.

3.2. Recolonização de áreas degradadas a partir de mudas das plantas nativas

3.2.1. Embaúba (*Cecropia pachystachya* Trécul)

A embaúba (*Cecropia pachystachya* Trécul) é uma planta da família Cecropiaceae conhecida popularmente como embaúva, imbaúba, umbaúba, umbaubeira, umbaúba do brejo, ambaíba, árvore-da-preguiça, caixeta do campo ou torem. É uma árvore de comportamento pioneiro, de rápido crescimento, perenifólia, heliófita e seletiva higrófila, característica de solos úmidos e bancos de rios, ocorrendo em matas ciliares, bordas de florestas e em suas clareiras (BATISTA *et al.*, 2008a; LORENZI, 1992). Prefere as matas secundárias, sendo rara no interior da mata primária densa; pode ser encontrada também em capoeiras novas situadas junto às vertentes ou cursos d'água e em terrenos baixos com lençol freático superficial (LORENZI, 1992). Após formar a mata inicial, as embaúbas não se regeneram graças à sombra; o papel aqui atribuído às embaúbas observa-se por toda a parte da América tropical (RIZZINI, 1997).

As espécies do gênero *Cecropia* encontram-se largamente distribuídas na região Neotropical. Apresentam crescimento rápido e são abundantes em áreas perturbadas e em estágios iniciais de processos sucessionais (SANTOS, 2000). Seus frutos carnosos produzem um grande número de pequenas sementes muito atrativas para a fauna, sendo dispersas, principalmente, por muitas espécies de pássaros e morcegos. As folhas da embaúba são muito apreciadas por bicho-preguiça (LORENZI, 2000; PASSOS *et al.*, 2003; RIBAS; SEBBENN, 2004). Por essas razões e pela rapidez em crescimento, a embaúba é indispensável nos reflorestamentos de áreas degradadas.

No Brasil tem ampla distribuição, ocorrendo no Ceará, Bahia, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul até Santa Catarina, em várias formações vegetais (LORENZI, 1992). Os gêneros mais comuns são *Cecropia glaziou* Sneth, *C. hololeuca* Miq, *C. pachystachya* Trécul, *C. purpurascens* Berg e *C. sciadophylla* Mart. A *C. pachystachya*, podendo chegar a sete metros de altura e tronco variando de 15 a 25 cm de diâmetro, normalmente abrigando colônias de formigas no seu interior oco (entrenós). Esta é uma das espécies arbóreas mais abundantes na região do Cerrado, presente em clareiras e extensas áreas abertas, indicando sua importância ecológica em processos de sucessão, além de ser apropriada para reflorestamentos heterogêneos de áreas degradadas (POTT; POTT, 1994; SANTOS, 2000).

Segundo Lorenzi (1992), a madeira da embaúba pode ser empregada para confecção de brinquedos, caixotaria leve, saltos para calçados, lápis, compensados e polpa

celulósica. Pott, Pott e Sobrinho (2004), citam o uso da embaúba como fonte de fibras para cordas rústicas, fabricação de balsa ou jangada com seu caule, a utilização de suas folhas como lixa, o uso de seus frutos verdes como cicatrizante e a utilização de chá do broto para diarreia e disenteria, erisipela, tosse e como colírio.

A embaúba não é tão exigente quanto às condições ambientais para germinar e se estabelecer no ambiente, em relação às espécies clímax. Porém, a germinação de suas sementes são fortemente induzidas pela luz (GODOI; TAKAKI, 2005; HOLTHUIJZEN; BOERBOOM, 1982; VÁLIO; SCARPA, 2001). Almeida (2000) relata que em ambientes tropicais, as espécies vegetais pioneiras são menos exigentes quanto às condições ambientais para germinarem, em relação às espécies clímax, devido a sua capacidade de adaptação a ambientes variados. Porém, as mesmas necessitam muitas vezes de dispersores para transportarem suas sementes para sítios adequados de germinação. Como também, requerem um mínimo de aporte nutricional para seu estabelecimento em áreas onde a vegetação foi retirada, o que justifica a sua dependência com os fungos micorrízicos arbusculares (FMA).

Pouyu-Rojas, Siqueira e Santos (2006), citam que se deve dar preferência a espécies vegetais mais promíscuas aos FMA. Estas, por apresentarem elevada compatibilidade com os fungos micorrízicos arbusculares, promoverão, com maior eficiência e rapidez, o aumento da densidade e diversidade de propágulos, facilitando o crescimento de maior número de espécies e, assim, contribuindo para aumentar a diversidade acima e abaixo da superfície do solo.

Siqueira *et al.* (1998), citam que as plantas que exibem alta seletividade aos FMA têm menos chance de sobrevivência em áreas degradadas ao contrário daquelas menos seletivas, como é o caso da embaúba que chega a apresentar índice de promiscuidade micotrófica de 90 %. Além disso, o comportamento pioneiro da embaúba associa-se ao crescimento, geralmente, dependente da micotrofia. Por ser uma planta sem especificidade em relação aos FMA tem maior chance de ser colonizada espontaneamente pelos fungos nativos, ampliando sua capacidade de absorver nutrientes e crescer, de modo competitivo, no ambiente.

Além disso, para maximizar os benefícios dos FMA, é necessário aplicar P nos solos de fertilidade muito baixa (POUYU-ROJAS; SIQUEIRA; SANTOS, 2006). Estes autores também relatam que a embaúba apresenta ampla compatibilidade com os fungos micorrízicos, comportando-se como generalista em relação aos hospedeiros *Glomus clarum*, *Entrophospora colombiana*, *Scutellospora pellucida* e *Glomus etunicatum*, e, portanto, tem grande potencial para reabilitação de áreas degradadas.

3.2.2. Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.)

O sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) é uma planta pioneira, muito precoce, heliófita, decídua, seletiva xerófita, da família Fabaceae e subfamília Mimosoideae, sendo conhecida também como cebiá, angiquinho-sabiá, sansão do campo e unha de gato. O nome popular sabiá é uma referência à semelhança da coloração da casca da árvore com a plumagem do pássaro de mesmo nome, enquanto que o nome unha de gato é devido os seus acúleos (MAIA, 2012). É uma planta característica da caatinga setentrional, ocorrendo naturalmente em áreas de *Caatinga* semiúmida com precipitações que variam de 315 a 2.400 mm anuais. Ela é comumente encontrada nos Estados do Maranhão, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Minas Gerais. A sua introdução em regiões úmidas dos Estados do Rio de Janeiro e São Paulo ocorreu com sucesso (CARVALHO, 2007).

O Sabiá é uma leguminosa arbórea, dotada de acúleos (mas, existem variedades inermes), muito ramificada e de pequeno porte, atingindo até oito metros de altura, com tronco de 20 a 30 cm de diâmetro. Ela se propaga vegetativamente (por estaquias ou brotação) ou por sementes, com bom desenvolvimento no campo. Desenvolve-se em todos os solos, exceto os alagados, com rápido crescimento, mas, tem preferência por solos profundos, tanto em formações primárias como secundárias, em áreas arenosas às margens dos rios e, algumas vezes, entrando na composição de matas ciliares (LORENZI, 2008; MAIA, 2012; QUEIROZ, 2009).

Tem bom desenvolvimento em áreas degradadas e em locais onde tenha havido exposição do subsolo, pois é pouco exigente em fertilidade e umidade do solo (CARVALHO, 2007; SILVA *et al.* 2008). Segundo Silva *et al.* (2009), o sabiá pode proporcionar melhoria na estrutura do solo, bem como incorporar matéria orgânica ao solo e servir de cobertura vegetal. Além disso, é uma planta que tem rápido desenvolvimento e crescimento com um sistema radicular superficial, desenvolvido e extenso, protegendo o solo contra a erosão. Portanto, é uma planta com grande potencial de uso em revegetação de áreas degradadas, pois, ela irá sombrear, proteger e enriquecer o solo, principalmente com o nitrogênio fixado, favorecendo o desenvolvimento de espécies clímax (MAIA, 2012). Segundo Burity *et al.* (2000), o sabiá é considerado uma leguminosa indispensável em qualquer programa de reflorestamento na região Nordeste, principalmente no semiárido.

Um aspecto muito interessante dessa leguminosa, para sua sobrevivência e estabelecimento no campo, é a simbiose realizada com os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e com as bactérias fixadoras de nitrogênio (BURITY *et al.*, 2000; MENDES FILHO *et al.*, 1986). Pois, os FMA favorecem a absorção de água e nutrientes, principalmente aqueles

de menor mobilidade no solo como o fósforo, e as bactérias diazotróficas fixam o nitrogênio e promovem o crescimento das plantas. Portanto, a revegetação com leguminosas arbóreas associadas a bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico e fungos micorrízicos tem se mostrado uma excelente alternativa à reabilitação de solos degradados (FRANCO *et al.*, 2005; FRANCO, FARIA, 1997).

O sabiá é uma leguminosa de grande utilidade no Nordeste brasileiro (CORRÊA; PENNA, 1978; BURITY *et al.*, 2000; MENDES FILHO *et al.*, 1986), pois, sua madeira é altamente resistente à decomposição, à umidade e ao cupim, sendo adequada para mourões, estacas, postes, dormentes, forquilhas, esteios, lenha e fabricação de carvão. Podendo, ainda, ser cultivada como cerca viva defensiva (variedade espinhosa), planta ornamental e na arborização urbana (LIMA, 1996; LORENZI, 2008; MAIA, 2012; QUEIROZ, 2009). Essa planta é frequentemente recomendada para uso forrageiro durante as longas estiagens do sertão semiárido, apresentando boa capacidade de rebrota após o corte. A sua folhagem, os rebrotos e os frutos são consumidos por bovinos, caprinos e ovinos, sendo excelente fonte de proteína. Suas flores são melíferas, sendo uma importante fonte de néctar e pólen para as abelhas (MAIA, 2012).

Entretanto, a presença de acúleos é um caráter dominante na espécie, dificultando o manejo das plantas e limitando a sua exploração em condições naturais. Mas, a seleção de plantas sem acúleos é possível, uma vez que estas ocorrem em povoamentos naturais. Portanto, a formação de populações de indivíduos sem acúleos facilita o manejo e estimula a sua utilização em programas de reabilitação de áreas degradadas e, em particular, a sua utilização como forrageira (DRUMOND *et al.*, s. d.). Segundo Carvalho *et al.* (1990), a ausência de acúleos é importante para a utilização do sabiá como forrageira, favorecendo a circulação de animais, máquinas e equipamentos nos piquetes.

A casca do sabiá é utilizada em forma de unguento na medicina caseira como cicatrizante. O chá da parte interna da casca é usado para problemas estomacais e das vias respiratórias superiores (MAIA, 2012). Como também, o extrato da planta tem apresentado bons resultados em pesquisas antimicrobianas. Os resultados têm sido promissores na inibição de fungos, como *Candida glabrata* e *Candida krusei*, e na atividade inibitória de crescimento de bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, como *Staphylococcus aureus*; *Bacillus cereus*, *Escherichia coli* e *Pseudomonas aeruginosa* (CALLOU *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2012).

3.3. Fósforo no desenvolvimento das plantas

O fósforo (P) é um dos nutrientes minerais essenciais para as plantas, cuja deficiência é extremamente limitante ao desenvolvimento e à produção. Ele é necessário para vários processos metabólicos, como: a divisão celular, a energia, o transporte de sinais de transdução, a biossíntese de macromoléculas, a fotossíntese e a respiração (KHAN *et al.*, 2009b; SHENOY; KALAGUDI, 2005). A deficiência de P pode limitar severamente o crescimento e a produtividade das plantas, especialmente nas leguminosas, onde tanto estas como as relações simbióticas com as bactérias diazotróficas são afetadas, e isto pode ter um efeito deletério sobre a formação e função dos nódulos, prejudicando a fixação biológica de nitrogênio (CHRISTIANSEN; GRAHAM, 2002; ROBSON *et al.*, 1981).

O fósforo está presente no solo tanto, nas formas orgânicas como inorgânicas, que são muito pouco solúveis. Considera-se como um dos elementos menos solúveis no ambiente natural, com menos de 5 % do P total do solo disponível para as plantas (DOBBELAERE *et al.*, 2003). O P é utilizado pelas plantas na forma totalmente oxidado e hidratado como ortofosfato, sendo absorvido, normalmente, nas formas H_2PO_4^- ou HPO_4^{2-} , dependendo do pH do meio. Mas, sob certas condições as plantas podem absorver fosfatos orgânicos solúveis, incluindo os ácidos nucleicos (BARKER; PILBEAM, 2007).

O fósforo liberado na solução do solo a partir da mineralização da matéria orgânica pode ser imobilizado pela população microbiana, absorvido pelas plantas em crescimento, transferido para o estoque inorgânico do solo ou, em alguns casos, perdido por lixiviação e escoamento superficial (BARKER; PILBEAM, 2007). Uma grande parte do P inorgânico solúvel aplicado ao solo como fertilizante é rapidamente imobilizada pelo ferro e óxidos de alumínio em solos ácidos e por cálcio nos solos calcários, tornando-se indisponíveis para as plantas (CHACON *et al.*, 2006; KHAN *et al.*, 2007a). Esta indisponibilização ocorre devido a processos como adsorção, precipitação ou conversão para a forma orgânica. Portanto, mais de 80 % dos fertilizantes fosfatados podem tornar-se indisponíveis para absorção pelas plantas (HOLFORD, 1997), levando ao acúmulo de fosfato no solo, que eventualmente contamina as águas superficiais e subterrâneas.

Os solos contêm, normalmente, uma ampla gama de microrganismos capazes de solubilizar ortofosfato inorgânico a partir de fosfatos orgânicos de origem vegetal e microbiana (ALEXANDER, 1977; COSGROVE, 1977). Esses microrganismos realizam o processo de mineralização ou imobilização do fósforo orgânico. Tais processos são altamente favorecidos pela umidade do solo, pela temperatura e por valores de pH próximos ao neutro,

ocorrendo mais rapidamente em ambientes quentes e em solos bem drenados (ALEXANDER, 1977; BUSMAN *et al.*, 2002).

O fósforo pode ser liberado a partir de compostos orgânicos no solo por três grupos de enzimas: (1) fosfatases inespecíficas, que executam a desfosforilação de ligações fósforo-éster ou fosfoanidrido em matéria orgânica, (2) fitases, que especificamente causam a libertação de P do ácido fítico, e (3) C-P liases, as enzimas que realizam C-P clivagem em organofosfonatos. Sendo que as principais atividades, aparentemente, correspondem às enzimas fosfatases ácidas e fitases, por causa da presença predominante de seus substratos no solo. As fosfatases vegetais e microbianas são eficientes solubilizadoras de P orgânico na rizosfera (TARAFDAR; CLAASSEN, 1988; TARAFDAR; JUNGK, 1987).

Além da mineralização do P orgânico por meio da ação das enzimas fosfatases (GARCIA *et al.*, 1992), muitos microrganismos do solo podem solubilizar o P mineral, geralmente, através da produção de ácidos orgânicos (ZAIDI *et al.*, 2009a) que acidificam o solo circundante. Por esta razão, imagina-se que a solubilização microbiana do P é mais eficiente em solos básicos do que em solos naturalmente ácidos (KHAN *et al.*, 2010; SOLANO *et al.*, 2008).

Algumas estratégias específicas têm sido adotadas para a adaptação de leguminosas noduladas em suprimento de fósforo limitado, tal como a manutenção de concentrações muito maiores de P nos nódulos do que em outros órgãos (PEREIRA; BLISS, 1987), maior absorção de P a partir da solução do solo diretamente pelos nódulos e bacteróides (AL-NIEMI *et al.*, 1998), aumento na fixação de N₂ por unidade de massa de nódulos para compensar a nodulação reduzida (ALMEIDA *et al.*, 2000) e maior acúmulo de açúcares solúveis nos nódulos do que nas raízes e na parte aérea (OLIVERA *et al.*, 2004).

Araújo *et al.* (2008), observaram um aumento das atividades de fosfatases ácidas e fitases em nódulos de genótipos de feijoeiro comum em diferentes níveis de suprimento de P, indicando que este aumento nas atividades pode constituir um mecanismo adaptativo para leguminosas fixadoras de N₂ tolerarem a deficiência de P. Da mesma forma que, plantas cultivadas com suprimento de P limitado podem aumentar as atividades de fosfatases e fitases nas raízes para hidrolisarem compostos orgânico de P no solo, melhorando a aquisição deste nutriente.

O fornecimento de fósforo para as plantas através de meios biológicos é uma alternativa barata, ecológica e viável. Entre a microbiota do solo heterogeneamente distribuída, um grupo de microrganismos, geralmente, referenciados como microrganismos solubilizadores de fosfato, incluindo bactérias, fungos e actinomicetos, têm sido ativos na

conversão de P insolúvel para formas solúveis e tornando-o acessível às plantas (JORQUERA *et al.*, 2008; KHAN *et al.*, 2009a; KHAN *et al.*, 2007b). Os compostos orgânicos lábeis de fósforo podem ser enzimaticamente mineralizados por bactérias solubilizadoras de fósforo, como *Pseudomonas*, *Enterobacter* e *Pantoea* (JORQUERA *et al.*, 2008), sendo transformados em P inorgânico disponível ou sendo imobilizados como parte da matéria orgânica do solo (MCKENZIE; ROBERTS, 1990).

A solubilização e a mineralização de compostos indisponíveis de P podem ser realizadas por diversas bactérias e fungos saprófitos (GEORGE; RICHARDSON, 2008; KHAN *et al.* 2010; MARSCHNER, 2008; RICHARDSON *et al.* 2009). Vários estudos têm avaliado a capacidade de diferentes espécies bacterianas solubilizarem compostos insolúveis de P inorgânico, tais como fosfato tricálcico, fosfato bicálcico, hidroxiapatita e fosfato de rocha. Existe uma considerável população de bactérias solubilizadoras de P no solo e na rizosfera das plantas, incluindo muitos gêneros aeróbios e anaeróbios (ZAIDI *et al.*, 2009b).

Entre as diferentes rizobactérias promotoras de crescimento de plantas capazes de solubilizar P insolúvel (ZAIDI *et al.*, 2009b) e P inorgânico (ALIKHANI *et al.*, 2006; ANTOUN *et al.*, 1998; RIVAS *et al.*, 2006; SRIDEVI; MALLAIAH, 2009), tornando-os disponíveis, os rizóbios têm vantagem dupla. Pois, além de solubilizar P, eles podem fixar o nitrogênio para as plantas, e também têm a capacidade de melhorar o crescimento das leguminosas sinergicamente com outros microrganismos promotores de crescimento de planta, como os fungos micorrízicos arbusculares (ZAIDI *et al.*, 2003; ZAIDI; KHAN, 2007; WANI *et al.*, 2007).

Jisha e Alagawadi (1996) observaram que a inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato (BSF) juntamente com fosfato de rocha resultou num aumento de disponibilidade de P para utilização pelas plantas. Já Prabhakar e Saraf (1990), concluíram que a inoculação das BSF juntamente com 17,5 kg de P ha⁻¹ de fosfato de rocha mussoorie aumentou a produção de matéria seca em grão de bico, e foi tão eficaz quanto superfosfato simples. Saraf *et al.* (1997) concluíram que a inoculação das BSF aumentou o rendimento da produção de sementes de grão de bico em relação ao controle em 14 %.

3.4. Associações simbióticas de rizóbios e de fungos micorrízicos

O mundo microbiano é o maior reservatório de biodiversidade inexplorada que pode atuar como uma fonte importante para a reabilitação de áreas degradadas, agricultura, indústria e aplicações medicinais. Mas, para isto, é necessária a seleção de organismos adequados ao crescimento sustentável das plantas (MAHESHWARI, 2011). As comunidades microbianas apresentam funções e atividades que têm impacto direto no funcionamento dos ecossistemas. Os microrganismos são capazes de se desenvolverem em diferentes configurações ambientais, inclusive em habitats com condições extremas, através de diversas estratégias de vida. É cada vez mais evidente que as bactérias atuam na natureza, predominantemente, em grupo ou comunidade capaz de criar vários nichos ecológicos para permitirem as suas sobrevivências (LAZDUNSKI *et al.*, 2004).

Nos últimos anos, o interesse em microrganismos do solo tem aumentado muito, à medida que se percebe o importante papel deles na manutenção da fertilidade do solo. As bactérias que fornecem algum benefício para as plantas são, em geral, aquelas que estabelecem relações simbióticas com a planta ou aquelas de vida livre no solo (as rizobactérias), mas que são frequentemente encontradas próximas ou dentro de tecidos radiculares das plantas (KLOEPPER *et al.*, 1988). Considerando-se a forma de como as comunidades microbianas afetam as plantas, os microrganismos do solo podem ser deletérios, incluindo os agentes patogênicos, neutros ou benéficos. Neste último grupo estão as rizobactérias promotoras do crescimento de plantas que, em grande parte, são bactérias gram-negativas (ARORA *et al.*, 2001).

As rizobactérias devem ser capazes de ocupar nichos na rizosfera e nas raízes em condições competitivas para que haja, eficientemente, a promoção do crescimento das plantas (KLOEPPER, 2003). Assim, para facilitar o crescimento da planta, por mecanismos diretos ou indiretos, elas têm que estar em contato íntimo com a planta, que ocorre pela colonização da rizosfera ou pela penetração dos tecidos, como um endófito, para estabelecer as relações simbióticas (VESSEY, 2003). Consequentemente, as interações entre as plantas e os microrganismos são de grande importância prática. Pois, se por um lado as rizobactérias desempenham um papel de promotoras de crescimento, por outro as plantas podem exercer um controle seletivo sobre a diversidade e abundância bacteriana na rizosfera através da liberação de compostos orgânicos como exsudados. Isto pode estimular ou inibir as espécies da biota rizosférica, criando uma pressão seletiva em um ambiente de baixa diversidade (BARRIUSO, *et al.*, 2008).

A simbiose entre os rizóbios e as leguminosas depende de sua competitividade, especificidade, infectividade e eficácia, seguindo uma série de passos resultantes da expressão de diferentes moléculas da bactéria, da planta hospedeira, ou de ambas. Portanto, as relações simbióticas formadas entre os rizóbios fixadores de azoto e as leguminosas são o resultado de uma complexa rede de sinalização entre o hospedeiro e o simbiote (PEIX, *et al.*, 2010).

Loh; Stacey (2003); Marketon *et al.* (2003) e Daniels *et al.* (2002), relatam que o “quorum sensing” é uma peça chave no processo simbiótico que leva à concentração de bactérias nas raízes das plantas e, em torno delas e dos nódulos. Um componente importante do processo de sinalização é o aumento da densidade de células de rizóbios determinado pelo “quorum sensing” (GONZÁLEZ; MARKETON, 2003).

Além disso, há indícios de interação entre alguns componentes exsudados pelas plantas e o sistema de comunicação das bactérias – “quorum sensing” (TEPLITSKI, *et al.*, 2000). Com base nesta observação, tem sido sugerido que as plantas possuem um grande potencial para a "engenharia do solo" e podem selecionar as bactérias mais adequadas (SIMMS; TAYLOR, 2002). Por outro lado, os microrganismos da rizosfera podem aumentar a exsudação de carbono e fontes de energia ou flavonóides, sugerindo a presença de um "feedback" nas interações entre a planta e o rizóbio, relacionado com a nutrição bacteriana (LODWIG; POOLE, 2003; PHILLIPS, *et al.*, 2004).

Os microrganismos capazes de fixarem nitrogênio atmosférico através de simbioses com as plantas da família *Leguminosae* foram descobertos no século XIX. As simbioses resultam, como principal característica, na formação de nódulos nas raízes ou nos caules das leguminosas. O nódulo é o órgão da planta onde as bactérias, uma vez transformadas em bacteróides, realizam o processo de fixação de azoto. Portanto, um grande desafio para o desenvolvimento da agricultura sustentável é a utilização destas bactérias capazes de assimilar N_2 gasoso a partir da atmosfera (SELDIN *et al.*, 1998).

O nitrogênio está presente em diversas formas na biosfera. A atmosfera é composta por cerca de 80 % de nitrogênio molecular (N_2). Porém, esse grande reservatório de nitrogênio não está diretamente disponível para os organismos vivos, pois a maioria das plantas o obtém sob a forma de íon nitrato (NO_3^-), havendo algumas que o absorve sob a forma de íon amônio (NH_4^+). A obtenção de nitrogênio da atmosfera requer a quebra de uma ligação tripla covalente, de excepcional estabilidade, entre os dois átomos de nitrogênio ($N\equiv N$) para produzir amônia (NH_3) ou nitrato (NO_3^-). Tais reações, conhecidas como fixação do nitrogênio, podem ser obtidas por processo industrial e por processos naturais (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A fixação biológica do nitrogênio é caracterizada pela conversão do nitrogênio gasoso (N_2) em nitrogênio amoniacal (NH_4), forma disponível às plantas. Segundo Taiz e Zeiger (2004), o processo de fixação biológica do nitrogênio é semelhante à fixação industrial deste elemento, pois produz amônia a partir do nitrogênio molecular, sendo a reação geral:

$$N_2 + 8H^+ + 16ATP + 8e^- \xrightarrow{\text{Nitrogenase}} 2NH_3 + H_2 + 16ADP + 16Pi$$

que é catalisada pelo complexo da enzima nitrogenase.

As espécies fixadoras de nitrogênio possuem a enzima nitrogenase que é composta por duas unidades básicas: uma ferro-proteína, que coleta a força redutora e energia, e outra ferro-molibdênio-proteína, que coleta e reduz o substrato (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Esse processo ocorre como resultado da associação simbiótica entre as plantas leguminosas e as bactérias específicas que se associam às raízes das mesmas, formando nódulos que são a sede da atividade fixadora. Assim que a simbiose é estabelecida, a planta fornece fotoassimilados à bactéria, recebendo em troca produtos nitrogenados (aminoácidos, ureídeos) provenientes da fixação de N_2 (SCHUBERT, 1986 apud SOARES, 2007).

Outra importante atividade que pode ser exercida por alguns gêneros de bactérias é a solubilização de fosfatos inorgânicos e a mineralização de fosfatos orgânicos (TAWARAYA *et al.*, 2006). Vários estudos têm sido realizados para avaliarem a capacidade de diferentes espécies bacterianas em solubilizar compostos insolúveis de fosfato inorgânico, tais como fosfato tricálcio e fosfato bicálcico, hidroxiapatita e fosfato de rocha. Entre os gêneros de bactérias com essa capacidade estão: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Burkholderia*, *Achromobacter*, *Agrobacterium*, *Micrococcus*, *Aerobacter*, *Flavobacterium*, e *Erwinia* (RODRÍGUEZ; FRAGA, 1999).

Estirpes de *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* foram encontradas solubilizando, eficientemente, fosfato de rocha ou compostos orgânicos de P através da produção de ácidos orgânicos e/ou fosfatases (ABD-ALLA, 1994; HALDER *et al.*, 1991). Também, foram encontrados vários fungos pertencentes aos gêneros *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* e *Trichoderma* eficientes na solubilização de fosfato (KHAN *et al.*, 2010; RASHID *et al.*, 2004). O principal mecanismo para o aumento da disponibilidade de P é a produção microbiana de ácidos orgânicos que podem dissolver a apatita, liberando formas solúveis de P através da acidificação do solo da rizosfera. Além disso, a acidificação do ambiente rizosfera, através da produção metabólica de íons de hidrogênio, altera o pH, suficientemente, para mobilizar minerais do solo (RODRÍGUEZ *et al.*, 2006).

Nos solos tropicais, um fator limitante para as simbioses de leguminosas é a baixa quantidade de fósforo. Porém, fungos micorrízicos arbusculares (FMA) podem contribuir para a nutrição fosfatada de plantas e, no caso de leguminosas, têm sido observados efeitos sinérgicos entre bactérias fixadoras de nitrogênio nodulíferas em leguminosas e fungos micorrízicos arbusculares, evidenciando a importância dessa simbiose tripla (BORISOV *et al.*, 2004; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Os fungos associam-se às raízes por serem incapazes de realizar fotossíntese e, assim, obtêm carbono e outros nutrientes da planta hospedeira. Plantas micorrizadas possuem maior capacidade de absorção e por isso, geralmente, acumulam maiores quantidades de vários macro e micronutrientes, dependendo da disponibilidade relativa de cada nutriente no solo e de processos fisiológicos e do desenvolvimento na planta, como também de certos elementos como Br, I, Cl, Al, Si e metais pesados. Os teores de N, K, Ca, Mg e Na geralmente são menores, enquanto os de S, P e C são geralmente maiores nas plantas com micorrizas arbusculares (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

As hifas dos fungos micorrízicos estendem-se no solo secretando enzimas extracelulares e absorvendo eficientemente o máximo de nutrientes disponíveis no solo para serem disponibilizados na parte interna das células das raízes das plantas. Eles desempenham um papel crucial na captação de nutrientes para as plantas, nas relações hídricas, no estabelecimento de ecossistemas, na diversidade e produtividade das plantas (SIDDIQUI *et al.*, 2008). Os FMA promovem aumento na absorção de nutrientes, especialmente aqueles de menor mobilidade no solo, armazenamento temporário de outros elementos, tais como metais, favorecimento de microrganismos benéficos como os fixadores de N₂ e solubilizadores de fosfato, mitigação dos efeitos adversos do pH da solução do solo, favorecimento na relação água-planta, produção e acúmulo de substâncias de crescimento, maior tolerância à fitopatógenos, a estresses ambientais e fatores fitotóxicos (ex.: herbicidas e poluentes orgânicos e metais), além da melhoria na agregação do solo e maior acúmulo de substâncias bioativas (BORISOV *et al.*, 2004; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

3.5. Matéria orgânica do solo

A matéria orgânica do solo (MOS) é uma mistura complexa de compostos em vários estádios de decomposição ou estabilidade (BARKER *et al.*, 2000), englobando a biomassa microbiana, as raízes e a fração mais estável, denominada húmus (THENG *et al.*, 1989). Num sentido bem amplo, ela pode ser entendida como a fração que compreende todos os organismos vivos e seus restos que se encontram no solo, nos mais variados graus de decomposição (SILVA; MENDONÇA, 2007), tendo um papel fundamental no condicionamento das características químicas, físicas e biológicas.

Entre as características químicas afetadas pela MOS destacam-se a disponibilidade de nutrientes para as culturas, a capacidade de troca de cátions e a complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, fundamentais em solos tropicais por serem, na sua maioria, altamente intemperizados e ácidos. A MOS é uma importante fonte de nutrientes para as plantas, disponibilizando elementos como N, P e S. A aplicação de resíduos orgânicos no solo reduz a adsorção do fósforo e aumenta a eficiência dos fertilizantes fosfatados (HUE, 1990).

Andrade, Fernandes e Faquin (2002), ao pesquisarem o efeito da aplicação de resíduos orgânicos na adsorção de P, concluíram que a adição de matéria orgânica reduziu a fixação de P nos solos estudados. Alguns trabalhos têm indicado a existência de correlação positiva entre o teor de matéria orgânica e a adsorção de fósforo, devido, principalmente, ao caráter aniônico da matéria orgânica que possibilita a formação de pontes de cátions com o alumínio, ferro e cálcio a ela adsorvidos, e por meio dessas pontes o fósforo seria adsorvido (SANYAL; De DATTA, 1991). Moreira *et al.* (2006), afirmaram que os atributos do solo mais estreitamente correlacionados com a adsorção de fósforo foram a matéria orgânica, o fósforo disponível e a capacidade de troca de cátions.

Já com relação às características físicas do solo afetadas pela MOS, tem-se a agregação como principal e, por conseguinte a densidade, porosidade, aeração, capacidade de retenção e infiltração de água, entre outras, que são fundamentais à capacidade produtiva do solo. A MOS afeta diretamente as características biológicas do solo, atuando como fonte de carbono, energia e nutrientes para os microrganismos quimioheterotróficos, e através da mineralização do N e S orgânico atua como fonte de energia para os microrganismos quimioautotróficos. Os efeitos da MOS sobre os microrganismos podem ser avaliados a partir da biomassa e atividade microbiana, parâmetros que representam uma integração de efeitos desta sobre as condições biológicas do solo (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

A matéria orgânica do solo pode ser dividida em dois grupos fundamentais. O primeiro é constituído pelos produtos da decomposição dos resíduos orgânicos e do metabolismo microbiano, como proteínas e aminoácidos, carboidratos simples e complexos, resinas, ligninas e outros. Essas macromoléculas constituem, aproximadamente, 10 a 15 % da reserva total de carbono orgânico nos solos minerais. O segundo é representado pelas substâncias húmicas propriamente ditas, constituindo 85 a 90 % da reserva total do carbono orgânico (ANDREUX, 1996; KONONOVA, 1982). O húmus é o compartimento que inclui substâncias húmicas e não húmicas. Sendo que esses dois grupos de compostos encontram-se fortemente associados no ambiente edáfico e não são totalmente separados pelos processos tradicionais de fracionamento, sendo difícil definir seus limites. A porção parcialmente decomposta ou não húmica é a fonte principal de energia para os organismos do solo (BARKER; PILBEAM, 2007).

O húmus é classificado, com base na sua solubilidade, em três frações: huminas, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos. As huminas são de maior peso molecular, e são praticamente insolúveis em álcali e em ácido. Os ácidos húmicos são solúveis em álcali e insolúveis em ácido. Ácidos fúlvicos são solúveis em álcali e em ácido. As frações húmicas e fúlvicas são as principais porções húmicas da matéria orgânica do solo, cerca de 90 %, e são as substâncias mais quimicamente reativas do húmus (WAKSMAN, 1936). O húmus possui características coloidais que são capazes de melhorar as propriedades do solo, tais como: a estrutura e a porosidade, a sorção da água e de nutrientes para as plantas, a proteção contra erosão, a capacidade de tamponamento, a proteção das plantas contra mudanças drástica no pH e é fundamental para a biodiversidade do solo (MONTANARELLA, 2007).

Segundo Montanarella (2007), as consequências da diminuição da MOS são significativas para a fertilidade do solo e para os ecossistemas, tais como: a liberação de gases de efeito estufa, os efeitos negativos sobre a biodiversidade, a redução na infiltração de água devido a mudanças na estrutura do solo, a redução na absorção de poluentes, o aumento da poluição da água e do ar, e o aumento da erosão devido os efeitos citados.

Segundo Franzluebbbers e Doraiswamy (2007), o armazenando de C no solo como matéria orgânica não é apenas uma estratégia viável para o sequestro de C, mas também essencial para a melhoria da qualidade do solo. Ela desempenha um papel vital na fertilidade do solo pelo fornecimento lento de nitrogênio e muitos outros elementos essenciais e moléculas para as plantas através de mineralização/imobilização, na ciclagem da água, na biodiversidade do solo, na desintoxicação ambiental pela retenção química e no ciclo biogeoquímico através do armazenamento e fornecimento de muitos elementos importantes.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Local dos experimentos

Foram instalados e conduzidos dois experimentos em casa de vegetação, pertencente ao Departamento de Ciências do Solo do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), localizada no Campus do Pici, Fortaleza, Ceará, Brasil. Os experimentos realizados com embaúba aconteceram no período de maio a setembro de 2012 e para o sabiá de agosto a dezembro de 2012. Segundo a classificação de Köppen, a referida região apresenta um clima do tipo Aw' e se localiza numa altitude de 20 m acima do nível do mar, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude de 3° 44' S e longitude 38° 33' W.

Durante a condução dos experimentos a temperatura média do ar da casa de vegetação variou entre 28 °C e 38 °C de mínima e de máxima, respectivamente.

4.2. Instalação e condução dos experimentos

O solo e o material orgânico utilizados para formarem os substratos foram coletados no Sítio Pinheiros, localizado no Distrito do Caldas, município de Barbalha, Ceará, nas seguintes coordenadas geográficas: latitude de 7°21'51"S e longitude de 39°20'22"W, em abril de 2012. O solo foi retirado da camada de 0 a 20 cm de profundidade em um Latossolo (EMBRAPA, 1999) com suas características descritas na Tabela 1. Posteriormente, o solo foi seco ao ar e passado em peneira de 2 mm de malha para compor os substratos. Uma subamostra foi retirada para avaliar as características microbiológicas (Tabela 2).

Tabela 1. Características físico-químicas do latossolo utilizado para compor os substratos.

Análise física do solo														
Classificação textural	Grau de flocculação	Densidade (g/cm ³)		Umidade (g/100g)			pH	CE						
	(g/100g)	Global	Partícula	0,033 MPa	1,5 MPa	Água útil	Água	(dS/m)						
Areia franca	50	1,46	2,62	6,99	4,35	2,64	5,8	0,20						
Complexo sortivo														
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Al ³⁺	S	T	V	PST	C	N	MO	P assimilável	C/N
Cmol _c .kg ⁻¹								(%)		g.kg ⁻¹			mg.kg ⁻¹	
2,40	2,10	69,00	116,00	1,65	0,15	120,50	122,15	98,65	36,10	8,22	0,78	14,17	18,00	11

Tabela 2. Características microbiológicas do solo usado para compor os substratos.

Densidade média de esporos de FMA por 100 g de solo	Respiração basal do solo acumulada em 10 dias (mgC-CO ₂ .kg ⁻¹ solo.h ⁻¹)	Carbono da biomassa microbiana (mgC.kg ⁻¹ solo)	Quociente metabólico do solo (mgC-CO ₂ .g ⁻¹ BMS-C.h ⁻¹)
230*	4,79	325,97	17,25

* Esporos de FMA com predominância do gênero *Scutellospora* sp, seguido de *Glomus* sp.

O material orgânico coletado no Sítio Pinheiros era formado por folhas e restos de podas apresentando incipiente estágio de decomposição. Esse material foi triturado em moinho antes de compor o substrato e uma subamostra foi retirada para análises químicas (Tabela 3). As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Solos e Água do Departamento de Ciências do Solo do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará.

Tabela 3. Características químicas do material orgânico utilizado nos substratos.

Resultados analíticos										
N	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
(g.kg ⁻¹)							(mg.kg ⁻¹)			
4,80	0,40	0,90	0,90	1,10	66,80	1,40	2.763,20	34,80	68,10	37,20

Nos experimentos foram utilizadas mudas de duas espécies de plantas arbóreas: embaúba (*Cecropia pachystachya* Trécul.) e sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.), adubadas com fosfato de rocha natural reativo de GAFSA, em 5 níveis de P (0, 75, 150, 300 e 600 mg.L⁻¹ substrato), e associadas, naturalmente, com FMA e bactérias fixadoras de nitrogênio no caso da leguminosa. Eles foram conduzidos, individualmente, por 120 dias após a emergência das plântulas, recebendo os mesmos tratamentos (Tabelas 4 e 5).

Tabela 4. Descrição dos tratamentos utilizados no experimento I com mudas de embaúba (E).

Tratamentos	Níveis de fósforo (mg.L ⁻¹ substrato)	Substratos		
E1	0	Solo natural	Solo natural diluído a 50 % (v/v)	Solo natural com 25 % de material orgânico (v/v)
E2	75	Solo natural	Solo natural diluído a 50 % (v/v)	Solo natural com 25 % de material orgânico (v/v)
E3	150	Solo natural	Solo natural diluído a 50 % (v/v)	Solo natural com 25 % de material orgânico (v/v)
E4	300	Solo natural	Solo natural diluído a 50 % (v/v)	Solo natural com 25 % de material orgânico (v/v)
E5	600	Solo natural	Solo natural diluído a 50 % (v/v)	Solo natural com 25 % de material orgânico (v/v)

Tabela 5. Descrição dos tratamentos utilizados no experimento II com mudas de sabiá (S).

Tratamentos	Níveis de fósforo (mg.L ⁻¹ substrato)	Substratos		
S1	0	Solo natural	Solo natural diluído a 50 % (v/v)	Solo natural com 25 % de material orgânico (v/v)
S2	75	Solo natural	Solo natural diluído a 50 % (v/v)	Solo natural com 25 % de material orgânico (v/v)
S3	150	Solo natural	Solo natural diluído a 50 % (v/v)	Solo natural com 25 % de material orgânico (v/v)
S4	300	Solo natural	Solo natural diluído a 50 % (v/v)	Solo natural com 25 % de material orgânico (v/v)
S5	600	Solo natural	Solo natural diluído a 50 % (v/v)	Solo natural com 25 % de material orgânico (v/v)

As doses de fósforo (P) usadas para a embaúba foram determinadas com base no trabalho de Carneiro *et al.* (2004) e para o sabiá nos trabalhos de Gonçalves *et al.* (2010), Caldas *et al.* (2009) e Costa Filho (2010), sendo todas adaptadas às condições do nosso projeto, de modo a testar diferentes doses de P no suprimento das demandas das plantas.

As sementes de embaúba (*Cecropia pachystachya* Trécul.) foram adquiridas da Empresa Arbocenter Comércio de Sementes Ltda., Morada do sol, Birigui, SP. As sementes de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) foram cedidas pelo Laboratório de Sementes do Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará. O fosfato de rocha natural reativo de GAFSA foi adquirido da Empresa Fertipar, com as características físico-químicas descritas na Tabela 6.

Tabela 6. Características químicas do fosfato de rocha natural reativo de GAFSA.

P ₂ O ₅ total	28,0 %
P ₂ O ₃ solúvel em ácido cítrico a 2 % rel 1:100	9,0 %
Ca	32,0 %

Os experimentos obedeceram a um delineamento estatístico inteiramente casualizado em fatorial (5 x 3), sendo 5 níveis de P (0, 75, 150, 300 e 600 mg.L⁻¹ substrato) em adubação com fosfato natural de rocha reativo interagindo com 3 subníveis (solo natural, solo natural diluído a 50 % e solo natural com 25 % de material orgânico), com 3 repetições, sendo cada repetição duplicada para minimizar o risco de perda de parcela. As parcelas constituíram-se de uma planta de embaúba e três plantas de sabiá por saco plástico preto com 2 litros de substrato.

Composição dos substratos:

- 1) Solo natural com a microbiota nativa, inclusive FMA e Rizóbio;
- 2) Solo natural diluído a 50 % (v/v) → Constituído de 50 % de solo natural com a microbiota nativa e 50 % de solo natural autoclavado a 121 °C, 1 atm, por 3 horas e, deixado em repouso por 15 dias;
- 3) Solo natural com 25 % (v/v) de material orgânico adicionado → Sendo o material orgânico constituído de folhas e restos de podas de árvores, em avançado estágio de decomposição, triturados.

Após a composição dos substratos foi retirada, de cada um, uma subamostra para análises químicas (EMBRAPA, 1997). Essas análises foram realizadas no Laboratório de Solos e Água do Departamento de Ciências do Solo do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, sendo apresentados os resultados nas Tabela 7.

Tabela 7. Características químicas dos substratos solo natural (SN), solo natural diluído (SND) e solo natural adicionado de 25 % de material orgânico (SNM).

Análises químicas dos substratos				
	SN	SND	SNM	
P	18,0	31,0	30,0	mg.kg ⁻¹
K ⁺	116,0	116,0	123,0	mg.kg ⁻¹
Ca ²⁺ + Mg ²⁺	4,5	5,0	8,4	cmol _c .kg ⁻¹
Ca ²⁺	2,4	2,7	6,4	cmol _c .kg ⁻¹
Mg ²⁺	2,1	2,3	2,0	cmol _c .kg ⁻¹
Al ³⁺	0,0	0,0	0,0	cmol _c .kg ⁻¹
Na ⁺	69,0	72,0	88,0	mg.kg ⁻¹
pH	5,2	5,4	5,6	água
MO	-----	-----	-----	g.kg ⁻¹
CE	-----	-----	-----	dS.m ⁻¹

A irrigação foi realizada diariamente com água do sistema de abastecimento urbano de Fortaleza, CAGECE, mantendo-se a umidade do solo próximo a capacidade de campo de 30 g água.100g⁻¹ solo.

Apenas o experimento com as plantas de sabiá foi instalado após 90 dias da composição dos substratos. Uma vez que, o experimento original era com mudas de fava d'anta (*Dimorphandra mollis* Benth), mas devido problemas com a germinação das sementes foi necessário mudar para mudas de sabiá. Então, foram aproveitados os substratos.

4.3. Tratamentos pré-germinativo das sementes

As sementes de sabiá apresentam dormência devido à impermeabilidade do tegumento à água que é um tipo de dormência bastante comum em sementes da família Fabaceae (MELO *et al.*, 1998). Portanto, foram submetidas à escarificação química com ácido sulfúrico (H₂SO₄) PA, por 6 minutos para superarem a dormência tegumentar de acordo com Passos, Tavares e Alves (2007). Em seguida, foram lavadas até remover todo ácido e semeadas em embalagens individuais, sendo cobertas com uma leve camada de substrato peneirado e irrigadas para manter a capacidade de campo. A emergência das plântulas ocorreu entre 3 e 5 dias e, a taxa de germinação foi superior a 80 %.

Com relação às sementes de embaúba, elas foram colocadas para germinar logo após a colheita em canteiros a pleno sol, pois é necessária apenas a presença da luz solar para superarem a dormência tegumentar (HOLTHUIJZEN; BOERBOOM, 1982; OLIVEIRA; LEMES, 2010). A emergência das plântulas de embaúba ocorreu entre 20 a 30 dias, tendo uma taxa de germinação superior a 60 %.

4.4. Parâmetros avaliados

4.4.1. Comprimento da parte aérea e o diâmetro do colo das plantas

Durante a coleta das plantas foram medidos o comprimento da parte aérea das plantas, considerando-se a distância compreendida entre o nível do substrato e a inserção do broto da haste principal da planta, e o diâmetro do colo, utilizando-se um paquímetro.

4.4.2. Massa da matéria seca da parte aérea das plantas

As plantas foram divididas em parte aérea, cortada rente ao substrato, e raízes. A parte aérea foi colocada em estufa com ventilação forçada, a temperatura de 65 °C, para secagem até massa constante. Em seguida, foram pesadas e moídas para a determinação dos teores de nutrientes, enquanto as raízes foram acondicionadas em álcool a 70 % até serem avaliadas quanto à colonização micorrízica.

4.4.3. Determinação dos teores dos elementos minerais N, P e K na parte aérea das plantas

Foram determinados os teores dos nutrientes P e K a partir de extratos gerados por digestão nitroperclórica da parte aérea das plantas. O N foi determinado nos extratos obtidos por digestão sulfúrica, de acordo com o método de Kjeldahl. A quantificação do elemento K foi feita por fotometria de chama e a do P por calorimetria pelo método do azul de molibdênio (MALAVOLTA *et al.*, 1997).

4.4.4. Número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares nos substratos

Realizaram-se extrações de esporos do solo para avaliação das populações nativas de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) quanto à diversidade e densidade. Essas extrações foram feitas por peneiramento úmido do solo (GERDEMANN; NICHOLSON, 1963) e, em seguida, avaliadas sob microscopia.

4.4.5. Percentagem de colonização micorrízica arbuscular nas raízes das plantas

A percentagem de colonização micorrízica arbuscular nas raízes foi avaliada segundo a técnica de Giovanetti e Mosse (1980), após o clareamento das raízes das plantas pelo aquecimento em solução de KOH a 10 %, segundo a metodologia descrita por Phillips e Hayman (1970) e coradas através do método descrito por Vierheilig *et al.* (1998).

4.4.6. Massa da matéria seca dos nódulos de rizóbios em plantas de sabiá

Avaliou-se nas raízes das plantas de sabiá a massa da matéria seca dos nódulos de rizóbios, após atingirem massa constante em estufa com ventilação forçada, a 65 °C.

4.4.7. Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo

Na determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS) utilizou-se a fumigação-extração proposta por Vance *et al.* (1987) com adaptações da metodologia realizadas por Silva, Azevedo e De-Polli (2007). Sendo a relação solo extrator 1:2,5 segundo Tate *et al.* (1998) e o fator de correção $kc = 0,33$ preconizado por Sparling e West (1988), realizando a fumigação com adição de clorofórmio (isento de etanol) diretamente na amostra, como descrito por Brookes *et al.* (1982) e Witt *et al.* (2000), mantendo-a em local escuro por 24 horas, procedendo-se a extração e quantificação do carbono microbiano segundo o método descrito por Walkley e Black (1934) e modificado por Tedesco *et al.* (1995), sem aquecimento externo em chapa.

4.4.8. Respiração basal do solo

A respiração basal do solo foi estimada por dez dias, após uma pré-incubação de oito dias, onde as amostras de solo foram mantidas a uma umidade de 60 % da capacidade de campo, seguindo o método desenvolvido por Walter e Haber (1957) e adaptado por Alef (1995).

4.4.9. Quociente metabólico do solo

Foi determinado o quociente metabólico do solo (qCO_2) utilizando-se a razão entre a respiração basal do solo (RBS) por unidade de carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS), objetivando-se estimar a eficiência metabólica microbiana do solo utilizado nos experimentos, em função dos tratamentos aplicados.

4.5. Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas através do programa computacional SISVAR-2000, de acordo com Ferreira (2000). A fim de se obter homogeneidade da variância, os dados percentuais de colonização foram transformados em $\arcsen \sqrt{\%}$ e o número de esporos de FMA foi transformado em \sqrt{X} . Os dados obtidos nos experimentos foram submetidos às análises de variância e regressão, seguidos das comparações das médias pelo teste Scott-Knott a 5 % de probabilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Crescimento das plantas de Embaúba (*Cecropia pachystachya* Trécul)

5.1.1. Crescimento em comprimento, diâmetro do colo e massa da matéria seca da parte aérea das plantas de embaúba

O crescimento em comprimento, o diâmetro do colo e a massa da matéria seca da parte aérea das plantas de embaúba não apresentaram diferença estatística significativa ($P \leq 0,05$) para nenhuma das fontes de variação estudadas (doses de P, substratos e interação entre doses de P e substratos) (Tabela 8). Provavelmente o período de condução do experimento não foi suficiente para a solubilização do fosfato de rocha natural, com isso o fósforo não foi disponibilizado para as plantas. Associado a isto, as plantas de embaúba apresentam a característica de rusticidade, que pode ter contribuído para que elas não sofressem efeito dos tratamentos aplicados. Fato que concorda com Santos (2000), ao relatar que estas plantas se estabelecem bem em locais degradados e com baixo aporte nutricional.

Essa falta de resposta das plantas de embaúba às doses de fósforo também foi verificado por Carneiro, Siqueira e Davide (2004). Pois, ao avaliarem o efeito da inoculação com FMA em diferentes doses de P_2O_5 na formação de mudas de embaúba, não observaram efeitos significativos das doses de P aplicado e nem interação entre os fatores (níveis de P_2O_5 x inoculação com FMA) na fase de formação das mudas, aos 120 dias. Bem como, não houve resposta da produção de matéria seca da parte aérea aos fatores estudados. Saggin Júnior (1997), em experimento conduzido com a embaúba, verificou que em condições de altos teores de P disponível não houve resposta à inoculação com FMA, apresentando diminuição na produção de matéria seca da parte aérea e no comprimento das mudas.

Tabela 8. Análises de variância e médias dos tratamentos para o comprimento da parte aérea (CPA) (cm); diâmetro do colo (DC) (mm) e massa seca da parte aérea (MSPA) ($g.planta^{-1}$).

Fonte de Variação	Testes F (significâncias)		
	CPA	DC	MSPA
FNR	1,59 ^{ns}	0,91 ^{ns}	0,52 ^{ns}
Sub	0,02 ^{ns}	0,11 ^{ns}	1,92 ^{ns}
Interação FNR*Sub	0,97 ^{ns}	0,86 ^{ns}	1,18 ^{ns}
CV (%)	16,07	16,69	27,82

ns – Não significativo pelo teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$).

CV – Coeficiente de variação.

FNR – Doses de P; Sub – Substratos.

5.1.2. Parâmetros microbiológicos

5.1.2.1. Número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares nos substratos cultivados com plantas de embaúba

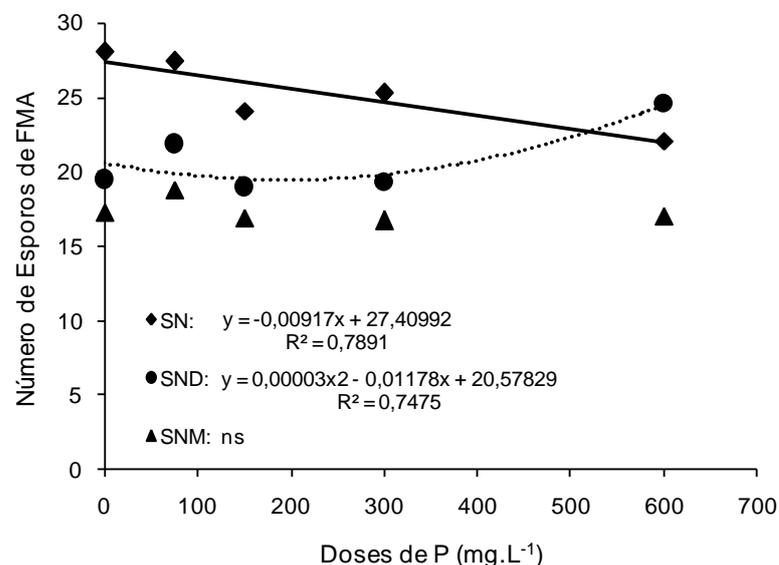
O número de esporos de espécies de FMA nos substratos foi estatisticamente significativo ($P \leq 0,05$) para os substratos testados. O substrato solo natural (SN) apresentou os maiores valores médios de esporulação (785 esporos por 100 g de solo na dose 0 mg de P), estando representado por uma equação linear inversa, seguido do substrato solo natural diluído (SND) representado por uma equação quadrática com ponto mínimo em 360 esporos por 100 g de solo na dose de 150 mg de P, e do substrato solo natural adicionado de 25 % de material orgânico (SNM) que não foi significativo ($P \leq 0,05$) (Tabela 9 e Figura 1).

Tabela 9. Comparação das médias de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (número de esporos por 100 g de solo), segundo a interação FNR x Sub.

Sub	FNR					
	0	75	150	300	600	
SN	785 a	750 a	579 a	638 a	485 a	
SND	379 b	478 b	360 b	372 b	605 a	
SNM	299 b	352 b	284 b	279 b	289 b	

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si segundo o teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$). FNR – Doses de P; Sub – Substratos; SN – Solo natural; SND – Solo natural diluído 50% e SNM – Solo natural adicionado 25 % de material orgânico.

Figura 1. Número de esporos de FMA em plantas de embaúba (valores transformados em \sqrt{x}).



A maior densidade de esporos de FMA nos substratos SN e SND refletem, possivelmente, condições mais estressantes para os fungos micorrízicos arbusculares. A esterilização de 50 % do substrato SND pode ter sido um dos fatores causadores de estresse. Concordando com Smith e Read (2008) ao dizerem que diversos fatores, tais como: os relacionados às propriedades climáticas, químicas e físicas do solo, bem como, os diretamente relacionados com os FMA, podem interferir na produção de esporos, bem como na colonização do sistema radicular por estes fungos. O fato de o substrato SNM ter apresentado o menor número de esporos pode ser atribuído a melhor condição de disponibilidade de nutrientes presentes nesse substrato oriundo do material orgânico.

No presente trabalho, as doses de P não causaram efeito significativo ($P \leq 0,05$) isoladamente no número de esporos de FMA nos substratos avaliados, mas houve efeito significativo ($P \leq 0,05$) na interação destas doses com os substratos SN e SND. Nessas interações foi observado que o aumento das doses de P causou uma tendência de redução no número de esporos de FMA (Figura 1). Resultados semelhantes foram encontrados por Machineski, Balota e Souza (2011) ao estudarem a resposta da mamoneira a fungos micorrízicos arbusculares e a níveis de fósforo, observaram que houve diminuição na esporulação com o aumento nos teores de P no solo. Todavia, o substrato SNM não apresentou interação estatística significante ($P \leq 0,05$) com as doses de P. Provavelmente, o maior aporte de nutrientes deste substrato não permitiu o efeito das doses de P nos FMA.

Aguiar *et al.* (2004), estudando a interação entre FMA e fósforo no desenvolvimento da algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) DC), também observaram que a esporulação não foi influenciada com a adição de P no solo natural.

No solo, previamente analisado, e em todos os substratos, na época da coleta, foi observada uma predominância de esporos de espécies de FMA do gênero *Scutellospora* sp seguida de *Glomus* sp.

5.1.2.2. Percentagem de colonização micorrízica arbuscular em plantas de embaúba

A colonização micorrízica arbuscular nas raízes das plantas de embaúba foi significativa ($P \leq 0,05$) para a interação entre os substratos e as doses de P. O substrato SND apresentou o maior percentual médio de colonização nas raízes das plantas de embaúba (57,52 %) na dose 0 mg de P, seguido do SN com 55,31 % na mesma dose de P (Tabela 10). Ambos se enquadraram num modelo de equação linear inversa, mostrando uma tendência de redução da colonização radicular micorrízica nas raízes das plantas com o aumento do suprimento de

P, enquanto que o substrato SNM está representado por uma equação quadrática com ponto de mínimo em 31,60 % na dose 300 mg de P (Figura 2). Essa oscilação da colonização micorrízica no substrato SNM, provavelmente, foi causada pelo incremento de nutrientes disponíveis no material orgânico. Esses dados são compatíveis com Moreira e Siqueira (2006) ao observarem que a colonização micorrízica é inversamente proporcional à disponibilidade de fósforo no solo. A micorrização tem maior efeito, geralmente, sob condições de fósforo abaixo do nível ótimo para o crescimento vegetal.

Segundo Habte e Manjunath (1991), a colonização micorrízica é influenciada, de acordo com o hospedeiro, por diversos fatores externos, destacando-se a disponibilidade de P, que tem efeitos sobre a colonização. Esses autores sugeriram que a concentração de 0,02 mg.L⁻¹ de P na solução do solo é próxima ao ótimo para a colonização e atividade das micorrizas. Tal fato foi confirmado por Siqueira e Saggin Junior (2001) ao estudarem a capacidade de resposta e a dependência aos FMA de algumas espécies arbóreas nativas do Brasil. Segundo Kiriachek *et al.*, (2009), os mecanismos que regulam a colonização micorrízica são pouco conhecidos, mas sabe-se que a formação e o funcionamento da simbiose dependem de um complexo processo de troca de sinais entre os simbioses, e que a concentração de fosfato na planta pode afetar a micorrização, uma vez que o P pode modificar o balanço de açúcares e de fitormônios, além da expressão de genes de defesa vegetal.

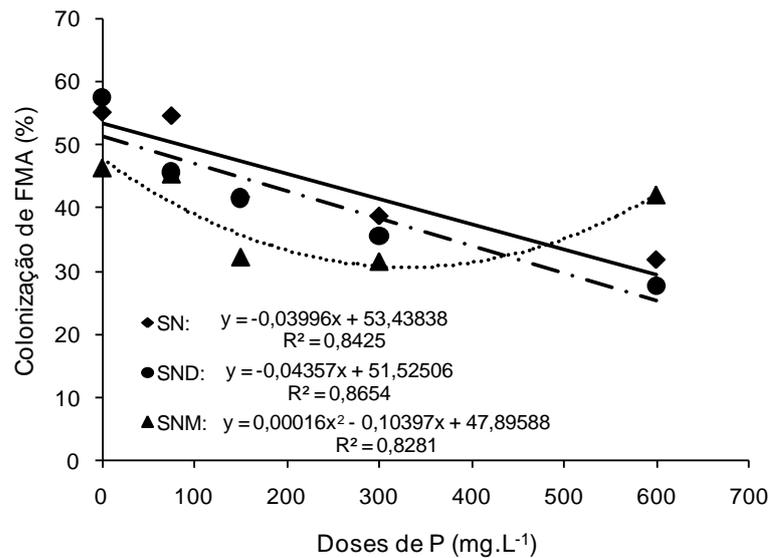
Carrenho *et al.* (2007), estudando o efeito de diferentes propriedades do solo na colonização micorrízica arbuscular em amendoim, sorgo e milho, observaram que o fósforo, o calcário e incrementos de matéria orgânica quando considerados isoladamente não afetaram significativamente o desenvolvimento micorrízico. Mas quando esses três fatores foram combinados, a inclusão de matéria orgânica foi prejudicial ao desenvolvimento da colonização dos FMA, sempre que o fósforo e/ou calcário foram incluídos nos tratamentos.

Tabela 10. Comparação das médias de colonização (%) de FMA em raízes de plantas de embaúba (Valores transformados em $\arcsen \sqrt{\%}$), segundo a interação FNR x Sub.

Sub	FNR					
	0	75	150	300	600	
SN	55,31 a	54,76 a	41,75 a	38,71 a	31,72 a	
SND	57,52 a	45,77 a	41,70 a	35,76 a	27,87 a	
SNM	46,35 a	45,37 a	32,29 a	31,60 a	42,09 b	

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si segundo o teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$). FNR – Doses de P; Sub – Substratos; SN – Solo natural; SND – Solo natural diluído 50% e SNM – Solo natural adicionado 25 % de material orgânico.

Figura 2. Percentagem de colonização de FMA em plantas de embaúba.



5.1.2.3. Respiração basal do solo cultivado com plantas de embaúba

A respiração basal do solo foi estatisticamente significativa ($P \leq 0,05$) para os substratos, onde o SN e o SNM apresentaram as maiores médias (3,31 e 3,62 $\text{mgC-CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \text{solo} \cdot \text{h}^{-1}$, respectivamente), provavelmente, por haver uma maior disponibilidade de nutrientes para a microbiota. Fato semelhante ao encontrado por Stieven *et al.* (2009), que pesquisando a biomassa microbiana em solo do pantanal matogrossense encontraram, no solo sob pastagem cultivada, uma taxa de respiração basal com os menores valores na produção de CO_2 em relação aos solos de mata e de pastagem nativas, fato que deve ter sido ocasionado pela redução na atividade metabólica dos microrganismos presentes nos solos. No substrato SND houve redução significativa ($P \leq 0,05$) em relação aos outros substratos, uma vez que 50% deste material foi autoclavado, causando a eliminação da microbiota e concomitantemente uma redução na atividade de sua biomassa microbiana (Tabela 11).

A respiração basal do solo (RBS) original foi superior (4,79 $\text{mgC-CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \text{solo} \cdot \text{h}^{-1}$) em relação a respiração basal dos substratos SN, SND e SNM que apresentaram nas maiores médias (3,31; 2,89 e 3,62 $\text{mgC-CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \text{solo} \cdot \text{h}^{-1}$, respectivamente), demonstrando que pode ter ocorrido maior estresse e, conseqüentemente, maior atividade da microbiota no solo original. Possivelmente, os tratamentos aplicados e a presença das plantas tenham contribuído para reduzir a RBS nos substratos. De acordo com Sala (2002), a respiração basal do solo é o indicador da qualidade do carbono orgânico disponível aos microrganismos heterotróficos. Quanto maior a quantidade de CO_2 liberada por unidade de peso maior a quantidade de substrato assimilável para o desenvolvimento da biomassa microbiana. Para Batista *et al.*

(2008b), a elevada taxa respiratória indica alta atividade biológica, podendo ser uma característica desejável, uma vez que pode significar transformação rápida de resíduos orgânicos em nutrientes disponíveis para as plantas. Entretanto, a qualidade do substrato pode afetar a respiração microbiana, limitando o fluxo de CO₂.

Tabela 11. Análises de variância e comparação das médias dos tratamentos para carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS) (mgC.kg⁻¹solo), respiração basal do solo (RBS) (mgC-CO₂.kg⁻¹solo.h⁻¹) e quociente metabólico do solo (qCO₂) (mgC-CO₂.g⁻¹BMS-C.h⁻¹).

Fonte de Variação	Testes F (significâncias)		
	CBMS	RBS	qCO ₂
FNR	1,98 ^{ns}	1,40 ^{ns}	1,89 ^{ns}
Sub	41,55 ^{**}	5,66 ^{**}	0,94 ^{ns}
Interação FNR*Sub	1,34 ^{ns}	0,95 ^{ns}	1,32 ^{ns}
CV (%)	9,6	19,01	21,04

Sub	Comparação das médias dos tratamentos		
SN	1306,37 a	3,31 a	2,58 a
SND	1001,53 b	2,89 b	2,86 a
SNM	1366,78 a	3,62 a	2,67 a

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si segundo o teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$).

CV – Coeficiente de variação; FNR – Doses de P; Sub – Substratos; SN – Solo natural; SND – Solo natural diluído 50% e SNM – Solo natural adicionado 25 % de material orgânico.

* e ** – Significativo ($P \leq 0,05$) e ($P \leq 0,01$), respectivamente; ns – Não significativo.

5.1.2.4. Carbono da biomassa microbiana do solo cultivado com embaúba

O carbono da biomassa microbiana do solo cultivado com plantas de embaúba apresentou diferença estatística significativa ($P \leq 0,05$) para os substratos, tendo o SN e o SNM apresentado as maiores médias (1306 e 1366 mgC.kg⁻¹solo, respectivamente) (Tabela 11). Resultados semelhantes aos encontrados por Stieven *et al.* (2009), que verificaram valores de carbono da biomassa microbiana superiores na mata e na pastagem nativas e bem reduzidos na pastagem cultivada, como também a quantidade de UFC de bactérias, fungos e actinomicetos foi maior na área de mata nativa do que nas demais áreas. Ou seja, uma maior presença de carbono microbiano em áreas com maior aporte de nutrientes. Enquanto que o substrato SND apresentou a menor média (1001 mgC.kg⁻¹solo) entre os substratos (Tabela 11). Este fato, possivelmente, tenha ocorrido pelo processo de esterilização de 50 % do substrato.

Entretanto, não apresentou diferença estatística significativa ($P \leq 0,05$) para as doses de P isoladamente e nem para a interação entre estas doses e os substratos. Possivelmente, a fonte de P, fosfato natural de rocha, tenha influenciado estes resultados. Pois, eles diferem dos encontrados por Bezerra *et al.* (2008), que pesquisando a atividade microbiana em solo cultivado com cana-de-açúcar submetido a doses de fósforo verificaram um aumento da biomassa microbiana do solo nas maiores doses de fósforo.

O carbono da biomassa é um bom indicador das alterações microbianas que ocorrem em um solo com diferentes manejos, inclusive incorporações de resíduos (ANDRADE *et al.*, 1995; BALOTA *et al.*, 1998). Para Wardle (1994), este parâmetro isolado pode ser indicativo de “estresse” ou perturbação do meio, refletindo na mudança de concentração da matéria orgânica, mas que correlacionado com a respiração basal permite obter o quociente metabólico. Quanto mais baixo o valor do quociente metabólico, mais próximo ao estado de equilíbrio estará o solo ou substrato, isto devido à maior eficiência da biomassa microbiana em incorporar carbono ao meio.

5.1.2.5. Quociente metabólico do solo cultivado com embaúba

O quociente metabólico do solo não apresentou diferença estatística significativa ($P \leq 0,05$) para nenhuma das fontes de variação estudadas (doses de P, substratos e interação entre doses de P e substratos) (Tabela 11). Inclusive com valores (SN = 2,58; SND = 2,86 e SNM = 2,67 $\text{mgC-CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{BMS-C} \cdot \text{h}^{-1}$) inferiores ao encontrado no solo original (17,25 $\text{mgC-CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{BMS-C} \cdot \text{h}^{-1}$).

A falta de resposta estatística ($P \leq 0,05$) do quociente metabólico do solo cultivado com embaúba pode ser um indicativo de que houve uma incorporação de carbono orgânico nos substratos de modo uniforme. Resultados compatíveis com os encontrados por Bezerra *et al.* (2008) ao pesquisarem a atividade microbiana em solo cultivado com cana-de-açúcar submetido a doses de fósforo, onde constataram que as doses de fósforo não interferiram estatisticamente no quociente metabólico do solo. Sparling (1992), explica que as alterações no quociente metabólico refletem o padrão de entrada da matéria orgânica no solo, a eficiência da conversão do C microbiano, as perdas do C do solo e a estabilização do C orgânico pela fração mineral do solo.

5.1.3. Teores de nutrientes N, P e K na parte aérea das plantas de embaúba

5.1.3.1. Teor de nitrogênio presente na parte aérea das plantas de embaúba

O teor de nitrogênio na parte aérea das plantas de embaúba apresentou diferença estatística ($P \leq 0,05$) entre os substratos. O substrato SND apresentou os maiores teores de N em relação aos substratos SN e SNM, com valores médios de 16,11; 15,31 e 14,61 (g.kg^{-1}), respectivamente (Tabela 12). Os maiores teores médios de N encontrados no SND, provavelmente, foram devidos ao nitrogênio disponibilizado no solo pela lise da microbiota de 50 % deste substrato que sofreu autoclavagem, favorecendo o seu aproveitamento pelas plantas.

Entretanto, o menor teor médio de N encontrado em SNM pode ser um indicativo de imobilização de nitrogênio por parte da microbiota do solo em função da relação C/N do material orgânico usado neste substrato. Fato encontrado por Vargas, Selbach e Sá (2005), ao verificarem a imobilização de nitrogênio em solo cultivado com milho em sucessão à aveia preta nos sistemas plantio direto e convencional, concluíram que a imobilização microbiana do nitrogênio foi maior no sistema de plantio direto, levando a uma menor quantidade de nitrogênio mineral no solo. Isto resultou em menor acúmulo de nitrogênio na parte aérea do milho ao final do seu ciclo neste sistema em comparação com o sistema convencional. A quantidade de nitrogênio imobilizado na biomassa microbiana permaneceu elevada até o final da cultura do milho, indicando que a remineralização contribuiu pouco para a disponibilidade de nitrogênio no solo.

Com relação às doses de P aplicadas aos tratamentos, não houve diferença estatística significativa ($P \leq 0,05$), e nem interação destas com os substratos. Resultados semelhantes foram encontrados por Carneiro *et al.* (1996) em estudo realizado com fungo micorrízico e superfosfato no crescimento de 31 espécies arbóreas tropicais. Esses autores verificaram que no tratamento com adição da inoculação de FMA conjuntamente com a adição de superfosfato simples (MP) houve efeito negativo nos teores foliares de N em onze espécies estudadas. No Jacarandá mimoso, por exemplo, a redução de 20,4 g.kg^{-1} no teor de N nas plantas do tratamento controle para 7,7 g.kg^{-1} no teor de N das plantas do tratamento MP e de 44,4 g.kg^{-1} para 14,0 g.kg^{-1} no angico amarelo, evidenciando um grande efeito de diluição deste nutriente no tecido vegetal. Também, Pouyu-Rojas, Siqueira e Santos (2006), avaliando individualmente 16 espécies de arbóreas tropicais em resposta a 11 tratamentos de inoculação, e com o solo contendo um teor de P ajustado para 0,02 mg.L^{-1} de P em solução (300 mg de

superfosfato triplo kg^{-1} de solo seco), verificaram que os teores de N na matéria seca da parte aérea da embaúba, açoita-cavalo e moreira não foram aumentados por nenhum tratamento.

Tabela 12. Análises de variância e comparação das médias do teor de nitrogênio (N) (g.kg^{-1}), teor de fósforo (P) (g.kg^{-1}) e teor de potássio (K) (g.kg^{-1}) na parte aérea das plantas de embaúba.

Fonte de Variação	Testes F (significâncias)		
	N	P	K
FNR	2,07 ^{ns}	1,91 ^{ns}	5,45 ^{**}
Sub	13,07 ^{**}	37,82 ^{**}	6,34 ^{**}
Interação FNR*Sub	2,20 ^{ns}	3,25 ^{**}	3,68 ^{**}
CV (%)	5,22	12	7,23
Análise do desdobramento de FNR dentro de cada nível de Substrato			
FNR/SN		1,73 ^{ns}	3,24 [*]
FNR/SND		0,96 ^{ns}	1,41 ^{ns}
FNR/SNM		5,72 ^{**}	8,16 ^{**}
Análise do desdobramento de Substrato dentro de cada nível de FNR			
Sub / 0		1,11 ^{ns}	11,25 ^{**}
Sub / 75		22,44 ^{**}	0,24 ^{ns}
Sub / 150		6,02 ^{**}	2,31 ^{ns}
Sub / 300		3,38 [*]	3,15 ^{ns}
Sub / 600		17,85 ^{**}	4,12 [*]
Sub	Comparação das médias dos tratamentos		
SN	15,31 b	2,47 b	29,41 b
SND	16,11 a	2,30 b	28,48 b
SNM	14,61 c	3,26 a	31,23 a

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si segundo o teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$).

CV – Coeficiente de variação; FNR – Doses de P; Sub – Substratos; SN – Solo natural; SND – Solo natural diluído 50% e SNM – Solo natural adicionado 25 % de material orgânico.

* e ** – Significativo ($P \leq 0,05$) e ($P \leq 0,01$), respectivamente; ns – Não significativo.

5.1.3.2. Teor de fósforo presente na parte aérea das plantas de embaúba

O teor de fósforo na parte aérea das plantas foi estatisticamente significativo ($P \leq 0,05$) para os substratos e para a interação destes com as doses de P (Tabela 12). Entretanto, apenas o substrato SNM apresentou significância ($P \leq 0,05$), mas sem um modelo de equação adequado para explicar o comportamento das fontes de variação avaliadas (Figura 3). Este substrato promoveu maior aporte de P ($3,85 \text{ g.kg}^{-1}$ na dose de 75mg de P) na parte aérea das

plantas (Tabela 13), provavelmente, o material orgânico tenha disponibilizado mais fósforo para as plantas. Uma vez que, os teores de P, inicialmente, nos substratos eram altos (SN = 18; SND = 31 e SNM = 30 mg.kg⁻¹). O fato de as doses de P não terem apresentado significância ($P \leq 0,05$) isoladamente, poder ter sido devido ao tempo de condução do experimento insuficiente para a solubilização do fosfato de rocha natural.

Pelos resultados analisados, os teores de P na parte aérea das plantas foram influenciados pelo substrato SNM e pelos FMA. Possivelmente, a maior atividade dos FMA na dose de 75 mg de P, resultando num maior aporte de P na parte aérea das plantas, foi oriundo de uma maior solubilização devido a presença do material orgânico do SNM, enquanto que as maiores doses de P, possivelmente, provocaram uma inibição da atividade dos FMA.

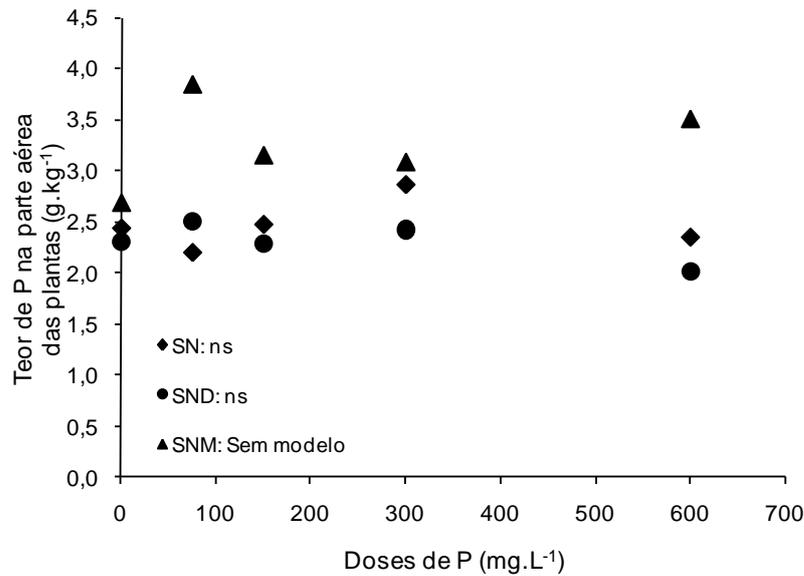
Também, é possível que as plantas de embaúba tenham baixa capacidade de responderem à adição de fósforo. Concordando com Carneiro *et al.* (1996), que ao adicionarem a inoculação de FMA ou a adição de superfosfato simples isoladamente, verificaram que não houve efeito significativo nos teores foliares de P em 31 espécies arbóreas tropicais pesquisadas, indicando a baixa capacidade destas plantas em responder à adição de fonte deste nutriente ao solo, e de se beneficiarem da micorrização em condições de fertilidade muito baixa.

Como também, Pouyu-Rojas, Siqueira e Santos (2006), estudando a compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com 16 espécies arbóreas tropicais, em um substrato contendo um teor de P ajustado para 0,02 mg.L⁻¹ de P em solução (300 mg de superfosfato triplo kg⁻¹ de solo seco), verificaram que, para os nutrientes na matéria seca da parte aérea das plantas, os FMA não aumentaram os teores de P nas plantas de embaúba, fato que se assemelha aos resultados desse trabalho.

Tabela 13. Comparação das médias dos teores de fósforo na parte aérea das plantas (g.kg⁻¹), segundo a interação FNR x Sub.

FNR \ Sub	0	75	150	300	600
SN	2,44 a	2,21 b	2,48 b	2,87 b	2,36 b
SND	2,30 a	2,50 b	2,29 b	2,42 b	2,02 b
SNM	2,69 a	3,85 a	3,15 a	3,09 a	3,51 a

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si segundo o teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$). FNR – Doses de P; Sub – Substratos; SN – Solo natural; SND – Solo natural diluído 50% e SNM – Solo natural adicionado 25 % de material orgânico.

Figura 3. Teores de fósforo na parte aérea das plantas de embaúba.

5.1.3.3. Teor de potássio presente na parte aérea das plantas de embaúba

O teor de potássio presente na parte aérea das plantas apresentou diferença estatística significativa ($P \leq 0,05$) para as doses de P aplicadas, para os substratos e para a interação entre as doses de P com os substratos (Tabela 12). O substrato SN apresentou um comportamento de equação linear direta, pois quanto maior a dose de P maior foi o teor de K na parte aérea das plantas (Figura 4). Entretanto, o substrato SNM foi o que proporcionou o melhor resultado médio com 34 g.kg⁻¹ (Tabela 14), porém houve uma grande variação dos valores em função das doses de P e a sua equação matemática não se enquadrou adequadamente a um modelo para explicar o comportamento das fontes de variação avaliadas (Figura 4). Este fato pode ser atribuído ao maior aporte de K contido no material orgânico utilizado no substrato SNM. O substrato SND não foi significativo ($P \leq 0,05$) para as doses de P.

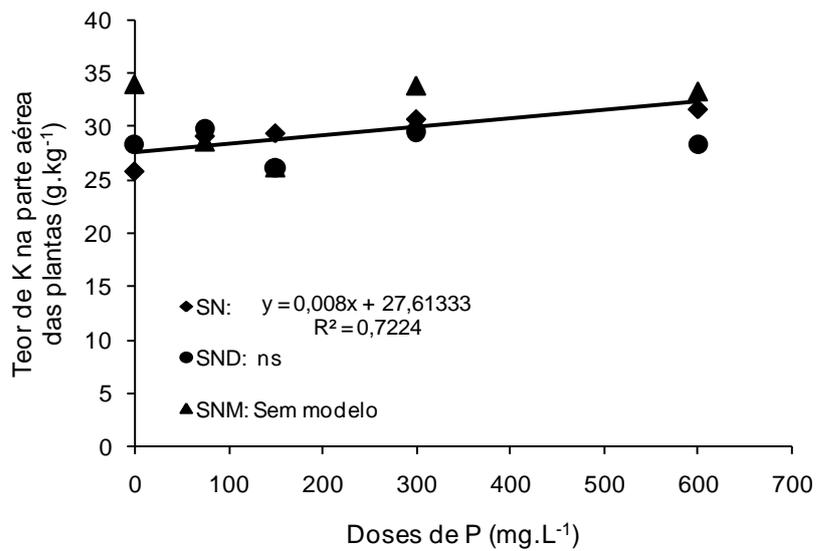
Neves *et al.* (2004), pesquisando o crescimento, produção de matéria seca e acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea de mudas de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) cultivadas em solo de várzea, em função de diferentes doses de fósforo, observaram um comportamento de resposta quadrático para a equação matemática que representa a análise estatística para o potássio. As plantas responderam à aplicação de fósforo com o incremento inicial no acúmulo do K na parte aérea, mas, a partir de doses maiores a resposta à adubação passou a decrescer. Outros autores como Carneiro *et al.* (1996), verificaram efeito pequeno e inconsistente nos teores foliares de K em 31 espécies arbóreas tropicais estudadas.

Tabela 14. Comparação das médias dos teores de potássio na parte aérea das plantas (g.kg^{-1}), segundo a interação FNR x Sub.

FNR \ Sub	0	75	150	300	600
SN	25,87 b	29,20 a	29,47 a	30,80 a	31,73 a
SND	28,40 b	29,87 a	26,13 a	29,60 a	28,40 b
SNM	34,00 a	28,67 a	26,27 a	33,87 a	33,33 a

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si segundo o teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$). FNR – Doses de P; Sub – Substratos; SN – Solo natural; SND – Solo natural diluído 50% e SNM – Solo natural adicionado 25 % de material orgânico.

Figura 4. Teores de potássio na parte aérea das plantas de embaúba.



5.2. Crescimento das plantas de Sabiá

5.2.1. Crescimento em comprimento, diâmetro do colo e massa da matéria seca da parte aérea das plantas de sabiá.

Os valores médios do comprimento das plantas de sabiá não apresentaram diferença estatística significativa ($P \leq 0,05$) para nenhuma das fontes de variação estudadas (doses de P, substratos e interação entre doses de P e substratos), ficando os valores médios entre 45,23 cm (mínimo) e 46,99 cm (máximo) (Tabela 15). Possivelmente, por se tratar de uma planta pouco exigente em fertilidade do solo, como descrevem Carvalho (2007) e Silva *et al.* (2008), os nutrientes presentes nos substratos foram suficientes para proporcionarem um crescimento uniforme das plantas. As doses de fósforo também não influenciaram este parâmetro por ser um elemento pouco exigido pelo sabiá, conforme descrevem Moura *et al.* (2006), que encontraram a seguinte ordem de concentrações de nutrientes na parte aérea das plantas de sabiá: $N > Ca > K > Mg > S > P$.

Esta falta de resposta do comprimento das plantas de sabiá a diferentes substratos também foi encontrada por Pinto *et al.* (2011), que estudando diferentes tipos de substratos no desenvolvimento inicial de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth, não encontraram efeito significativo para o comprimento da parte aérea das plantas. Bem como, Mergulhão *et al.* (2001) trabalhando com a influência da dupla inoculação rizóbio e FMA em plantas de sabiá sob solos de diferentes texturas, verificaram que para a altura das plantas de sabiá não houve diferenças estatísticas com relação aos tratamentos aplicados nos solos argilosos (estes solos receberam adição de sulfato de potássio e fosfato de cálcio, conforme indicação da análise química do solo).

Os valores médios do diâmetro do colo das plantas de sabiá foram estatisticamente significativos ($P \leq 0,05$) para os substratos (Tabela 15). O substrato SNM foi quem mais contribuiu para o desenvolvimento do diâmetro do colo das plantas (5,36 mm), seguido do SND com (5,01 mm). Provavelmente, o maior aporte nutricional do substrato SNM tenha proporcionado tal diferença, como também a autoclavagem de 50 % do substrato SND causou maior disponibilização de nutrientes para as plantas (Tabela 7). Resultados que concordam com Alencar *et al.* (2008) ao estudarem o crescimento inicial de plantas de sábia em latossolo degradado do cariri cearense sob efeito de fertilizantes orgânico e químico. Esses autores constataram que o fertilizante orgânico utilizado aumentou significativamente o comprimento e o diâmetro das mudas de sabiá.

Não houve efeito significativo ($P \leq 0,05$) para as doses de P aplicadas e nem para a interação destas com os substratos usados. Mais uma vez, corroborando com a informação anterior de Moura *et al.* (2006), de que o sabiá é pouco exigente para este nutriente.

Tabela 15. Análises de variância e comparação das médias dos tratamentos para o comprimento da parte aérea (CPA) (cm); diâmetro do colo (DC) (mm) e massa seca da parte aérea das plantas de sabiá (MSPA) (g.planta^{-1}).

Fonte de Variação	Testes F (significâncias)		
	CPA	DC	MSPA
FNR	1,69 ^{ns}	1,27 ^{ns}	2,13 ^{ns}
Sub	0,50 ^{ns}	6,89 ^{**}	8,28 ^{**}
Interação FNR*Sub	1,60 ^{ns}	0,45 ^{ns}	1,09 ^{ns}
CV (%)	10,62	6,1	8,93

Sub	Comparação das médias dos tratamentos		
SN	46,42 a	4,98 b	4,85 b
SND	45,23 a	5,01 b	5,24 a
SNM	46,99 a	5,36 a	5,54 a

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si segundo o teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$).

* e ** – Significativo ($P \leq 0,05$) e ($P \leq 0,01$), respectivamente; ns – Não significativo.

CV – Coeficiente de variação; FNR – Doses de P; Sub – Substratos; SN – Solo natural; SND – Solo natural diluído 50% e SNM – Solo natural adicionado 25 % de material orgânico.

A massa da matéria seca da parte aérea das plantas de sabiá apresentou efeito estatístico significativo ($P \leq 0,05$), apenas, para os substratos. Os substratos SNM e SND produziram os maiores valores médios de massa da matéria seca da parte aérea (5,54 e 5,24 g.planta^{-1} , respectivamente) (Tabela 15). Estes resultados são consequência dos maiores valores médios de diâmetro do colo das plantas cultivadas nestes substratos, como discutidos acima. Mostrando a importância do material orgânico para o desenvolvimento das mudas. Tal como verificaram Cunha *et al.* (2005), ao estudarem os efeitos de substratos e das dimensões dos recipientes na qualidade das mudas de *Tabebuia impetiginosa* (Mart. Ex D.C.) Standl. Esses autores encontraram resposta positiva do ipê-roxo à incorporação do composto orgânico, inclusive produzindo o maior valor de massa seca da parte aérea.

5.2.2. Parâmetros microbiológicos

5.2.2.1. Número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares nos substratos cultivados com plantas de sabiá

Pelos resultados obtidos relativos ao número de esporos de espécies de FMA nos substratos houve diferença estatística significativa ($P \leq 0,05$) para todas as fontes de variação estudadas (doses de P, substratos e interação entre as doses de P e os substratos) (Tabela 16). O substrato SN foi o que apresentou maior valor médio de esporos de FMA (873 esporos por 100 g de substrato na dose de 150 mg de P) (Tabela 17). Entretanto, as equações ajustadas para os substratos SN e SND não se enquadraram num modelo matemático adequado para explicar o comportamento das fontes de variação avaliadas, devido à grande oscilação dos valores médios (Figura 5). Estes resultados demonstram, possivelmente, maior nível de estresse por parte dos FMA devido menor disponibilidade de nutrientes nesses substratos. Diferentemente do substrato SNM que não foi significativo ($P \leq 0,05$) (Figura 5), apresentado o menor número de esporos de FMA. Este fato pode ser atribuído a melhor condição de disponibilidade de nutrientes oriundos do material orgânico (Tabela 7).

Verifica-se também, que as doses de P causaram efeito significativo ($P \leq 0,05$) na esporulação, que foi diretamente proporcional até a dose de 150 mg de P e inversamente proporcional para as maiores doses de P. Esses resultados são compatíveis com o trabalho de Carneiro *et al.* (2010) ao pesquisarem doses de fósforo e inoculação micorrízica no cultivo de estilosantes em solo sob condições naturais. Eles verificaram que a densidade de esporos micorrízicos sofreu efeito significativo apenas para doses de P, com um comportamento quadrático decrescente (ponto crítico mínimo). Esses autores estimaram a dose de P em 213 mg dm^{-3} para uma densidade de esporos mínima de 23,4 esporos.

Tabela 16. Análises de variância para o número de esporos de FMA (NE) por 100 g de solo, colonização radicular de FMA (CR) (%), massa seca dos nódulos de rizóbio (MSN) (g.planta⁻¹), carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS) (mgC.kg⁻¹solo), respiração basal do solo (RBS) (mgC-CO₂.kg⁻¹solo.h⁻¹), quociente metabólico do solo (qCO₂) (mgC-CO₂.g⁻¹BMS-C.h⁻¹).

Fonte de Variação	Testes F (significâncias)					
	NE ¹	CR ²	MSN	CBMS	RBS	qCO ₂
FNR	5,64**	81,76**	13,51**	2,58 ^{ns}	1,76 ^{ns}	3,22*
Sub	71,38**	27,56**	5,21*	54,17**	0,87 ^{ns}	2,09 ^{ns}
Interação FNR*Sub	2,52*	4,90**	0,95 ^{ns}	1,49 ^{ns}	2,21 ^{ns}	2,49*
CV (%)	9,54	8,81	17,27	9,93	37,1	33,95
Análise do desdobramento de FNR dentro de cada nível de Substrato						
FNR/SN	6,72**	26,95**				1,30 ^{ns}
FNR/SND	3,16*	14,15**				5,51**
FNR/SNM	0,80 ^{ns}	50,46**				1,39 ^{ns}
Análise do desdobramento de Substrato dentro de cada nível de FNR						
Sub / 0	15,51**	18,40**				0,17 ^{ns}
Sub / 75	18,41**	21,71**				2,06 ^{ns}
Sub / 150	29,09**	0,98 ^{ns}				1,14 ^{ns}
Sub / 300	5,21*	3,84**				4,68*
Sub / 600	13,25**	2,24 ^s				3,99*

CV – Coeficiente de variação; FNR – Doses de P; Sub – Substratos; SN – Solo natural; SND – Solo natural diluído 50% e SNM – Solo natural adicionado 25 % de material orgânico.

* e ** – Significativo ($P \leq 0,05$) e ($P \leq 0,01$), respectivamente; ns – Não significativo ($P > 0,05$).

¹ Valores transformados em \sqrt{X} .

² Valores transformados em $\arcsen \sqrt{\%}$.

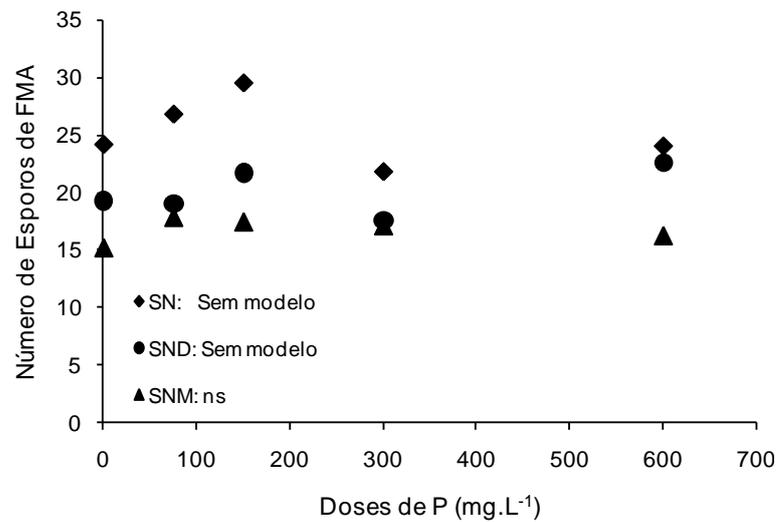
Tabela 17. Comparação das médias de esporos de FMA (número de esporos por 100 g de solo), segundo a interação FNR x Sub.

Sub	FNR	0	75	150	300	600
	SN		586 a	720 a	873 a	477 a
SND		374 b	364 b	472 b	312 b	510 a
SNM		232 c	316 b	303 c	292 b	264 b

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si segundo o teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$).

FNR – Doses de P; Sub – Substratos; SN – Solo natural; SND – Solo natural diluído 50% e SNM – Solo natural adicionado 25 % de material orgânico.

Figura 5. Número de esporos de espécies de FMA em plantas de sabiá (valores transformados em \sqrt{X}).



5.2.2.2. Percentagem de colonização micorrízica arbuscular em plantas de sabiá

A percentagem de colonização micorrízica nas raízes das plantas de sabiá foi estatisticamente significativa ($P \leq 0,05$) para as doses de P, para os substratos e para a interação dos substratos com as doses de P (Tabela 16). O substrato SNM apresentou o maior percentual médio de colonização nas raízes das plantas (61,02 %) na dose 75 mg de P, seguido do substrato SN com 52,17 % na dose 0 mg de P (Tabela 18). Ambos estão representados por equações quadráticas com pontos de mínimo em 26,76 % na dose 600 mg de P, para o SNM, e 28,80 % na dose 600 mg de P, para o SN. O substrato SND apresentou os menores percentuais médios de colonização, sendo representado por uma equação linear inversa, (Figura 6).

Percebe-se que a esterilização de 50 % do substrato SND causou diminuição na simbiose, provavelmente, por haver menos estruturas de FMA viáveis neste substrato. Segundo Kiriachek *et al.* (2009), os mecanismos que regulam a colonização micorrízica são pouco conhecidos, mas sabe-se que a formação e o funcionamento da simbiose dependem de um complexo processo de troca de sinais entre os simbiontes.

Foi observado que em todos os tratamentos houve diminuição da colonização micorrízica em resposta ao aumento da dose de P. Este resultado é compatível com Costa *et al.* (2005), que estudando a inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (*Gigaspora albida* e *Glomus etunicatum*) e adubação fosfatada em mudas de mangabeira, observaram uma maior dependência micorrízica em solo desinfestado sob baixos teores de fósforo em relação ao solo com maiores níveis de P, que reduziram sua colonização micorrízica. Segundo

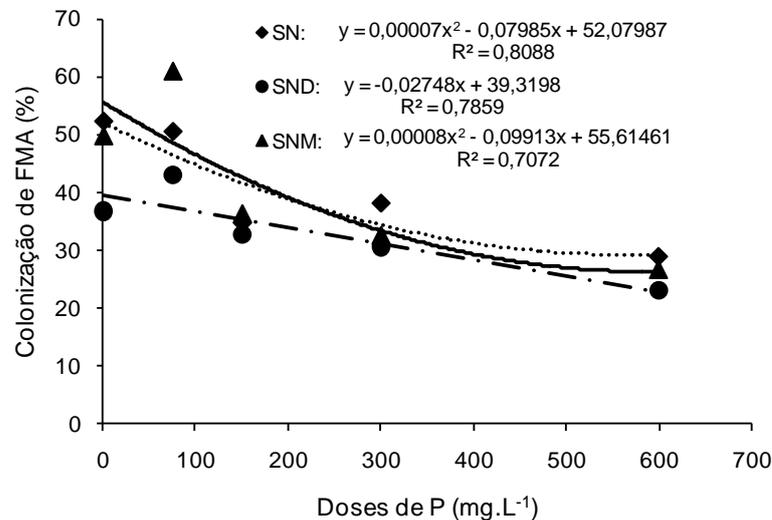
Nogueira e Cardoso (2006), em geral, algumas condições de restrição do crescimento vegetal, como a baixa disponibilidade de P no solo e, principalmente na planta, favorecem o desenvolvimento da simbiose. Kiriachek *et al.* (2009) afirmam que a concentração de fosfato na planta pode afetar a micorrização, uma vez que o P pode modificar o balanço de açúcares e de fitormônios da planta, além da expressão de genes de defesa vegetal.

Tabela 18. Comparação das médias do percentual médio de colonização de FMA em raízes das plantas de sabiá (Valores transformados em $\arcsen \sqrt{\%}$), segundo a interação FNR x Sub.

Sub	FNR				
	0	75	150	300	600
SN	52,17 a	50,40 b	34,59 a	38,01 a	28,80 a
SND	36,62 b	42,89 c	32,56 a	30,58 b	23,04 a
SNM	49,83 a	61,02 a	36,42 a	32,69 b	26,76 a

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si segundo o teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$). FNR – Doses de P; Sub – Substratos; SN – Solo natural; SND – Solo natural diluído 50% e SNM – Solo natural adicionado 25 % de material orgânico.

Figura 6. Percentagem de colonização de espécies de FMA em plantas de sabiá.



5.2.2.3. Massa da matéria seca dos nódulos de rizóbios em plantas de sabiá

A massa da matéria seca dos nódulos de rizóbios diferiu estatisticamente ($P \leq 0,05$) tanto para as doses de P como para os substratos utilizados (Tabela 16), com valores médios entre 0,16 e 0,20 g (Tabela 19). O substrato SND foi o que mais promoveu a produção de massa de matéria seca dos nódulos de rizóbio, com valores médios de 0,2 g por planta (Tabela 19). Provavelmente, a degradação promovida na microbiota de 50 % do substrato

SND, pela autoclavagem, tenha estimulado os rizóbios nativos presentes no restante do substrato a promoverem maior massa de nódulos, devido a menor competição entre os microrganismos deste substrato com os rizóbios.

Observa-se, também, que as doses de P favoreceram a produção de massa dos nódulos de rizóbios, com destaque para as doses de 150 e 600 mg de P. Em ambas, os valores médios da massa seca dos nódulos de rizóbios foi de 0,2 g por planta. Resultados que concordam Bressan *et al.* (2001) ao estudarem a interação entre os fungos micorrízicos e fósforo, no crescimento, nos teores de nutrientes e na produção do sorgo e soja consorciados. Esses autores verificaram que a adição de P ao solo aumentou o peso dos nódulos secos, independentemente da inoculação do fungo micorrízico, tendo os menores valores ocorrido nas menores doses de P. Em relação ao tratamento sem P, a adição de 200 mg de P/kg de solo proporcionou um aumento no peso dos nódulos seco em 600, 574, 475 e 441 mg/planta, respectivamente, em relação a inoculação com *Glomus etunicatum*, *Gigaspora margarita*, *Glomus clarum* e sem inoculação.

Tabela 19. Comparação das médias para a massa seca dos nódulos de rizóbio (MSN) (g.planta^{-1}), respiração basal do solo (RBS) ($\text{mgC-CO}_2.\text{kg}^{-1}\text{solo.h}^{-1}$) e carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS) ($\text{mgC.kg}^{-1}\text{solo}$).

Sub	MSN	RBS	CBMS
SN	0,16 b	1,80 a	1240,03 b
SND	0,20 a	1,58 a	1211,87 b
SNM	0,18 b	1,88 a	1675,04 a

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si segundo o teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$).

Sub – Substratos; SN – Solo natural; SND – Solo natural diluído 50% e SNM – Solo natural adicionado 25 % de material orgânico.

5.2.2.4. Respiração basal do solo cultivado com plantas de sabiá

A respiração basal do solo cultivado com plantas de sabiá não diferiu estatisticamente ($P \leq 0,05$) para nenhuma fonte de variação estudada (doses de P, substratos e interação entre as doses de P e os substratos) (Tabela 16). A respiração basal do solo original foi superior ($4,79 \text{ mgC-CO}_2.\text{kg}^{-1}\text{solo.h}^{-1}$) em relação a respiração basal dos substratos SN, SND e SNM que apresentaram nas maiores médias (1,80; 1,58 e 1,88 $\text{mgC-CO}_2.\text{kg}^{-1}\text{solo.h}^{-1}$, respectivamente), demonstrando maior estresse e, conseqüentemente, maior atividade da

microbiota no solo original. Possivelmente, os tratamentos aplicados e a presença das plantas de sabiá tenham contribuído para reduzir a respiração basal do solo, bem como torná-la com valores bem próximos ao ponto de não diferirem estatisticamente.

Fato semelhante foi observado por Barroso *et al.* (2012), que avaliando a respiração microbiana basal de um solo cultivado com milho sob adubação de origem mineral e orgânica, sendo a adubação química (225 kg de NPK) e a adubação orgânica (787,5 kg de torta de mamona, 225 kg de MB4 e 2250 kg de composto de usina), verificaram, ao comparar as taxas de respiração basal entre os sistemas avaliados (adubação mineral e adubação orgânica), que as médias não diferiram estatisticamente ($P \leq 0,05$) pelo teste de Tukey. Bem como, Alcântara *et al.* (2007) estudando a biomassa microbiana do solo em sistemas de cultivos orgânicos com abacaxi, feijão, consórcio milho/feijão, araruta e mata nativa como controle, não encontraram diferença estatística para a respiração basal do solo nos sistemas de cultivo estudados.

5.2.2.5. Carbono da biomassa microbiana do solo cultivado com plantas de sabiá

O carbono da biomassa microbiana dos substratos foi estatisticamente significativo ($P \leq 0,05$) somente para os substratos (Tabela 16). O substrato SNM produziu maior média de carbono ($1675 \text{ mgC.kg}^{-1}\text{solo}$) (Tabela 19), o que é justificável em função do aporte de carbono presente no material orgânico deste substrato, favorecendo o crescimento da população microbiana do solo.

Estes resultados são compatíveis com Angelini *et al.* (2011), que estudando a atividade microbiana do solo sob agrofloresta e pastagem em área de manejo agroecológico, observaram diferenças estatísticas entre os valores do CBMS nas áreas estudadas, tendo sido superior na área sob pastagem. Os valores de CBMS alcançados se devem provavelmente à alta densidade de raízes (principalmente raízes finas), que por meio de rizo-deposição acarretam em maior efeito rizosférico, aumentando a disponibilidade de substratos orgânicos para a comunidade microbiana do solo, resultando em C disponível para a população microbiana e aumento da sua biomassa.

5.2.2.6. Quociente metabólico do solo cultivado com plantas de sabiá

O quociente metabólico do solo apresentou diferença estatística significativa ($P \leq 0,05$) para as doses de P e para a interação destas doses com os substratos (Tabela 16). Apenas o substrato SND foi significativo ($P \leq 0,05$) para as doses de P, porém, não se enquadrou num modelo matemático adequado para explicar o comportamento das fontes de variação

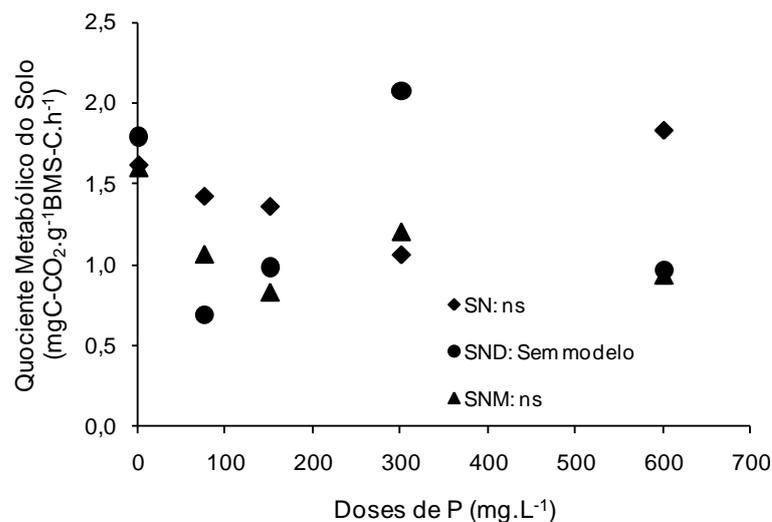
avaliadas, devido à elevada oscilação nos valores (Figura 7). Ele produziu o maior quociente metabólico médio (2,08 mgC-CO₂.g⁻¹BMS-C.h⁻¹) na dose de 300 mg de P, (Tabela 20). Provavelmente, a esterilização de 50 % da biota deste substrato causou desequilíbrio na sua população microbiana, fazendo com que houvesse maior estresse e menor incorporação de carbono ao meio. Os substratos SN e SNM não apresentaram valores significativos ($P \leq 0,05$) para as doses de P, demonstrando maior equilíbrio e favorecendo uma maior incorporação do carbono à biomassa microbiana do solo. Pois, quanto mais baixo o valor do quociente metabólico, mais próximo ao estado de equilíbrio estará o solo ou substrato, isto devido à maior eficiência da biomassa microbiana em incorporar carbono ao meio (WARDLE, 1994).

Tabela 20. Comparação das médias do quociente metabólico do solo cultivado com plantas de sabiá (mgC-CO₂.g⁻¹BMS-C.h⁻¹), segundo a interação FNR x Sub.

FNR \ Sub	0	75	150	300	600
SN	1,62 a	1,42 a	1,36 a	1,06 b	1,83 a
SND	1,79 a	0,69 a	0,99 a	2,08 a	0,97 b
SNM	1,60 a	1,07 a	0,83 a	1,21 a	0,94 b

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si segundo o teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$). FNR – Doses de P; Sub – Substratos; SN – Solo natural; SND – Solo natural diluído 50% e SNM – Solo natural adicionado 25 % de material orgânico.

Figura 7. Quociente metabólico do solo cultivado com plantas de sabiá.



5.2.3. Teores de nutrientes N, P e K na parte aérea das plantas de sabiá

5.2.3.1. Teor de nitrogênio presente na parte aérea das plantas de sabiá

O teor de nitrogênio na parte aérea das plantas de sabiá foi estatisticamente significativa ($P \leq 0,05$) para as doses de P, para os substratos utilizados e para a interação entre as doses de P e os substratos (Tabela 21). O substrato SN enquadrou-se numa equação matemática quadrática (Figura 8) com ponto de máxima na dose de 300 mg de P, com um valor médio de $22,46 \text{ g.kg}^{-1}$ (Tabela 22). Contudo, foi o substrato SND que proporcionou maior acúmulo médio de N na parte aérea das plantas ($26,29 \text{ g.kg}^{-1}$ na dose 75 mg de P) (Tabela 22), mas devido grande variação dos seus valores médios, a sua equação matemática não se enquadrou num modelo adequado para explicar o comportamento das fontes de variação avaliadas (Figura 8).

Provavelmente, esse maior aporte de N no substrato SND tenha ocorrido devido à lise microbiana de 50 % deste substrato, submetido à autoclavagem, disponibilizando o nitrogênio mineralizado para as plantas. Outro fator que pode ter favorecido esse acúmulo de N foi a atividade dos rizóbios nativos presentes nos 50 % do substrato que não sofreram esterilização, pois estes produziram maior média de massa da matéria seca dos nódulos ($0,2 \text{ g.planta}^{-1}$), provavelmente por haver uma menor competição da microbiota. Observa-se também, certo sinergismo entre os FMA, os rizóbios e as plantas de sabiá, pois ao aumentar as doses de P houve redução na colonização micorrízica, bem como no teor de N na parte aérea das plantas. Desta forma, Pouyu-Rojas, Siqueira e Santos (2006), estudando a compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com espécies arbóreas tropicais encontraram efeito significativo ($P \leq 0,05$) dos tratamentos de inoculação em relação ao controle para o teor de nitrogênio na matéria seca da parte aérea das plantas de sabiá.

O substrato SNM não foi significativo estatisticamente ($P \leq 0,05$) (Figura 8), isso pode ser um indicativo de que houve imobilização de nitrogênio por parte da microbiota do solo em função da relação C/N do material orgânico usado neste substrato. Pois, vários autores têm afirmado a necessidade de doses mais elevadas de nitrogênio para gramíneas, como o milho em sucessão à aveia preta, devido à alta relação C/N. Quando sucede seu manejo, decorre alta imobilização de nitrogênio no solo para sua decomposição, com consequente redução da disponibilidade de N (Amado *et al.*, 2000; Aita *et al.*, 2001).

Tabela 21. Análises de variância e comparação das médias do teor de nitrogênio (N) (g.kg^{-1}), teor de fósforo (P) (g.kg^{-1}) e teor de potássio (K) (g.kg^{-1}) na parte aérea das plantas de sabiá.

Fonte de Variação	Testes F (significâncias)		
	N	P	K
FNR	29,48**	109,74**	51,34**
Sub	60,24**	13,64**	23,09**
Interação FNR*Sub	21,38**	2,56*	2,18 ^{ns}
CV (%)	3,63	6,68	4,73

Análise do desdobramento de FNR dentro de cada nível de Substrato

FNR/SN	30,19**	45,57**
FNR/SND	40,25**	39,82**
FNR/SNM	1,80 ^{ns}	29,48**

Análise do desdobramento de Substrato dentro de cada nível de FNR

Sub / 0	19,73**	5,67**
Sub / 75	76,31**	6,50**
Sub / 150	21,26**	8,78**
Sub / 300	24,55**	2,11 ^{ns}
Sub / 600	3,93*	0,84 ^{ns}

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si segundo o teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$).

CV – Coeficiente de variação; FNR – Doses de P; Sub – Substratos; SN – Solo natural; SND – Solo natural diluído 50% e SNM – Solo natural adicionado 25 % de material orgânico.

* e ** – Significativo ($P \leq 0,05$) e ($P \leq 0,01$), respectivamente; ns – Não significativo.

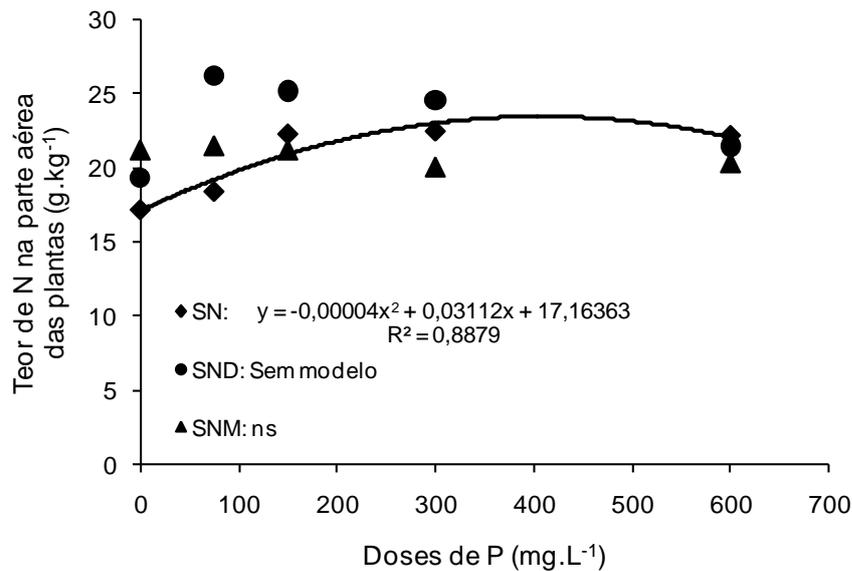
Tabela 22. Comparação das médias dos teores de nitrogênio na parte aérea das plantas (g.kg^{-1}), segundo a interação FNR x Sub.

Sub	FNR	0	75	150	300	600
	SN		17,23 c	18,44 c	22,27 b	22,46 b
SND		19,38 b	26,29 a	25,26 a	24,61 a	21,52 a
SNM		21,24 a	21,52 b	21,24 b	20,12 c	20,40 b

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si segundo o teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$).

FNR – Doses de P; Sub – Substratos; SN – Solo natural; SND – Solo natural diluído 50% e SNM – Solo natural adicionado 25 % de material orgânico.

Figura 8. Teor de nitrogênio na parte aérea das plantas de sabiá.



5.2.3.2. Teor de fósforo presente na parte aérea das plantas de sabiá

O teor de fósforo na parte aérea das plantas foi estatisticamente significativo ($P \leq 0,05$) para as doses de P, para os substratos e para a interação das doses de P com os substratos (Tabela 21). Todos os substratos diferiram ($P \leq 0,05$) e estão representados por equações quadráticas com ponto de máximo (Figura 9). O substrato SN apresentou ponto máximo no teor de fósforo na parte aérea das plantas ($1,50 \text{ g.kg}^{-1}$) na dose de 600 mg de P, enquanto que o SND atingiu o ponto máximo ($1,56 \text{ g.kg}^{-1}$) na dose de 300 mg de P e o SNM chegou ao ponto máximo ($1,59 \text{ g.kg}^{-1}$) na dose 600 mg de P (Tabela 23).

O fato do teor de P nas plantas cultivadas no substrato SND ter apresentado um ponto de máximo numa dose de P menor que 600 mg de P, provavelmente, deveu-se ao processo de autoclavagem de 50 % deste substrato, que solubilizou mais fósforo (Tabela 7), aumentando a sua disponibilidade para as plantas. Bem como, o material orgânico presente no SNM tenha proporcionado um discreto favorecimento no aporte de P para as plantas neste substrato (Tabela 7). Contudo, os teores de P, inicialmente, nos substratos eram altos (SN = 18; SND = 31 e SNM = 30 mg.kg^{-1}), como também, os substratos SN, SND e SNM foram compostos 90 dias antes do plantio das sementes de sabiá, tempo esse, que pode ter favorecido a solubilização do fosfato de rocha natural. Pois, quanto maior a dose de P no substrato, maior foi o aporte deste nutriente na parte aérea das plantas (Tabela 23).

Estes resultados concordam com Gonçalves *et al.* (2010), que pesquisando o crescimento de mudas de sansão-do-campo (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) sob diferentes doses de macronutrientes verificaram que a aplicação de fósforo foi o que mais promoveu

efeitos significativos no crescimento das mudas, sendo recomendadas doses de 312 a 600 mg dm⁻³ de solo desse nutriente. Segundo Costa (1998), quando se eleva a dose de P aplicada ao solo, ocorre aumento na difusão desse nutriente, devido à saturação progressiva da superfície de adsorção, o que resulta no aumento da concentração de P na solução do solo e em consequente aumento na absorção do nutriente.

Pelos resultados analisados, os teores de P na parte aérea das plantas foram discretamente influenciados pelos substratos SNM e SND, que disponibilizaram mais P para as plantas, e pelos FMA. Na dose 0 mg de P, o substrato SNM apresentou média de colonização micorrízica nas raízes das plantas de sabiá de 49,83 %, sendo estatisticamente ($P \leq 0,05$) igual ao substrato SN (52,17 %). Porém, o substrato SNM apresentou o maior teor de P na parte aérea das plantas (0,88 g.kg⁻¹), sendo estatisticamente ($P \leq 0,05$) igual ao substrato SND (0,81 g.kg⁻¹), que apresentou a menor média de colonização micorrízica (36,62 %) na dose 0 mg de P. Observa-se também que, mesmo com a menor densidade de esporos de FMA, na dose 0 mg de P, o substrato SNM favoreceu o aporte de P para as plantas.

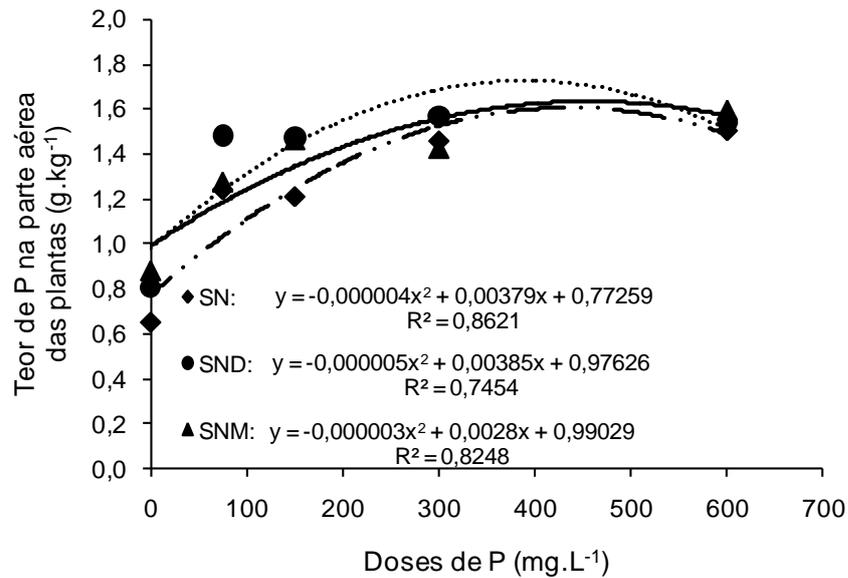
Sieverding (1991) atentou para o fato de que o número de esporos pode ter ou não correlação com o total de propágulos infectivos no solo. Sua taxa pode cair próximo a zero em culturas a pleno pico de vegetação e com alta colonização de raiz, dependendo do fungo micorrízico, do hospedeiro, das características do solo e das condições climáticas. Este autor relata, ainda, que a taxa de colonização da raiz é uma estimativa da biomassa fúngica interna da raiz. E raramente tem sido encontrada correlação entre a taxa de colonização e propágulos infectivos.

Tabela 23. Comparação das médias dos teores de fósforo na parte aérea das plantas (g.kg⁻¹), segundo a interação FNR x Sub.

Sub	FNR	0	75	150	300	600
	SN		0,65 b	1,24 b	1,21 b	1,46 a
SND		0,81 a	1,48 a	1,47 a	1,56 a	1,54 a
SNM		0,88 a	1,28 b	1,46 a	1,43 a	1,59 a

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si segundo o teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$). FNR – Doses de P; Sub – Substratos; SN – Solo natural; SND – Solo natural diluído 50% e SNM – Solo natural adicionado 25 % de material orgânico.

Figura 9. Teor de fósforo na parte aérea das plantas de sabiá.



5.2.3.3. Teor de potássio presente na parte aérea das plantas de sabiá

O teor de potássio presente na parte aérea das plantas apresentou diferença estatística significativa ($P \leq 0,05$) para as doses de P e para os substratos, isoladamente (Tabela 21). Dentre os substratos, o SNM proporcionou o maior teor de K (13,76 g.kg⁻¹) na parte aérea das plantas e, dentre as doses de P, a dose de 600 mg de P apresentou teor de K (15,16 g.kg⁻¹) na parte aérea das plantas de sabiá.

Ao contrário do que foi encontrado no presente trabalho, Gonçalves *et al.* (2010), estudando o crescimento de mudas de sansão-do-campo (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) sob diferentes doses de macronutrientes não observaram efeito significativo do potássio entre os tratamentos. Segundo estes autores, a ausência de resposta indica que as necessidades da planta por esse nutriente, nessa fase de desenvolvimento, podem ter sido supridas pelas quantidades de potássio presentes no solo antes da aplicação dos tratamentos (Latosolo vermelho-amarelo distrófico com 49 mg dm⁻³ de K, Argissolo vermelho-amarelo com 14 mg dm⁻³ de K e Latossolo vermelho-amarelo álico com 32 mg dm⁻³ de K) ou, provavelmente, que a espécie possui baixa exigência nutricional em potássio.

Moura *et al.* (2006), estudando a distribuição de biomassa e nutrientes na parte aérea de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth, com dois povoamentos de oito e 11 anos de idade, em solo e topografia similares, verificaram que a ordem de concentrações de nutrientes analisados nos dois povoamentos, para todos os componentes da parte aérea, de modo geral, obedeceu a seguinte sequência: N > Ca > K > Mg > S > P.

5.3. Considerações finais

O crescimento em comprimento, o diâmetro do colo e a produção de massa da matéria seca da parte aérea das plantas de embaúba não sofreram efeito dos substratos e nem das doses de P.

Os substratos SN e SND proporcionaram a maior esporulação nas doses 0 e 600 mgP.L⁻¹, respectivamente, e maior percentual de colonização de FMA nas raízes das plantas de embaúba, que foi inversamente proporcional as doses de P.

O substrato SND promoveu menor respiração basal do solo e menor carbono da biomassa microbiana do solo cultivado com plantas de embaúba, que não sofreram influência das doses de P.

O substrato SND proporcionou maior aporte nos teores de nitrogênio na parte aérea das plantas de embaúba, não sendo influenciado pelas doses de P.

O substrato SNM proporcionou maior aporte nos teores de fósforo e de potássio na parte aérea das plantas de embaúba.

Os fungos micorrízicos arbusculares favoreceram o aporte de P na parte aérea das plantas de embaúba. Entretanto, essa atividade foi reduzida nas maiores doses de P.

O crescimento em comprimento das plantas de sabiá não sofreu efeito dos substratos, porém o diâmetro do colo e a massa da matéria seca da parte aérea das plantas de sabiá apresentaram melhores resultados no substrato SNM. Mas, não foram influenciadas pelas doses de P.

O substrato SNM apresentou o menor número de esporos, maior colonização micorrízica arbuscular na dose de 75 mg de P, com redução nas maiores doses, e maior carbono da biomassa microbiana do solo cultivado com sabiá, sem influência das doses de P.

O substrato SND e o rizóbio nativo proporcionaram maior aporte nos teores de nitrogênio na parte aérea e maior massa nodular nas plantas de sabiá. Tendo as doses de P influenciado estes parâmetros.

O substrato SNM proporcionou maior aporte nos teores de fósforo e de potássio na parte aérea das plantas de sabiá. Tendo a dose 600 mg de P favorecido os maiores valores desses nutrientes.

Os FMA proporcionaram um discreto incremento no teor de P na parte aérea das plantas de sabiá.

6. CONCLUSÕES

Cultivar mudas de Embaúba em substrato composto por solo natural adicionado de 25 % de material orgânico e 75 mg de P em fosfato de rocha natural reativo.

Cultivar mudas de Sabiá em substrato composto por solo natural adicionado de 25 % de material orgânico e 150 mg de P em fosfato de rocha natural reativo.

REFERÊNCIAS

- ABD-ALLA, M. H. **Use of organic phosphorus by *Rhizobium leguminosarum* biovar *viceae* phosphatases.** *Biology and Fertility of Soils*, v. 18, p. 216-218, 1994.
- AGUIAR, R. L. F. de *et al.* **Interação entre fungos micorrízicos arbusculares e fósforo no desenvolvimento da algaroba [*Prosopis juliflora* (Sw) DC].** *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v. 28, n. 4, p. 589-598, 2004.
- AITA, C. *et al.* **Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, p. 157-165, 2001.
- ALEF, K. **Soil Respiration.** In: ALEF, K.; NANNPIERI, P. (Eds.). *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. London: Academic Press, p. 234-245, 1995.
- ALEXANDER, M. **Microbial transformations of phosphorus.** In: *Introduction to Soil Microbiology*. New York: John Wiley and Sons, p. 347-348, 1977.
- ALIKHANI, H. A.; RASTIN, N. S.; ANTOUN, H. **Phosphate solubilization activity of rhizobia native to Iranian soils.** *Plant and Soil*, v. 287, p. 35-41, 2006.
- ALCANTARA, R. M. C. M. de *et al.* **Avaliação da biomassa microbiana do solo em sistemas orgânicos.** *Resumos do V CBA - Manejo de Agroecossistemas Sustentáveis. Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 2, n. 2, 2007.
- ALENCAR, F. H. H. de *et al.* **Crescimento inicial de plantas de sábia em latossolo degradado do cariri cearense sob efeito de estercos e fertilizantes químicos.** *Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil)*, v. 3, n. 3, p. 01-05, 2008.
- ALMEIDA, D. S. **Recuperação ambiental da Mata Atlântica.** Ilhéus: Editus, 2000. 130 p.
- ALMEIDA J. P. F. *et al.* **Evidence that P deficiency induced N feedback regulation of symbiotic N₂ fixation in white clover (*Trifolium repens* L.).** *Journal of Experimental Botany*, v. 51, p. 1289-1297, 2000.
- AL-NIEMI, T. S.; KAHN, M. L.; McDERMOTT, T. R. **Phosphorus uptake by bean nodules.** *Plant and Soil*, v. 198, p. 71-78, 1998.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V. **Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, p. 179-189, 2000.
- ANDRADE, D. S. *et al.* **Atividade microbiana em função da calagem em um solo cultivado com cafeeiro.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 19, n. 2, p. 191-196, 1995.
- ANDREUX, F. **Humus in world soils.** In: PICCOLO, A. (Ed.). *Humic substances in terrestrial ecosystems*. Amsterdam: Elsevier, p. 45-100, 1996.

ANDRADE, A. T.; FERNANDES, L. A.; FAQUIN, V. **Organic residue, limestone, gypsum, and phosphorus adsorption by lowland soils.** *Scientia Agricola*, v. 59, n. 2, p. 349-355, 2002.

ANGELINI, G. A. R. *et al.* **Atividade microbiana do solo sob agrofloresta e pastagem em área de manejo agroecológico, em Seropédica, RJ.** Resumos do VII Congresso Brasileiro de Agroecologia – Fortaleza/CE. *Cadernos de Agroecologia – ISSN 2236-7934 – v. 6, n. 2, 2011.*

ANTOUN, H. A. *et al.* **Potential of *Rhizobium* and *Bradyrhizobium* species as plant growth promoting rhizobacteria on nonlegumes: effect on radishes (*Raphanus sativus* L.).** *Plant and Soil*, v. 204, p. 57-67, 1998.

ARAÚJO, A. P.; PLASSARD, C.; DREVON, J. J. **Phosphatase and phytase activities in nodules of common bean genotypes at different levels of phosphorus supply.** *Plant and Soil*, v. 312, p. 129-138, 2008.

ARORA, N. K.; KANG, S. C.; MAHESHWARI, D. K. **Isolation of siderophore-producing strains of *Rhizobium meliloti* and their biocontrol potential against *Macrophomina phaseolina* that causes charcoal rot of groundnut.** *Current Science*, v. 81, p. 673-677, 2001.

BALOTA, E. L. *et al.* **Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 641-649, 1998.

BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. **Handbook of Plant Nutrition.** Taylor and Francis Group, Boca Raton, 2007. 613 p.

BARKER, A. V.; STRATTON, M. L.; RECHCIGL, J. E. **Soil and by-product characteristics that impact the beneficial use of by-products.** In: DICK, W. A., (ed.). *Land Application of Agricultural, Industrial, and Municipal By-Products.* Madison, Wis.: Soil Science Society of America, p. 169-213, 2000.

BARRIUSO, J. *et al.* **Ecology, genetic diversity and screening strategies of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR).** In: AHMAD, I.; PICHTEL, J.; HAYAT, S. (Eds.). *Plant-bacteria interactions: strategies and techniques to promote plant growth.* Wiley, Weinheim, p. 1-17, 2008.

BARROSO, G. S. P. *et al.* **Respiração microbiana do solo cultivado com milho sobre dois sistemas de adubação no município de Rio Largo, Alagoas.** *Revista Verde (Mossoró – RN)*, v. 7, n. 2, p. 08-10, 2012.

BATISTA, C. U. N. *et al.* **Tolerância à inundação de *Cecropia pachystachya* Trec. (Cecropiaceae): aspectos ecofisiológicos e morfoanatômicos.** *Acta Botanica Brasilica*, v. 22, n. 1, p. 91-98, 2008a.

BATISTA, Q. R. *et al.* **Bioqualidade de área degradada pela extração de argila, revegetada com *Eucalyptus* spp. e sabiá.** *Caatinga (Mossoró, Brasil)*, v. 21, n. 1, p. 169-178, 2008b.

- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. **Dinâmica e função da matéria orgânica.** In: SANTOS, G. de A. *et al.* (Eds.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. ver. e atual. Porto Alegre: Metrópole, p. 7-18, 2008.
- BEZERRA, R. G. D. *et al.* **Atividade microbiana em solo cultivado com cana-de-açúcar submetido a doses de fósforo.** Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil), v. 3, n. 4, p. 64-69, 2008.
- BORISOV, A. Y. *et al.* **Pea (*Pisum sativum* L.) regulatory genes controlling development of nitrogen-fixing nodule and arbuscular mycorrhiza: fundamentals and application.** Biologia, Bratislava, 59/Suppl. v. 13, p. 137-144, 2004.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretária de Recursos Hídricos. **Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca: PAN-BRASIL.** Brasília, DF, 2004. 213 p.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil.** Brasília, DF, 2007. 134 p. il.
- BRESSAN, W. *et al.* **Fungos micorrízicos e fósforo, no crescimento, nos teores de nutrientes e na produção do sorgo e soja consorciados.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 36, n. 2, p. 315-323, 2001.
- BROOKES, P. C.; POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. **Measurement of microbial biomass phosphorus in soil.** Soil Biology and Biochemistry. Oxford, v. 14, p. 319-329, 1982.
- BURITY *et al.* **Efetividade da inoculação com rizóbio e fungos micorrízicos arbusculares em mudas de sabiá submetidas a diferentes níveis de fósforo.** Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v. 35, n. 4, p. 801-807, 2000.
- BUSCOT, F. **What are soils?** In: BUSCOT, F.; VARMA, S., (Eds). Microorganisms in soils: roles in genesis and functions. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, v. 3, p. 3-18, 2005.
- BUSMAN, L. *et al.* **The nature of phosphorus in soils.** University of Minnesota Extension Service, 2002. Disponível em: <<http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/DC6795.html>>. Acesso em: 05 maio 2012.
- CALDAS, G. G. *et al.* **efeito da fertilização fosfatada na produção de raízes, liteira e nodulação de *Mimosa caesalpinifolia* Benth.** Revista Árvore, Viçosa-MG, v. 33, n. 2, p. 237-244, 2009.
- CALLOU, M. J. A. *et al.* **Avaliação da atividade antimicrobiana da casca de *Mimosa caesalpinifolia* Benth (Sabiá).** Scientia Plena, v. 8, n. 1, 2012.
- CARNEIRO, R. F. V. *et al.* **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, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A. C. **Fósforo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares no estabelecimento de mudas de embaúba (*Cecropia pachystachya* Trec).** Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 34, n. 3, p. 119-125, 2004.

CARNEIRO, M. A. C. *et al.* **Fungo micorrízico e superfosfato no crescimento de espécies arbóreas tropicais.** Revista Scientia Forestalis, n. 50, p. 21-36, 1996.

CARRENHO, R. *et al.* **The effect of different soil properties on arbuscular mycorrhizal colonization of peanuts, sorghum and maize.** Acta Botanica Brasilica, v. 21, n 3, p. 723-730, 2007.

CARVALHO, P. E. R. **Sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*).** Colombo: Embrapa Floresta, 2007. 10 p. (Circular Técnica 135).

CARVALHO, J. H. de; MAIA, C. M. N. de A.; AMORIM, G. C. de. **Seleção de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) para a obtenção de plantas sem acúleos.** Mossoró: ESAM, 1990. Não paginado. (ESAM. Coleção Mossoroense: Série B, 782).

CHACON, N. *et al.* **Iron reduction and soil phosphorus solubilization in humid tropical forests soils: the roles of labile carbon pools and an electron shuttle compound.** Biogeochemistry, v. 78, p. 67-84, 2006.

CHRISTIANSEN, I.; GRAHAM, P. H. **Variation in dinitrogen fixation among Andean bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes grown at low and high levels of phosphorus supply.** Field Crops Research, v. 73, p. 133-142, 2002.

CI, L.; YANG, X. **Desertification and its control in China.** Higher Education Press, Beijing and Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010. 513 p.

CI, L.; YANG, X.; YANG, Y. **Concept and global status of desertification;** In: CI, L.; YANG, X. (Eds.). Desertification and its control in China. Higher Education Press, Beijing and Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, p. 1-28, 2010.

CORRÊA, M. P.; PENNA, L. de A. **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas.** Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, 1926-1978 (1984 impressão). 6v.

COSGROVE, D. J. **Microbial transformations in the phosphorus cycle.** In: ALEXANDRE, M. (Ed.). Advances in microbial ecology. New York: Plenum, v. 1, p. 95-135, 1977.

COSTA, C. M. C. *et al.* **Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada em mudas de mangabeira.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 40, n. 3, p. 225-232, 2005.

COSTA, J. P. V. **Fluxo difusivo de fósforo e de potássio em Latossolos.** 1998. 67 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 1998.

- COSTA FILHO, R. T. da. **Crescimento de mudas de *Mimosa caesalpinifolia* Benth. e *Astronium fraxinifolium* Schott em resposta à calagem e adubação fosfatada.** 2010. 48 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal. 2010.
- CUNHA, A. O. *et al.* **Efeitos de substratos e das dimensões dos recipientes na qualidade das mudas de *Tabebuia impetiginosa* (Mart. Ex D.C.) Stand. R.** *Árvore*, Viçosa-MG, v. 29, n. 4, p. 507-516, 2005.
- DANIELS, R. *et al.* **The *cinquorum* sensing locus of *Rhizobium etli* CNPAF512 affects growth and symbiotic nitrogen fixation.** *Journal of Biological Chemistry*, v. 277, p. 462-468, 2002.
- DOBBELAERE, S.; VANDERLEYDEN, J.; OKON, Y. **Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere.** *Critical Reviews in Plant Sciences*, v. 22, p. 107-149, 2003.
- DRUMOND, M. A.; OLIVEIRA, V. R. de; LIMA, M. F. ***Mimosa caesalpinifolia*: Estudos de melhoramento genético realizados pela EMBRAPA Semiárido.** Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste Brasileiro, s. d.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro, 1999. 412 p.
- EMBRAPA. **Manual de métodos e análise do solo /** Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. Ver. Atual. – Rio de Janeiro, 1997. 212 p.: il. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1)
- FERREIRA, D. F. **Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0.** In: 45^a Reunião anual da região brasileira da sociedade internacional de biometria. UFSCar, São Carlos, SP, p. 255-258, 2000.
- FRANCIS, D. F.; THORNES, J. B. **Matorral, erosion and reclamation.** In: ALBALADEJO, J.; STOCKING, M. A.; DÍAZ, E. (Eds.). *Soil degradation and rehabilitation in mediterranean environmental conditions.* CSIC, Murcia, Spain, p. 87-115, 1990.
- FRANCO A. C. *et al.* **Leaf functional traits of Neotropical savanna trees in relation to seasonal water déficit.** *Trees*, v. 19, p. 326-335, 2005.
- FRANCO, A. A.; FARIA, S. M. de; **The contribution of N₂-fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics.** *Soil Biology and Biochemistry*, v. 29, n. 5/6, p. 897-903, 1997.
- FRANZLUEBBERS, A. J.; DORAISWAMY, P. C. **Carbon Sequestration and Land Degradation.** In: SIVAKUMAR, M. V. K.; NDIANG'UI, N. (Eds.). *Climate and land degradation.* Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, p. 342-358, 2007.
- GARCIA, C. *et al.* **Kinetics of phosphatase activity in organic wastes.** *Soil Biology and Biochemistry*, v. 25, p. 361-365, 1992.
- GEORGE, T. S.; RICHARDSON, A. E. **Potential and limitations to improving crops for enhanced phosphorus utilization.** In: WHITE, P. J.; HAMMOND, J. P. (Eds.). *The ecophysiology of plant-phosphorus interactions.* Series: plant ecophysiology. Springer, Dordrecht, v. 7, p. 247-270, 2008.

GERDEMANN, J. W.; NICHOLSON, 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.

GIOVANETTI, M.; MOSSE, B. **An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi infection in roots.** New Phytologist, v. 84, n. 3, p. 489-500, 1980.

GODOI, S.; TAKAKI, M. **Efeito da temperatura e a participação do fitocromo no controle da germinação de sementes de embaúba.** Revista Brasileira de Sementes, v. 27, n. 2, p. 87-90, 2005.

GONÇALVES, E. de O. *et al.* **Crescimento de mudas de sansão-do-campo (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) sob diferentes doses de macronutrientes.** Revista Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 599-609, 2010.

GONZÁLEZ, J. E.; MARKETON, M. M. **Quorum sensing in nitrogen-fixing rhizobia.** Microbiology and Molecular Biology Reviews, v. 67, p. 574-592, 2003.

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

HALDER, A. K.; MISHRA, A. K.; CHAKRABARTY, P. K. **Solubilizing of inorganic phosphates by *Bradyrhizobium*.** Indian Journal of Experimental Biology, v. 29, p. 28-31, 1991.

HOLFORD, I. C. R. **Soil phosphorus, its measurements and its uptake by plants.** Australian Journal of Soil Research, v. 35, p. 227-239, 1997.

HOLTHUIJZEN, A. M. A.; BOERBOOM, J. H. A. **The *Cecropia* seed bank in the Surinam lowland rainforest.** Biotropica, v. 14, n. 1, p. 62-68, 1982.

HUE, N. V. **Interaction of $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ applied to an Oxisol and previous sludge amendment: soil and crop response.** Journal Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 21. n. 1 and 2, p. 61-73, 1990.

JEFFRIES, P.; BAREA, J. M. **Arbuscular Mycorrhiza – a key component of sustainable plant-soil ecosystems.** In: HOCK, B. (Ed.). In: The Mycota: A Comprehensive treatise on fungi as experimental systems for basic and applied research. Fungal associations. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, v. 9, p. 95-113, 2001.

JISHA, M. S.; ALAGAWADI, A. R. **Nutrient uptake and yield of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) inoculated with phosphate solubilizing bacteria and cellulolytic fungus in cotton stalk amended vertisol.** Microbiological Research, v. 151, p. 1-5, 1996.

JORQUERA, M. A. *et al.* **Isolation of culturable phosphobacteria with both phytate-mineralization and phosphate-solubilization activity from the rhizosphere of plants grown in a volcanic soil.** Biology and Fertility of Soils, v. 44, p 1025-1034, 2008.

- KHAN, M. S. *et al.* **Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi – current perspective.** Archives of Agronomy and Soil Science, v. 56, p. 73-98, 2010.
- KHAN, A. A. *et al.* **Phosphorus solubilizing bacteria: occurrence, mechanisms and their role in crop production.** Journal of Agricultural and Biological Science, v. 1, n. 1, p. 48-58, 2009a.
- KHAN, M. S. *et al.* **Functional diversity among plant growth-promoting rhizobacteria.** In: KHAN, M. S.; ZAIDI, A.; MUSARRAT, J. (Eds). Microbial strategies for crop improvement. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 105-132, 2009b.
- KHAN, M. S.; ZAIDI, A.; WANI, P. A. **Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture – a review.** Agronomy for Sustainable Development, v. 27, p. 29-43, 2007a.
- KHAN, M. S.; ZAIDI, A. **Synergistic effects of the inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria and an arbuscular mycorrhizal fungus on the performance of wheat.** Turkish Journal of Agriculture, v. 31, p. 355-362, 2007b.
- KIRIACHEK, S. G. *et al.* **Regulação do desenvolvimento de micorrizas arbusculares.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, n. 1, p. 1-16, 2009.
- KLOEPPER, J. W. **A review of mechanisms for plant growth promotion by PGPR.** In: Sixth International PGPR Workshop, Oct 5-10 2003, Calicut, India. 2003.
- KLOEPPER, J. W.; LIFSHITZ, R.; SCHROTH, M. N. **Pseudomonas inoculants to benefit plant production.** ISI atlas of science: Animal and plant sciences, v. 1, p. 60-64, 1988.
- KONONOVA, M. M. **Matéria orgânica do solo; sua natureza, propriedades y métodos de investigação.** Barcelona: Oikos-Tau, 1982. 365 p.
- LAZDUNSKI, A. M.; VENTRE, I.; STURGIS, J. N. **Regulatory circuits and communication in gram-negative bacteria.** Nature Reviews Microbiology, v. 2, p. 581-592, 2004.
- LIMA, J. L. S. de. **Plantas forrageiras das Caatingas – usos e potencialidades.** Petrolina - PE: EMBRAPA-CPATSA/PNE/RBG-KEW, 1996. 44 p. il.
- LODWIG, E.; POOLE, P. **Metabolism of Rhizobium bacteroids.** Critical Reviews in Plant Sciences, v. 22, p. 37-78, 2003.
- LOH, J.; STACEY, G. **Nodulation Gene Regulation in Bradyrhizobium japonicum: a unique integration of global regulatory circuits.** Applied and Environmental Microbiology, v. 69, p. 10-17, 2003.
- LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** 5. ed., v. 1, Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2008. 384 p.
- LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** 3. ed., v. 1, Nova Odessa. SP: Instituto Plantarum, 2000.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. São Paulo: Plantarum, 1992. 352 p.

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, Londrina, v. 32, suplemento 1, p. 1855-1862, 2011.

MAHESHWARI, K. D. **Bacteria in Agrobiolgy: Plant Growth Responses**. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2011. 370 p.

MAIA, G. N. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. 2. ed. Fortaleza: Printcolor Gráfica e Editora, 2012. 413p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

MARKETON, M. M. *et al.* **Quorum sensing controls exopolysaccharide production in *Sinorhizobium meliloti***. Journal of Bacteriology, v. 185, p. 325-331, 2003.

MARSCHNER, P. **The role of rhizosphere microorganisms in relation to P uptake by plants**. In: WHITE, P. J.; HAMMOND, J. P. (Eds). The ecophysiology of plant-phosphorus interactions. Series: plant ecophysiology. Springer, Dordrecht, v. 7, p. 165-176, 2008.

MCKENZIE, R. H.; ROBERTS, T. L. **Soil and fertilizers phosphorus update**. In: Proc. Alberta soil science workshop proceedings, Edmonton, Alberta, p. 84-104, 1990.

MELO, J. T. *et al.* **Coleta, Propagação e Desenvolvimento Inicial de Espécies do Cerrado**. In: SANO, S. M.; ALEMIDA, S. P. (ed). Cerrado: ambiente e flora. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, p. 195-235, 1998.

MENDES FILHO, P. F.; ALMEIDA, R. T.; VASCONCELOS, I. **Efeito da interação *Rhizobium sp.*, fungos MVA e fosfato no desenvolvimento de mudas de sabiá, *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.** Ciência Agrônômica, v. 17, n. 2, p. 49-56, 1986.

MERGULHÃO, A. C. E. S. *et al.* **Influência da dupla inoculação rizóbio e fungos micorrizas-arbusculares em plantas de sabiá sob solos de diferentes texturas**. Revista Ecosistema, v. 26, n. 1, 2001.

MILLER, R. M.; JASTROW, J. D. **Mycorrhizal fungi influence soil structure**. In: KAPULNIK, Y; DOUDS, D. D. (Eds). Arbuscular mycorrhizas: physiology and function. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, p. 3-18, 2000.

MONTANARELLA, L. **Trends in Land Degradation in Europe**. In: SIVAKUMAR, M. V. K.; NDIANG'UI, N. (Eds.). Climate and land degradation. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, p. 83-104, 2007.

MOREIRA, F. L. M. *et al.* **Adsorção de fósforo em solos do Estado do Ceará**. Revista Ciência Agrônômica, v. 37, n. 1, p. 7-12, 2006.

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

MOURA, O. N. *et al.* **Distribuição de biomassa e nutrientes na parte aérea de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.** Revista Árvore, Viçosa-MG, v. 30, n. 6, p. 877-884, 2006.

NOGUEIRA, M. A.; CARDOSO, E. J. B. N. **Plant growth and phosphorus uptake in mycorrhizal rangpur lime seedlings under different levels of phosphorus.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 41, n. 1, p. 93-99, 2006.

NEVES, O. S. C. *et al.* **Crescimento, produção de matéria seca e acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea de mudas de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) cultivadas em solo de várzea, em função de diferentes doses de fósforo.** Revista Árvore, Viçosa-MG, v. 28, n. 3, p. 343-349, 2004.

OLIVEIRA, A. K. M.; LEMES, F. T. F. ***Artibeus planirostris* como dispersor e indutor de germinação em uma área do Pantanal do Negro, Mato Grosso do Sul, Brasil.** Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 49-52, 2010.

OLIVERA, M. *et al.* **Growth, nitrogen fixation and ammonium assimilation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.): effect of phosphorus.** Plant Physiology, v. 121, p. 498-505, 2004.

PASSOS, M. A.; TAVARES, K. M. P.; ALVES, A. R. **Germinação de sementes de sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth.).** Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 2, n. 1, p. 51-56, 2007.

PASSOS, F. C. *et al.* **Frugivoria em morcegos (*Mammalla*, Chiroptera) no Parque Estadual Intervales, sudeste do Brasil.** Revista Brasileira de Zoologia, Curitiba, v. 20, p. 511-517, 2003.

PEIX, A. *et al.* **Key Molecules Involved in Beneficial Infection Process in Rhizobia–Legume Symbiosis.** In: KHAN, M. S.; ZAIDI, A.; MUSARRAT, J. (Eds.). *Microbes for Legume Improvement*. New York: Springer-Verlag/Wien, p. 55-80, 2010.

PEREIRA, P. A. A.; BLISS, F. A. **Nitrogen fixation and plant growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) at different levels of phosphorus availability.** Plant and Soil, v. 104, p. 79-84, 1987.

PHILLIPS, D. A. *et al.* **Microbial products trigger amino acid exudation from plant roots.** Plant Physiology, v. 136, p. 2887-2894, 2004.

PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. **Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection.** Transactions of the British Mycological Society, v. 55, p. 157-160, 1970.

PINTO, J. R. de S. *et al.* **Diferentes tipos de substratos no desenvolvimento inicial de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth.** Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil), v. 6, n. 3, p. 180-185, 2011.

- POTT, A.; POTT, V. J.; SOBRINHO, A. A. B. **Plantas úteis à sobrevivência no pantanal**. In: IV Simpósio sobre Recursos Naturais e Socioeconômicos do Pantanal, Corumbá/MS. 2004.
- POTT, A.; POTT, V. J. **Plantas do Pantanal**. Brasília: Embrapa, 1994. 320 p. il.
- POUYU-ROJAS, E.; SIQUEIRA, J. O.; SANTOS, J. G. D. **Compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com espécies arbóreas tropicais**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 30, p. 413-424, 2006.
- PRABHAKAR, M.; SARAF, C. S. **Dry matter accumulation and distribution in chickpea as influenced by genotype, P source and irrigation level**. Indian Journal of Agricultural Sciences, v. 60, p. 204-206, 1990.
- QUEIROZ, L. P. **Leguminosas da Caatinga**. Feira de Santana: Universidade Estadual de Feira de Santana, 1. ed., 2009. 443 p.
- RASHID, M. *et al.* **Organic acids production and phosphate solubilization by phosphate solubilizing microorganisms (PSM) under in vitro conditions**. Pakistan Journal of Biological Sciences, v. 7, p. 187-196, 2004.
- RIBAS, L. A.; SEBBENN, A. M. **Herança e desequilíbrio de ligação em sete locos isoenzimáticos de *Cecropia pachystachya***. Revista do Instituto Florestal, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 111-119, 2004.
- RICHARDSON, A. E. *et al.* **Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms**. Plant and Soil, v. 321, p. 305-339, 2009.
- RIVAS, R. *et al.* **Biodiversity of populations of phosphate solubilizing rhizobia that nodulates chickpea in different Spanish soils**. Plant and Soil, v. 287, n. 1-2, p. 23-33, 2006.
- RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural, 1997. 747 p.
- ROBSON, A. D.; O'HARA G. W.; ABBOTT, L. K. **Involvement of phosphorus in nitrogen fixation by subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.)**. Australian Journal of Plant Physiology, v. 8, n. 5, p. 427-436, 1981.
- RODRÍGUEZ, H.; FRAGA, R. **Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion**. Biotechnology Advances, v. 17, p. 319-339, 1999.
- RODRÍGUEZ, H. *et al.* **Genetics of phosphate solubilization and its potential applications for improving plant growth promoting bacteria**. Plant and Soil, v. 287, p. 15-21, 2006.
- SAGGIN JUNIOR, O. J. **Micorrizas arbusculares em mudas de espécies arbóreas nativas do sudeste brasileiro**. 1997. 120 f. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais. 1997.
- SALA, V. M. R. **Atividade microbiana do solo e a interação de diazotróficos endofíticos e fungos micorrízicos arbusculares na cultura do trigo**. 2002. 124 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2002.

- SANTOS, F. A. M. **Growth and leaf demography of two *Cecropia* species.** Revista Brasileira de Botânica. São Paulo, v. 23, n. 2, p. 133-141, 2000.
- SANYAL, S. K.; De DATTA, S. K. **Chemistry of phosphorus transformations in soil.** Soil Science, New York, v. 16, p. 1-120, 1991.
- SARAF, C. S.; SHIVKUMAR, B. G.; PATIL, R. R. **Effect of phosphorus, sulphur and seed inoculation on performance of chickpea (*Cicer arietinum* L.).** Indian Journal of Agronomy, v. 42, p. 323-328, 1997.
- SCHUBERT, K. R. **Products of biological nitrogen fixation in higher plants: synthesis, transport and metabolism.** Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, Palo Alto, California, v. 37, p. 537-574, 1986.
- SELDIN, L. *et al.* **Comparison of *Paenibacillus azotofixans* strains isolated from rhizoplane, rhizosphere and non-rootassociated soil from maize planted in two different Brazilian soils.** Applied and Environmental Microbiology, v. 64, p. 3860-3868, 1998.
- SHENOY, V. V.; KALAGUDI, G. M. **Enhancing plant phosphorus use efficiency for sustainable cropping.** Biotechnology Advances, v. 23, p. 501-513, 2005.
- SIDDIQUI, Z. A.; AKHTAR, M. S.; FUTAI, K. **Mycorrhizae: sustainable agriculture and forestry.** Springer Science + Business Media B.V., 2008. 359 p.
- SIEVERDING, E. **Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems.** Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Eschborn, 1991. 371 p.
- SILVA, M. J. D. *et al.* **Avaliação da atividade antioxidante e antimicrobiana dos extratos e frações orgânicas de *Mimosa caesalpinifolia* Benth. (Mimosaceae).** Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada, v. 33, n. 2, p. 267-274, 2012.
- SILVA, M. B. R. *et al.* **Estresse salino em plantas da espécie florestal sabiá.** Caminhos de Geografia – revista on line, v. 10, n. 30, p. 120-127, 2009.
- SILVA, A. da; AGUIAR, I. B. de; FIGLIOLIA, M. B. **Germinação de sementes de *Mimosa caesalpinifolia* Benth. (sansão-do-campo) sob diferentes condições de temperatura, luz e umidade.** Revista do Instituto Florestal, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 139-146, 2008.
- SILVA, E. E. da; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. **Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C).** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 6 p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 96).
- SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. **Matéria orgânica do solo.** In: NOVAIS, R. F. *et al.* (Eds.). Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 275-374, 2007.
- SIMMS, E. L.; TAYLOR, D. L. **Partner choice in nitrogen-fixation mutualisms of legume and rhizobia.** Integ Comp Biol, v. 42, p. 369-380, 2002.

SIQUEIRA, J. O. *et al.* **Mycorrhizal colonization and mycotrophic growth of native woody species as related to successional groups in Southeastern Brazil.** *Forest Ecology and Management*, v. 107, p. 241-252, 1998.

SIQUEIRA, J. O.; SAGGIN JÚNIOR, O. J. **Dependency on arbuscular mycorrhizal fungi and responsiveness of some Brazilian native woody species.** *Mycorrhiza*, v. 11, n. 5, p. 245-255, 2001.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis.** 3rd Edition, Academic Press is an imprint of Elsevier, 2008. 800 p.

SOARES, C. S. **Eficiência de estirpes de rizóbio no rendimento e qualidade fisiológica de sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.).** 2007. 110 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia. 2007.

SOLANO, B. R.; BARRIUSO, J.; MAÑERO, F. J. G. **Physiological and molecular mechanisms of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR).** In: AHMAD, I.; PICHTEL, J.; HAYAT, S. (Eds). *Plant-bacteria interactions: strategies and techniques to promote plant growth.* Wiley, Weinheim, Germany, p. 41-52, 2008.

SOUTO, P. C. **Estudo da dinâmica de decomposição de esterco na recuperação de solos degradados no semi-árido paraibano.** 2002. 110 p. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal da Paraíba, Areia. 2002.

SPARLING, G. P. **Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter.** *Australian Journal of Soil Research*, Melbourne, v. 30, n. 2, 195-207, 1992.

SPARLING, G. P.; WEST, A. W. **A direct extraction method to estimate soil microbial C: calibration in situ using microbial respiration and ¹⁴C labeled cells.** *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 20, n. 3, p. 337-343, 1988.

SRIDEVI, M.; MALLAIAH, K. V. **Phosphate solubilization by Rhizobium strains.** *Indian Journal of Microbiology*, v. 49, n. 1, p. 98-102, 2009.

STIEVEN, A. C *et al.* **População e biomassa microbiana em solo do pantanal matogrossense.** *Revista Biodiversidade*, v. 8, n. 1, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TARAFDAR, J. C.; CLAASSEN, N. **Organic phosphorus compounds as a phosphorus source for higher plants through the activity of phosphatases produced by plant roots and microorganisms.** *Biology and Fertility of Soils*, v. 5, p. 308-312, 1988.

TARAFDAR, J. C.; JUNG, A. **Phosphatase activity in the rhizosphere and its relation to the depletion of soil organic phosphorus.** *Biology and Fertility of Soils*, v. 3, p. 199-204, 1987.

TATE, K. R.; ROSS, D. J.; FELTHAM, C. W. **A direct extraction method to estimate soil microbial-C - effects of experimental - variables and some different calibration procedures.** *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 20, n. 3, p. 329-335, 1988.

TAWARAYA, K.; NAITO, M.; WAGATSUMA, T. **Solubilization of insoluble inorganic phosphate by hyphal exudates of arbuscular mycorrhizal fungi.** *Journal of Plant Nutrition*, v. 29, p. 657-665, 2006.

TEDESCO, M. J. *et al.* **Análises de solo, plantas e outros materiais.** Porto Alegre, Departamento de Solos: UFRGS, 1995. 174 p.

TEPLITSKI, M.; ROBINSON, J. B.; BAUER, W. D. **Plants secrete substances that mimic bacterial N-acyl homoserine lactone signal activities and affect population density-dependent behaviors in associated bacteria.** *Molecular Plant-Microbe Interactions*, v. 13, p. 637-648, 2000.

THENG, B. K. G.; TATE, K. R.; SOLLINS, P. **Constituents of organic matter in temperate and tropical soils.** In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (Eds.). *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems.* Honolulu, University of Hawaii, NifTAL Project, p. 5-32, 1989.

VÁLIO, I. F. M.; SCARPA, F. M. **Germination of seeds of tropical pioneer species under controlled and natural conditions.** *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 79-84, 2001.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. **An extraction method for measuring soil microbial biomass-C.** *Soil Biology and Biochemistry*, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

VARGAS, L. K.; SELBACH, P. A.; SÁ, E. L. S. de. **Imobilização de nitrogênio em solo cultivado com milho em sucessão à aveia preta nos sistemas plantio direto e convencional.** *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 35, n. 1, p. 76-83, 2005.

VESSEY, J. K. **Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers.** *Plant and Soil*, v. 255, p. 571-586, 2003.

VIERHEILIG, H. *et al.* **Ink and vinegar, a simple technique for arbuscular mycorrhizal fungi.** *Applied and Environmental Microbiology*, v. 64, n. 12, p. 5004-5007, 1998.

WAKSMAN, S. A. **Humus: origin, chemical composition, and importance in nature.** Baltimore: Williams and Wilkins company, p. 1-194, 1936.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. **An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method.** *Soil Science*, Baltimore, v. 37, p. 29-38, 1934.

WALTER, H.; HABER, W. **Über die Intensität der Bodenatmung mit Beuerkingen zu den lundegardschen Werten.** *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, v. 70, p. 275-282, 1957.

- WANI, P. A.; KHAN, M. S.; ZAIDI, A. **Co-inoculation of nitrogen-fixing and phosphate-solubilizing bacteria to promote growth, yield and nutrient uptake in chickpea.** *Acta Agronomica Hungarica*, v. 55, p. 315-323, 2007.
- WARDLE, D. A. **Metodologia para Quantificação da Biomassa Microbiana do Solo.** In: HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S. (Eds.). *Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola.* Brasília: EMBRAPA-SPI, p.419-431, 1994.
- WITT, C. *et al.* **A rapid chloroform-fumigation extraction method for measuring soil microbial biomass carbon and nitrogen in flooded rice soils.** *Biology and Fertility of Soils*, v. 30, n. 5-6, p. 510-519, 2000.
- ZAIDI, A. *et al.* **Recent advances in plant growth promotion by phosphate-solubilizing microbes.** In: KHAN, M. S.; ZAIDI, A.; MUSARRAT, J. (Eds). *Microbial strategies for crop improvement.* Springer, Berlin, Germany, p. 23-50, 2009a.
- ZAIDI, A. *et al.* **Plant growth promotion by phosphate solubilizing bacteria.** *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica*, v. 56, p. 263-284, 2009b.
- ZAIDI, A.; KHAN, M. S. **Stimulatory effects of dual inoculation with phosphate solubilizing microorganisms and arbuscular mycorrhizal fungus on chickpea.** *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v. 47, p. 1016-1022, 2007.
- ZAIDI, A.; KHAN, M. S.; AMIL, M. **Interactive effect of rhizotrophic microorganisms on yield and nutrient uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.).** *European Journal of Agronomy*, v. 19, p. 15-21, 2003.

ANEXOS

ANEXO A – Estande de plantas de embaúba.



ANEXO B – Estande plantas de sabiá.



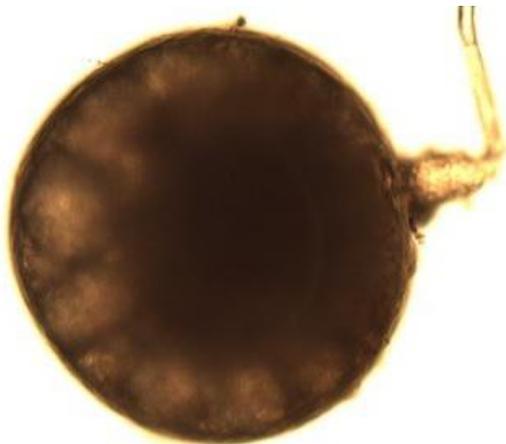
ANEXO C – Nódulos de rizóbio em raízes de plantas de sabiá.



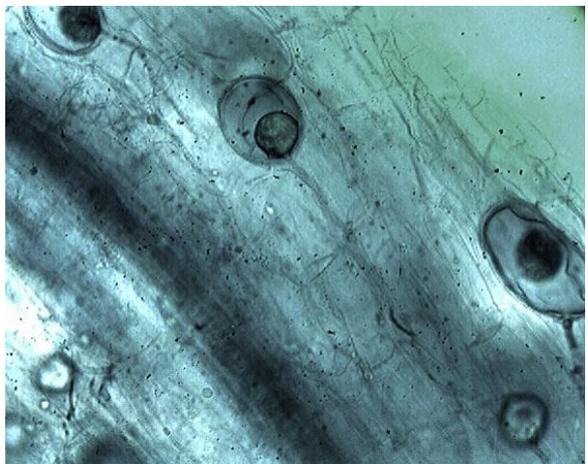
ANEXO D – Nódulos de rizóbio em raízes de plantas de sabiá.



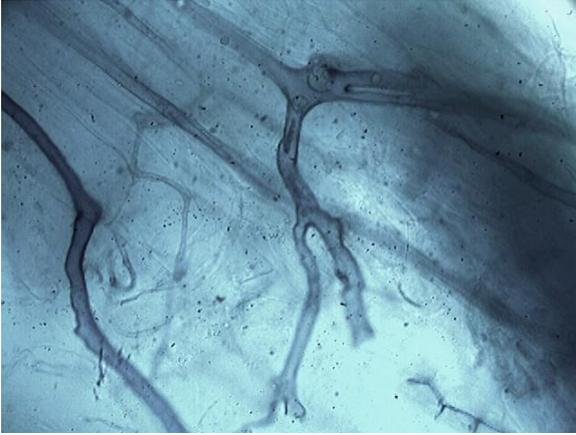
ANEXO E – Esporo de FMA do gênero *Scutellospora* (200x).



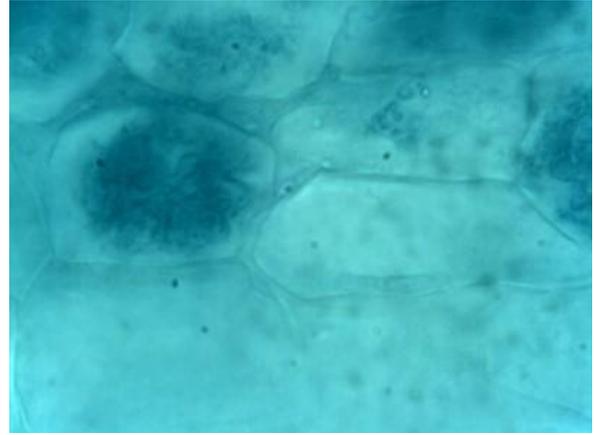
ANEXO F – Colonização de FMA em raiz de embaúba (100x).



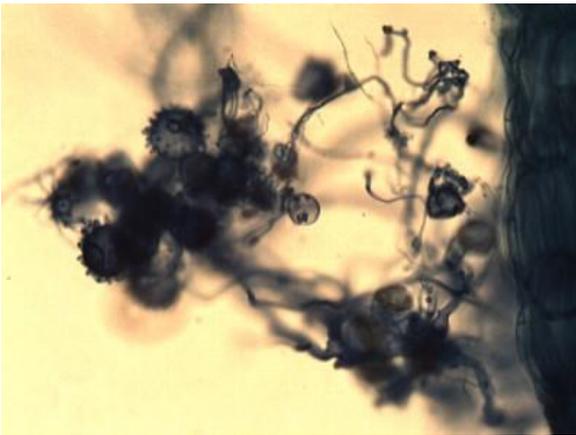
ANEXO G – Colonização de FMA em raiz de embaúba (400x).



ANEXO H – Colonização de FMA em raiz de embaúba (1000x).



ANEXO I – Células auxiliares de FMA em raiz de sabiá (400x).



ANEXO J – Colonização de FMA em raiz de sabiá (400x).



ANEXO L – Colonização de FMA em raiz de sabiá (1000x).



ANEXO M – Colonização de FMA em raiz de sabiá (1000x).

