



**TECNOLOGIA MICORRÍZICA E P NA MAXIMIZAÇÃO DA  
PRODUÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS COM POTENCIAL  
MEDICINAL EM MUDAS DE ANGICO-PRETO  
(*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan)**

**MARIA VALDIRENE LEITE PEDONE BONFIM**

**RECIFE  
MARÇO/2012**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE MICOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA DE FUNGOS**

**TECNOLOGIA MICORRÍZICA E P NA MAXIMIZAÇÃO DA  
PRODUÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS COM POTENCIAL  
MEDICINAL EM MUDAS DE ANGICO-PRETO**

*(Anadenanthera colubrina (Vell.) Brenan)*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia de Fungos do Departamento de Micologia do Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Biologia de Fungos.

**Área de Concentração: Micologia  
Básica**

**MARIA VALDIRENE LEITE  
PEDONE BONFIM**

**Orientador: Leonor C. Maia**

**Co-orientador: Fábio Sérgio  
Barbosa da Silva**

**RECIFE  
MARÇO/2012**

Catálogo na fonte  
Elaine Barroso  
CRB 1728

**Bonfim, Maria Valdirene Leite Pedone**

**Tecnologia micorrizica e P na maximização da produção de compostos bioativos com potencial medicinal em mudas de Angico-preto (*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan)/ Maria Valdirene Leite Pedone Bonfim– Recife: O Autor, 2012.**

**40 folhas: tab.**

**Orientadora: Leonor C. Maia**

**Coorientador: Fábio Sérgio Barbosa da Silva**

**Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciências Biológicas, Biologia de Fungos, 2012.**

**Inclui bibliografia**

- 1. Fungos micorrizicos 2. Plantas medicinais 3. Flavonóides I. Maia, Leonor C. (orientadora) II. Silva, Fábio Sérgio Barbosa da (coorientador) III. Título**

**579.5**

**CDD (22.ed.)**

**UFPE/CCB- 2012- 301**

**TECNOLOGIA MICORRÍZICA E P NA MAXIMIZAÇÃO DA  
PRODUÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS COM POTENCIAL  
MEDICINAL EM MUDAS DE ANGICO-PRETO  
(*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan)**

**MARIA VALDIRENE LEITE PEDONE BONFIM**

Data da defesa: 08/03/2012

**COMISSÃO EXAMINADORA**

**MEMBROS TITULARES**

---

Dra. Leonor Costa Maia – (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Dra. Sandra Farto Botelho Trufem – Examinador Externo  
Instituto de Botânica

---

Dra. Uided Maaze Tiburcio Cavalcante – Examinador Interno  
Universidade Federal de Pernambuco

**MEMBROS SUPLENTE**

---

Dra. Adriana Mayumi Yano-Melo  
Universidade Federal do Vale do São Francisco

---

Dra. Lilia Gomes Willadino  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ao meu supremo orientador, Aquele que esteve ao meu lado em todos os momentos, tornando realidade o impossível; Aquele que criou os Céus, a Terra e tudo que os contém. Ao meu maravilhoso Deus e Senhor, dedico.

## Agradecimentos

A Deus, por ter me concedido vida, sabedoria e determinação;

Ao meu esposo, Joedson Lima Bonfim, pelo amor, apoio, compreensão e incentivo nos momentos difíceis;

Aos meus pais, José Pedone e Marinês Leite, pelas orações, apoio e presença constante;

Aos meus irmãos Samuel, Valdenora, Valdene e Valquíria, e à toda a minha família, pela força e apoio;

À Dra. Leonor Costa Maia, minha orientadora, pela paciência, orientação e apoio;

Ao Dr. Fábio Sérgio Barbosa da Silva, por acreditar em mim, pelos conhecimentos transmitidos, pela orientação, convivência, enfim, por tudo;

À Dra. Lindete Míria Vieira Martins, por ceder a casa de vegetação para a realização dos experimentos, pelos conhecimentos transmitidos, pela prontidão em ajudar sempre e pela amizade;

À Dra. Maryluce Campos, pelos incentivos nos momentos difíceis e pela transmissão de conhecimentos;

A Rúbens, pelo auxílio indispensável durante a condução dos experimentos;

À Vilma, pela amizade e pela ajuda com a providência de materiais para a montagem dos experimentos;

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos;

À Universidade de Pernambuco *Campus* Petrolina, pelo espaço cedido para execução dos trabalhos;

À Ieda, pela amizade e parceria durante todas as etapas da dissertação;

À Diana, Elis e Paula Tarcila, pela amizade e momentos de descontração;

Aos colegas do Laboratório de Enzimologia e Fitoquímica Aplicada à Micologia (Cleilton, João e Lauro), pelo convívio;

A Marllon e Melqui pelo auxílio durante a realização das análises fitoquímicas;

Aos colegas Danielle Karla, Renata de Souza e Ângelo Santana, pela amizade e incentivo;

Aos colegas do laboratório de Micorrizas, pelo acolhimento;

Aos colegas do Programa de Pós Graduação em Biologia de Fungos, pelos momentos bons que compartilhamos;

Aos professores do Programa, pelos conhecimentos transmitidos;

Enfim, a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a conclusão desta dissertação, meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

A aplicação de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) pode aumentar o crescimento e a concentração de metabólitos primários e secundários em diversas espécies vegetais. *Anadenanthera colubrina*, planta com propriedades medicinais, tem o crescimento beneficiado pela micorrização, mas não se conhece a influência da simbiose sobre a produção de compostos foliares bioativos nessa planta. O objetivo deste estudo foi determinar o efeito da inoculação micorrízica e da adição de P na produção de compostos bioativos em mudas de angico-preto. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em arranjo fatorial de 2 x 5, sendo dois tratamentos de inoculação (com ou sem FMA) e cinco níveis de P, em 5 repetições. Sementes de angico-preto foram desinfestadas e, após a germinação, as plântulas com duas folhas definitivas foram transferidas para potes contendo solo desinfestado com 5 níveis de P [4 ( nível natural), 8, 15, 30 e 50 mg de P dm<sup>-3</sup> de solo, suplementado com superfosfato simples] e inoculadas com solo-inóculo misto, fornecendo 300 esporos de *Gigaspora albida* + *Acaulospora longula*. Após 150 dias em casa de vegetação, a parte aérea foi colhida, seca em estufa e macerada em etanol 95 % (12 dias/20 °C) para determinação de carboidratos solúveis, proteínas, fenóis, flavonóides e de taninos totais. A produção de proteínas e de carboidratos, tanto em concentração como em conteúdo, foi favorecida pela inoculação com FMA, porém tal benefício foi mitigado nos maiores níveis de P testados. A concentração de fenóis, de flavonóides e de taninos totais foi favorecida pela micorrização, mesmo nos níveis mais altos de P. Conclui-se que a produção de metabólitos primários e secundários foliares em mudas de *A. colubrina* pode ser maximizada pela micorrização, com os benefícios dependentes da suplementação fosfática do solo.

**Palavras-chave:** FMA, metabólitos secundários, metabólitos primários

## **ABSTRACT**

The application of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) can increase the growth and concentration of primary and secondary metabolites in several plant species. The growth of cebil (*Anadenanthera colubrina*), a medicinal plant, is benefited from mycorrhizal association, but the influence of the symbiosis on the production of bioactive compounds in this plant is unknown. The objective of this study was to determine the effect of mycorrhizal inoculation and P addition in the production of bioactive compounds in seedlings of cebil. The experimental design was completely randomized in factorial arrangement of 2 x 5, and two inoculation treatments (with or without AMF) and five levels of P in 5 replicates. Seeds of cebil were sterilized and after germination, seedlings with two true leaves were transferred to pots containing fumigated soil, with 5 levels of P [4 (natural level), 8, 15, 30 and 50 mg P dm<sup>-3</sup> soil, supplemented with superphosphate] and inoculated with a soil-inoculum mixture, providing 300 spores of *Gigaspora albida* + *Acaulospora longula*. After 150 days in a greenhouse, the shoots were harvested, dried and macerated in 95 % ethanol (12 dias/20 ° C) for determination of soluble carbohydrates, proteins, phenols, flavonoids and total tannins. The production of proteins and carbohydrates, both in concentration and content was enhanced by inoculation with AMF, but this benefit was mitigated in higher levels of P. The concentration of phenols, flavonoids and total tannins was favored by mycorrhization, even at the highest levels of P. The production of primary and secondary metabolites on leaves of *A. colubrina* can be maximized by mycorrhization with the benefits of supplementation dependent on soil phosphate.

**Keywords:** AMF, secondary metabolites, primary metabolites

## Lista de tabelas

	<b>Pág.</b>
Tabela 1 - Variáveis de crescimento avaliadas para estimar a efetividade de fungos micorrízicos arbusculares (FMA).....	16
Tabela 2 - Influência de fungos micorrízicos arbusculares na produção de fitoquímicos em diversas espécies vegetais.....	17
Tabela 3 - Níveis de significância (valores de <i>p</i> ) para as variáveis estudadas, considerando os efeitos isolados dos fatores (1-Inoculação; 2-Níveis de P) e a interação 1 x 2.....	27
Tabela 4 - Matéria seca da parte aérea (g) de mudas de angico-preto, micorrizadas ou não, cultivadas em solo desinfestado com diferentes níveis de P, 150 dias após a inoculação, em casa de vegetação.....	28
Tabela 5 - Conteúdo de proteínas totais, carboidratos solúveis e flavonóides totais foliares (mg/planta) em mudas de angico-preto, micorrizadas ou não, cultivadas em solo desinfestado com diferentes níveis de P, 150 dias após a inoculação, em casa de vegetação.....	28
Tabela 6 - Concentração de proteínas totais, carboidratos solúveis, flavonoides totais, fenóis totais e taninos totais foliares (mg/g planta) em mudas de angico-preto, micorrizadas ou não, cultivadas em solo desinfestado com diferentes níveis de P, 150 dias após a inoculação, em casa de vegetação.....	29
Tabela 7 - Conteúdo de fenóis totais e de taninos totais foliares (mg/planta) em mudas de angico-preto, micorrizadas ou não, independentemente dos níveis de P, 150 dias após a inoculação, em casa de vegetação.....	31
Tabela 8 - Conteúdo de fenóis totais e de taninos totais foliares (mg/planta) em mudas de angico-preto cultivadas em solo desinfestado com diferentes níveis de P, independentemente do tratamento de inoculação, 150 dias após a inoculação, em casa de vegetação.....	31

## SUMÁRIO

	<b>Pág.</b>
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	13
2.1. Fungos Micorrízicos Arbusculares.....	13
2.2. Fungos micorrízicos arbusculares e Compostos bioativos.....	17
2.3. Angico-preto.....	21
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1. Material vegetal.....	24
3.2. Fungos micorrízicos arbusculares.....	24
3.3. Inoculação micorrízica.....	24
3.4. Delineamento experimental.....	24
3.5. Determinações bioquímicas e fitoquímicas.....	25
3.6. Análises estatísticas.....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
5. CONCLUSÕES.....	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33

## 1. INTRODUÇÃO

Os produtos do metabolismo secundário dos vegetais constituem importante fonte de agentes terapêuticos que são usados há muito tempo, principalmente em países em desenvolvimento, considerando que 60 a 80 % da população dependem exclusivamente desses compostos para os cuidados básicos em saúde (Ramos *et al.*, 2008; Agra *et al.*, 2007).

O Brasil é rico em espécies vegetais nativas que apresentam compostos bioativos; na região Nordeste, onde se encontra o bioma Caatinga, há relatos de diversas espécies com propriedades medicinais (Silva *et al.*, 2005; Ramos *et al.*, 2008; Agra *et al.*, 2007), entre as quais o angico-preto (*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan), uma das espécies medicinais mais usadas pela população (Albuquerque & Andrade, 2002a). Essa planta tem sido usada na medicina popular para a cura de diarreia (Carvalho, 2002), tosse, bronquite (Agra *et al.*, 2007; Agra *et al.*, 2008), gripe (Almeida *et al.*, 2006), inflamação e na cicatrização de tecidos (Araújo *et al.*, 2008).

As propriedades medicinais de *A. colubrina* são conferidas por compostos bioativos como triterpenos, esteróis (Gutierrez-Lugo *et al.*, 2004), polissacarídeos (Moretão *et al.*, 2003) e compostos fenólicos, como flavonóides (Gutierrez-Lugo *et al.*, 2004; Araújo *et al.*, 2008), fenóis e taninos (Monteiro *et al.*, 2005a; Monteiro *et al.*, 2006b). Os compostos fenólicos constituem uma das principais classes de compostos secundários e possuem uma variedade de efeitos biológicos, sendo amplamente utilizados como antioxidante na indústria alimentícia ou farmacêutica (Degáspari & Waszczynskyj, 2004). Dentre os compostos fenólicos, os flavonóides e os taninos destacam-se por suas propriedades antimicrobianas, antioxidante, antiinflamatória, antiproliferativa, antialérgica, antitrombótica e antiviral (Monteiro *et al.*, 2005b; Middleton Jr. *et al.*, 2000; Tapas *et al.*, 2008).

Pesquisas comprovam a eficiência micorrízica em maximizar a produção de metabólitos primários e secundários em diversas plantas (Ratti *et al.*, 2010; Huang *et al.*, 2011; Araim *et al.*, 2009; Nell *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2008b; Khaosaad *et al.*, 2006; Toussaint *et al.*, 2007; Zhu & Yao, 2004), porém não está esclarecido se tal incremento é consequência do efeito direto do fungo ou se resulta dos efeitos mediados pelo maior aporte de P. Em algumas situações a inoculação tem sido mais eficiente em favorecer a produção desses compostos do que a adição de P (Nell *et al.*, 2010; Kapoor *et al.*, 2007). Porém, mais investigações são necessárias objetivando compreender os mecanismos pelos quais os FMA interferem na produção de fitoquímicos, sobretudo em substratos com suplementação fosfática.

Espécies de *Anadenanthera* são beneficiadas pela micorrização (Santana, 2010; Sugai *et al.*, 2011; Santos *et al.*, 2008b), porém a influência da simbiose sobre a produção de metabólitos primários e fitoquímicos foliares dessas espécies não é conhecida. O objetivo do presente estudo foi determinar o efeito da inoculação micorrízica e da adição de P na produção de compostos bioativos em mudas de angico-preto.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Fungos Micorrízicos Arbusculares

Os Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) são microrganismos do solo pertencentes ao filo Glomeromycota (Schuëler *et al.*, 2001) que se unem à raízes de cerca de 80 % das plantas terrestres (Nagahashi *et al.*, 2010) formando uma associação simbiótica mutualista em que há troca de produtos da fotossíntese por nutrientes e água (Berbara *et al.*, 2006). A associação é chamada micorriza arbuscular, devido à formação de estruturas características, denominadas arbúsculos (Smith & Read, 2008).

Há evidências de que os FMA são um grupo muito diverso, porém, até o momento pouco mais de 200 espécies foram descritas (de Souza *et al.*, 2008). Apesar das evidências de reprodução apenas assexuada, os FMA apresentam grande diversidade genética (Maia, 2010), que pode ser explicada pela presença de centenas de núcleos idênticos (homocariose), cada um contendo todas as sequências variantes no esporo (Pawlowska & Taylor, 2004) ou pela presença de núcleos geneticamente distintos (heterocariose) em cada esporo (Hijri & Sanders, 2005). Ao revisar diversos trabalhos, Bever *et al.* (2008) concluíram que há forte apoio para a teoria da heterocariose, com a fusão entre hifas sendo responsável pela manutenção da variabilidade genética entre as células.

A associação micorrízica é iniciada a partir da germinação ou recrescimento de um propágulo infectivo, que pode ser esporo, fragmento de raiz colonizado ou hifas (Smith & Read, 2008). A germinação do esporo requer apenas a presença de água e dióxido de carbono, independentemente da presença da planta hospedeira (Lambais, 2006). Na ausência de raízes, o crescimento da hifa é interrompido antes que acabem as reservas do esporo, e este pode emitir novos tubos germinativos até encontrar uma planta hospedeira (Harrison, 2005). A presença de raízes metabolicamente ativas é essencial para que o fungo complete seu ciclo de vida, uma vez que ele depende da planta para produzir ácidos graxos (Franken, 2010).

Ao perceber sinais químicos vindos do hospedeiro o fungo aumenta sua atividade respiratória e contacta a raiz, formando apressórios (Giovannetti *et al.*, 1994; Harrison, 2005). A penetração na raiz ocorre inter e intracelularmente, e no interior do córtex hifas laterais se ramificam e formam os arbúsculos (Lambais, 2006), estruturas responsáveis pelas trocas de nutrientes (Moreira & Siqueira, 2002). A formação dos arbúsculos é acompanhada por uma série de mudanças na disposição da célula hospedeira, como mudança de posição do núcleo, fragmentação dos vacúolos, modificação na organização dos plastídios, entre outras (Bonfante *et al.*, 2009).

Além de produzir arbúsculos, algumas espécies formam estruturas com função de reserva, denominadas vesículas (Moreira & Siqueira, 2002). Externamente, as hifas fúngicas se desenvolvem formando o micélio extrarradicular, que atua na absorção de nutrientes e água do solo em favor da planta, na colonização secundária de raízes, na agregação do solo e na produção de esporos (Peterson *et al.*, 2004). No micélio externo de espécies que não produzem vesículas, como membros das famílias Gigasporaceae, Scutellosporaceae, Racocetraceae e Dentiscutataceae, são produzidas ainda células auxiliares, que armazenam lipídios e precedem a formação de esporos (Peterson *et al.*, 2004; Oehl *et al.*, 2008; Biermann & Linderman, 1983).

O desenvolvimento da associação micorrízica compreende, portanto, três fases: a fase assimbiótica, que inclui o processo de germinação dos esporos e emissão do tubo germinativo; a fase pré-simbiótica, que inclui a ramificação das hifas; e a fase simbiótica, que inclui todos os eventos que ocorrem a partir da formação do apressório (Lambais & Ramos, 2010; Maia *et al.*, 2010).

A colonização das raízes pode variar com a formação de micorrizas tipo *Arum*, caracterizadas por intensa colonização intercelular e ramificação dicotômica no interior das células corticais, originando arbúsculos típicos; ou micorrizas tipo *Paris*, caracterizadas pelo desenvolvimento intracelular de hifas enoveladas (Smith & Read, 2008).

Plantas associadas a FMA apresentam vantagens sobre as não micorrizadas, considerando que as hifas funcionam como extensões radiculares que aumentam a superfície de absorção de elementos minerais e alcançam espaços inatingíveis pelo sistema radicular (Morgan *et al.*, 2005). Além disso, alguns FMA conseguem ter acesso a formas de N e P que não são utilizadas por plantas não associadas, especialmente em ambientes áridos e semiáridos, onde a absorção desses nutrientes é limitada (Morgan *et al.*, 2005; Miransari, 2011).

A transferência de fotossintatos para o fungo é da ordem de 4-20 % (Morgan *et al.*, 2005). Os efeitos mais relatados de FMA sobre a planta hospedeira são o aumento do crescimento em altura e biomassa seca da parte aérea e da raiz (Chu *et al.*, 2004; Silva *et al.*, 2004), aumento dos teores de micronutrientes (Chu *et al.*, 2001) e macronutrientes como o P (Matsubara *et al.*, 2009), maiores teores de pigmentos fotossintetizantes nas folhas (Tristão *et al.*, 2006) e maior produção de metabólitos primários (Manoharan *et al.*, 2010) e secundários (Ceccarelli *et al.*, 2010; Chaudhary *et al.*, 2008).

O FMA também pode atuar protegendo a planta contra patógenos radiculares (Chandanie *et al.*, 2009) por meio de mecanismos diretos e indiretos, como melhora do estado nutricional que resulta em maior produção de compostos secundários, entre os quais substâncias relacionadas à defesa (fitoalexinas), competição por locais de infecção e alimento, antibiose, modificação qualitativa de exsudados liberados pelas raízes e barreira física, visto que células contendo

arbúsculos não são ocupadas por fungos causadores de doenças (Maia *et al.*, 2006; Chandanie *et al.*, 2009; Zhu & Yao, 2004). Outros efeitos importantes como aumento da tolerância da planta hospedeira a estresses salino (Yano-Melo *et al.*, 2003) e hídrico (Ruiz-Lozano *et al.*, 2006) também são observados. Além disso, o FMA pode reduzir a concentração de metais pesados na parte aérea das plantas, favorecendo o crescimento vegetal (Silva *et al.*, 2006).

Os mecanismos utilizados pelos FMA para mitigar estresses abióticos são variados. O estresse salino é amenizado por diversos mecanismos, como absorção aumentada de nutrientes, manutenção da proporção  $K^+ : Na^+$ , mudanças bioquímicas, como acúmulo de aminoácidos que mantém o equilíbrio osmótico das células, e mudanças fisiológicas, como maior eficiência fotossintética (Evelin *et al.*, 2009). As vias que os FMA usam para proteger as plantas contra estresses hídricos não estão claros, mas acredita-se que plantas micorrizadas possuem baixa regulação da expressão de genes que codificam proteínas intrínsecas da membrana plasmática (aquaporinas) e isso diminui a permeabilidade da mesma evitando a perda de água pelas células (Ruiz-Lozano *et al.*, 2006). As estratégias utilizadas para aumentar a tolerância das plantas à contaminação por metais pesados incluem o efeito de diluição resultante do maior crescimento vegetal, adsorção nas estruturas fúngicas, retenção pelas PSRG (proteínas do solo relacionadas à glomalina), imobilização devido às mudanças no pH do solo e precipitação de cátions metálicos com grânulos de fosfato (Xiaolin *et al.*, 2002; Silva *et al.*, 2006; Christie *et al.*, 2004; Gaur & Adholeya, 2004).

Os fungos micorrízicos também desempenham importante papel na agregação do solo, via processos biofísicos (atuação de hifas), biológicos (interação com outros microrganismos) e bioquímicos (produção de glomalina) (Rillig & Mummey, 2006).

A glomalina é uma glicoproteína composta por cerca de 60 % de carboidratos, apresentando grande quantidade de ferro na molécula (Wright & Upadhyaya, 1998). Recentemente, o uso do termo “glomalina” foi substituído por proteínas do solo relacionadas à glomalina (PSRG), porque outros compostos não produzidos por FMA também podem ser co-extraídos e quantificados pelos métodos comumente utilizados (Rillig, 2004).

As PSRG são produzidas por FMA e ficam contidas nas paredes das hifas e dos esporos, sendo passivamente liberadas no meio (Driver *et al.*, 2005). Essas glicoproteínas podem beneficiar diretamente o FMA pela melhoria no ambiente de crescimento (Rillig & Steinberg, 2002) e pela proteção das hifas durante o transporte de nutrientes (Wright, 2010). Além disso, são importantes em nível de ecossistema, pois quando presentes em grande quantidade no solo proporcionam melhor drenagem de água e maior aeração, desenvolvimento do sistema radicular, atividade microbiana e resistência da superfície à erosão, melhorando, assim, a estrutura do solo (Wright, 2010; Wu *et al.*, 2008).

A capacidade de o fungo beneficiar a planta hospedeira é denominada efetividade micorrízica, que é medida pela resposta de crescimento vegetal (Janos, 2007). Vários parâmetros podem ser avaliados para estimar a efetividade de FMA (Tabela 1), incluindo número de folhas, fitomassa, área foliar (Silva *et al.*, 2004; Cavalcante *et al.*, 2002) e parâmetros fisiológicos tais como teores de pigmentos fotossintéticos (Manoharan *et al.* 2010), produção de metabólitos primários (Matsubara *et al.*, 2009) e secundários (Ceccarelli *et al.*, 2010; Chaudhary *et al.*, 2008).

**Tabela 1.** Variáveis de crescimento avaliadas para estimar a efetividade de fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

Variáveis	Referência
Altura	Souza (2000); Cavalcante <i>et al.</i> (2001); Chu <i>et al.</i> (2001); Cavalcante <i>et al.</i> (2002); Yano-Melo <i>et al.</i> (2003); Silva <i>et al.</i> (2004); Tristão <i>et al.</i> (2006); Farias <i>et al.</i> (2008); Silva <i>et al.</i> (2008a); Santos <i>et al.</i> (2008a); Guissou (2009); Gogoi & Singh (2011)
Diâmetro do caule	Souza (2000); Chu <i>et al.</i> (2001); Cavalcante <i>et al.</i> (2002); Anjos <i>et al.</i> (2005); Tristão <i>et al.</i> (2006); Silva <i>et al.</i> (2008a);
Número de folhas	Cavalcante <i>et al.</i> (2002); Yano-Melo <i>et al.</i> (2003); Silva <i>et al.</i> (2004); Anjos <i>et al.</i> (2005); Tristão <i>et al.</i> (2006); Barbieri Jr. <i>et al.</i> (2007);
Área foliar	Souza (2000); Cavalcante <i>et al.</i> (2001); Cavalcante <i>et al.</i> (2002); Yano-Melo <i>et al.</i> (2003); Silva <i>et al.</i> (2004); Anjos <i>et al.</i> (2005); Santos <i>et al.</i> (2008a); Manoharan <i>et al.</i> (2010)
Área foliar específica e Razão de área foliar	Barbieri Jr. <i>et al.</i> (2007)
Biomassa seca	Cavalcante <i>et al.</i> (2001); Chu <i>et al.</i> (2001); Cavalcante <i>et al.</i> (2002); Yano-Melo <i>et al.</i> (2003); Silva <i>et al.</i> (2004); Anjos <i>et al.</i> (2005); Chaves & Borges (2005); Tristão <i>et al.</i> (2006); Farias <i>et al.</i> (2008); Santos <i>et al.</i> (2008a); Silva <i>et al.</i> (2008a); Guissou (2009); Matsubara <i>et al.</i> (2009); Souza <i>et al.</i> (2010); Manoharan <i>et al.</i> (2010); Ratti <i>et al.</i> (2010); Gogoi & Singh (2011); Latef & Chaoxing (2011)
Biomassa fresca	Souza <i>et al.</i> (2010); Yano-Melo <i>et al.</i> (2003); Silva <i>et al.</i> (2004); Tristão <i>et al.</i> (2006); Ratti <i>et al.</i> (2010)
Peso de frutos, nº de sementes/fruto, nº de frutos/ha	Silva (2006); Latef & Chaoxing (2011)
Taxa de crescimento relativo	Chu <i>et al.</i> (2001); Barbieri Jr. <i>et al.</i> (2007); Silva <i>et al.</i> (2008a)
Concentração/conteúdo de nutrientes	Souza (2000); Chu <i>et al.</i> (2001); Yano-Melo <i>et al.</i> (2003); Santos <i>et al.</i> (2008a); Guissou (2009); Ratti <i>et al.</i> (2010); Souza <i>et al.</i> (2010); Gogoi & Singh (2011); Latef & Chaoxing (2011);
Eficiência de utilização de P	Chaves & Borges (2005); Tristão <i>et al.</i> (2006)
Teores de pigmentos fotossintéticos	Tristão <i>et al.</i> (2006); Manoharan <i>et al.</i> (2010); Ratti <i>et al.</i> (2010); Gogoi & Singh (2011); Latef & Chaoxing (2011)
Atividade enzimática	Tristão <i>et al.</i> (2006); Khalafaallah & Abo-Ghalia (2008); Ratti <i>et al.</i> (2010); Latef & Chaoxing (2011)
Produção de metabólitos primários	Khalafaallah & Abo-Ghalia (2008); Matsubara <i>et al.</i> (2009); Manoharan <i>et al.</i> (2010); Ratti <i>et al.</i> (2010)

Produção de metabólitos secundários Freitas *et al.* (2004); Toussaint *et al.* (2007); Chaudhary *et al.* (2008); Silva *et al.* (2008b); Araim *et al.* (2009); Ceccarelli *et al.* (2010); Zubek *et al.* (2010); Geneva *et al.* (2010); Ratti *et al.* (2010)

## 2.2. Fungos micorrízicos arbusculares e Compostos bioativos

Os vegetais são capazes de produzir diversas substâncias não essenciais para a manutenção da vida, mas que garantem vantagens para a sobrevivência e a perpetuação da espécie; tais compostos são denominados metabólitos secundários (Santos, 2007) e atuam nas plantas como compostos de defesa contra herbívoros e patógenos, como atrativos de polinizadores ou dispersores de sementes e como protetores contra a radiação ultravioleta (Taiz & Zeiger, 2004).

Os produtos do metabolismo secundário dos vegetais constituem importante fonte de agentes terapêuticos que são usados há muito tempo, principalmente em países em desenvolvimento, considerando que 60 a 80 % da população dependem exclusivamente desses agentes para os cuidados básicos em saúde (Ramos *et al.*, 2008; Agra *et al.*, 2007).

O Brasil é rico em espécies vegetais nativas que produzem compostos bioativos. Várias dessas espécies são encontradas na região Nordeste, cuja vegetação típica de Caatinga apresenta diversas espécies com propriedades medicinais (Silva *et al.*, 2005; Ramos *et al.*, 2008; Agra *et al.*, 2007). Além das espécies nativas, muitas plantas cultivadas com fins agrônômicos também são utilizadas para fins terapêuticos pela população do semi-árido (Agra *et al.*, 2008).

O conteúdo de metabólitos secundários e, conseqüentemente, dos princípios ativos em plantas com potencial medicinal pode ser influenciado por diversos fatores como sazonalidade, ciclo dia/noite, idade e desenvolvimento da planta, disponibilidade de nutrientes, índice pluviométrico, temperatura, radiação ultravioleta, altitude, composição atmosférica, estímulos mecânicos e ataques de patógenos (Gobbo-Neto & Lopes, 2007). Além disso, a inoculação de plantas com FMA também pode alterar a produção de tais compostos (Tabela 2). Vários trabalhos comprovam a eficiência micorrízica em maximizar a produção de metabólitos primários e secundários em diversas espécies vegetais (Manoharan *et al.*, 2010; Rapparini *et al.*, 1996; Huang *et al.*, 2011; Khalafallah & Abo-Ghaila, 2008; Ratti *et al.*, 2010; Araim *et al.*, 2009; Nell *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2008b; Khaosaad *et al.*, 2006; Toussaint *et al.*, 2007; Zhu & Yao, 2004).

**Tabela 2.** Influência de fungos micorrízicos arbusculares na produção de fitoquímicos em diversas espécies vegetais

Planta hospedeira	Fitoquímicos avaliados	FMA	Efeito	Referência
<b>Compostos fenólicos</b>				
<i>Allium cepa</i> L.	Fenóis totais	Mix ( <i>Glomus claroideum</i> , <i>Glomus microaggregatum</i> , <i>G. mosseae</i> , <i>G.</i>	(0)	Perner <i>et al.</i> (2008)

		<i>intraradices</i> )		
<i>Annona squamosa</i> L.	Flavonóides totais	<i>Acaulospora longula</i> <i>Gigaspora albida</i>	(0) (+)	Lima <i>et al.</i> (2011)
<i>Cynara cardunculus</i> L. var. <i>scolymus</i> F.	Fenóis e atividade antioxidante	<i>G. intraradices</i> <i>G. mosseae</i> <i>Glomus mix</i>	(+) (0) (+)	Ceccarelli <i>et al.</i> (2010)
<i>Echinacea purpurea</i> L.	Fenóis	<i>G. intraradices</i>	(+)	Araim <i>et al.</i> (2009)
<i>Lolium multiflorum</i> Lam.	Flavonóides	<i>G. intraradices</i>	(-)	Ponce <i>et al.</i> (2009)
<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.	Fenóis solúveis	<i>Glomus versiforme</i>	(+)	Zhu & Yao (2004)
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Fr. Engler Allemão	Flavonóides e fenóis	<i>A. longula</i> <i>G. albida</i>	(+) (0)	Oliveira & Silva (2011)
<i>M. urundeuva</i>	Proantocianidina	<i>A. longula</i> <i>G. albida</i>	(+) (0)	Oliveira <i>et al.</i> (2011a)
<i>M. urundeuva</i>	Taninos totais	<i>A. longula</i> <i>G. albida</i>	(0) (0)	Oliveira <i>et al.</i> (2011b)
<i>Ocimum basilicum</i> L.	Ácido rosmarínico e caféico, fenóis e compostos de óleos essenciais	<i>G. mosseae</i>	(0)	Toussaint <i>et al.</i> (2008)
<i>O. basilicum</i>	Ácido rosmarínico e caféico	<i>Glomus caledonium</i> <i>G. mosseae</i> <i>G. intraradices</i>	(+) (+) (0)	Toussaint <i>et al.</i> (2007)
<i>Salvia officinalis</i> L.	Fenóis totais e flavonóides totais	<i>G. intraradices</i>	(-)	Geneva <i>et al.</i> (2010)
<i>S. officinalis</i>	Fenóis totais, ácido rosmarínico e óleo essencial	Symbivit (mix de 6 espécies de <i>Glomus</i> ) <i>G. mosseae</i> <i>G. intraradices</i>	(0) (0) (0)	Nell <i>et al.</i> (2009)
<i>Trifolium pratense</i> L.	Isoflavonas totais	<i>G. mosseae</i>	(0)	Khaosaad <i>et al.</i> (2008)
<i>Valeriana officinalis</i> L.	Ácidos sesquiterpênicos	<i>G. mosseae</i> <i>G. intraradices</i> Mix (seis espécies de <i>Glomus</i> )	(0) (+) (+)	Nell <i>et al.</i> (2010)
<b>Terpenos</b>				
<i>Anethum graveolens</i> L. <i>Trachyspermum ammi</i> (Linn.) Sprague	Óleo essencial	<i>G. macrocarpum</i> <i>G. fasciculatum</i>	(+) (+)	Kapoor <i>et al.</i> (2002)
<i>Artemisia annua</i> L.	Óleo essencial e artemisinina	<i>Glomus macrocarpum</i> <i>G. fasciculatum</i>	(+) (+)	Chaudhary <i>et al.</i> (2008)
<i>A. annua</i>	Artemisinina	<i>G. macrocarpum</i> <i>G. fasciculatum</i>	(+) (+)	Kapoor <i>et al.</i> (2007)
<i>Chlorophytum borivilianum</i> Santapau & Fernandes	Saponinas	<i>Glomus fasciculatum</i> <i>G. intraradices</i>	(+) (+)	Dave & Tarafdar (2011)

		<i>G. mosseae</i>	(+)	
<i>Foeniculum vulgare</i> Mill	Óleo essencial	<i>G. macrocarpum</i> <i>G. fasciculatum</i>	(+) (+)	Kapoor <i>et al.</i> (2004)
<i>Hordeum vulgare</i> L. cv. salome	Derivados de cicloexanona	<i>G. mosseae</i>	(+)	Vierheilig <i>et al.</i> (2000)
<i>Triticum aestivum</i> L. cv. hatri		<i>G. rosea</i>	(+)	
<i>Zea mays</i> L. cv. garant		<i>G. intraradices</i>	(+)	
<i>Hordeum vulgare</i> L. cv. salome <i>T. aestivum</i> cv. hatri <i>Secale cereale</i> L. cv. petka <i>Avena sativa</i> L. cv. salvator	Derivado de cicloexanona (Blumenin)	<i>G. intraradices</i>	(+)	Maier <i>et al.</i> (1995)
<i>Inula ensifolia</i> L.	Derivados de timol: “10-isobutiriloxi-8,9-epoxitimol isobutirato” e mistura de “10-(2-metilbutiriloxi)-8,9-epoxitimol. Isobutirato” e “10-isovaleroiloxi-8,9-epoxitimol isobutirato”	<i>G. intraradices</i> <i>G. clarum</i> Inóculo bruto	(0) (0) (0)	Zubek <i>et al.</i> (2010)
<i>I. ensifolia</i>	Derivados de timol: “7-isobutiriloxitimol éter metílico”	<i>G. intraradices</i> <i>G. clarum</i> Inóculo bruto	(-) (-) (-)	Zubek <i>et al.</i> (2010)
<i>Mentha arvensis</i> L.	Óleo essencial e mentol	<i>G. clarum</i> <i>G. etunicatum</i> <i>G. margarita</i> <i>Acaulospora scrobiculata</i>	(+) (+) (+) (+)	Freitas <i>et al.</i> (2004)
<i>Mentha viridis</i> L.	Óleo essencial	<i>G. etunicatum</i> <i>G. lamellosum</i>	(+) (+)	Karagiannidis <i>et al.</i> (2011)
<i>Origanum onites</i> L.	Óleo essencial	<i>G. etunicatum</i> <i>G. lamellosum</i>	(+) (0)	Karagiannidis <i>et al.</i> (2011)
<i>O. basilicum</i>	Óleo essencial	<i>G. intraradices</i> <i>G. etunicatum</i> <i>G. fasciculatum</i>	(+) (+) (+)	Rasouli-Sadaghiani <i>et al.</i> (2010)
<i>O. basilicum</i> var. <i>genovese</i>	Compostos de óleo essencial: Acetato de bornil Eugenol metílico $\delta$ -Cadineno	<i>G. mosseae</i> <i>Gigaspora margarita</i> <i>Gigaspora rosea</i>	(0) (+) (+)	Copetta <i>et al.</i> (2007)
<i>O. basilicum</i> var. <i>genovese</i>	Óleo essencial	<i>G. mosseae</i> <i>G. margarita</i> <i>G. rosea</i>	(0) (-) (0)	Copetta <i>et al.</i> (2006)
<i>Origanum vulgare</i> var. <i>cona</i> <i>O. vulgare</i> b13/2	Óleo essencial	<i>G. mosseae</i>	(+)	Khaosaad <i>et al.</i> (2006)
<i>Pogostemon cablin</i> Benth	Óleo essencial	<i>G. aggregatum</i> <i>G. fasciculatum</i> <i>G. intraradices</i> <i>G. mosseae</i>	(+) (+) (+) (+)	Singh <i>et al.</i> (2011)
<i>T. aestivum</i> cv. <i>caprimus</i>	Derivado de cicloexanona	<i>G. intraradices</i>	(+)	Fester <i>et al.</i>

	(Blumenin) e hidroxicinamato (4-coumaroylputrescina)			(1999)
<i>Zingiber officinale</i> L.	Óleo-resina	<i>Scutellospora heterogama</i>	(+)	Silva <i>et al.</i> (2008b)
		<i>Gigaspora decipiens</i>	(+)	
		<i>Acaulospora koskei</i>	(+)	
		<i>Entrophospora colombiana</i>	(+)	
		Mix dos 4 isolados	(+)	
<b>Compostos nitrogenados</b>				
<i>Catharantus roseus</i> (L.) G. Don	Alcalóides	<i>G. aggregatum</i>	(+)	Ratti <i>et al.</i> (2010)
		<i>G. fasciculatum</i>	(+)	
		<i>G. intraradices</i>	(0)	
		<i>G. mosseae</i>	(+)	

(+) Aumento; (-) Redução; (0) Sem alteração

Os FMA influenciam quantitativamente (Ceccarelli *et al.*, 2010) e qualitativamente (Freitas *et al.*, 2004; Ponce *et al.* 2004) a produção de compostos bioativos; como exemplo, a inoculação de *Z. officinale* com diferentes isolados de FMA resultou na produção diferencial de óleo-resina (Silva *et al.*, 2008b).

A eficiência micorrízica em aumentar a produção de compostos secundários pode variar de acordo com a combinação hospedeiro-FMA. Plantas de *C. cardunculus* var. *scolymus* acumularam mais compostos fenólicos e apresentaram maior atividade antioxidante quando inoculadas com *G. intraradices*, em relação às associadas com *G. mosseae* (Ceccarelli *et al.*, 2010). O oposto ocorreu em plantas de *O. basilicum*, as quais associadas com *G. mosseae* concentraram mais ácido rosmarínico e caféico do que as plantas em simbiose com *G. intraradices* (Toussaint *et al.* 2007). *Glomus mosseae* também foi mais eficiente em aumentar a concentração de saponinas em *C. borivilianum* do que *G. fasciculatum* e *G. intraradices* (Dave & Tarafdar, 2011).

As concentrações dos metabólitos secundários podem ser afetadas nos diversos órgãos das plantas micorrizadas, como raízes (Nell *et al.*, 2010; Zhu & Yao, 2004), rizomas (Silva *et al.*, 2008), tubérculos (Dave & Tarafdar, 2011), folhas (Copetta *et al.*, 2007), flores (Ceccarelli *et al.*, 2010) e frutos (Kapoor *et al.*, 2002). No entanto, os mecanismos que alteram a produção de metabólitos secundários ainda não estão claros (Toussaint, 2007). Foi observado que o acúmulo de flavonóides em raízes de *Medicago sativa* L. é induzido antes da colonização e é dependente da fase de desenvolvimento da simbiose e do FMA que está colonizando a planta (Larose *et al.*, 2002). Kapoor *et al.* (2007) observaram correlação positiva entre densidade de tricomas glandulares e concentração de artemisinina em folhas de *A. annua*, sugerindo que as maiores concentrações desse composto em plantas micorrizadas estavam associadas ao maior número de tricomas foliares.

Os FMA causam alterações citológicas na planta hospedeira, como aumento no número de plastídios e mitocôndrias, que resultam na ativação do ciclo dos ácidos tricarbóxicos e das vias

biossintéticas plastidiais, aumentando assim, a produção de metabólitos primários e secundários (Lohse *et al.*, 2005; Walter *et al.*, 2000; Strack & Fester, 2006). Plantas micorrizadas mantêm menor conteúdo de substâncias reativas oxigenadas e maior atividade de enzimas e metabólitos antioxidantes, implicando em melhora do metabolismo do oxigênio reativo e, conseqüentemente, menor prejuízo oxidativo (Wu & Zou, 2009). Aumentos na produção de compostos fenólicos, terpenóides e componentes de óleos essenciais são considerados como resposta de defesa à colonização fúngica (Zubek *et al.*, 2010).

Alguns autores sugerem que maior produção de compostos secundários pode envolver diversos processos metabólicos, que podem ser mediados pela melhor absorção de P e N promovida pela simbiose (Zubek *et al.*, 2010; Toussaint *et al.*, 2007). Não está esclarecido se o aumento na concentração de compostos bioativos é consequência do efeito direto do FMA ou é resultado dos efeitos mediados pelo P. Freitas *et al.* (2004) relataram que na ausência de adubação fosfatada *G. clarum*, *G. etunicatum*, *G. margarita*, e *A. scrobiculata* proporcionaram incrementos nos teores de óleo essencial em *M. arvensis*, porém, com a adição de P tais benefícios não foram atribuídos à micorrização. Por outro lado, plantas de *O. basilicum* não micorrizadas e supridas com P aumentaram a concentração de ácido rosmarínico e caféico (Toussaint *et al.*, 2007).

A inoculação de *V. officinalis* com *G. intraradices* e uma mistura de espécies de *Glomus* favoreceu o incremento na produção de ácidos sesquiterpênicos em relação ao tratamento controle com adição de P (Nell *et al.*, 2010). No entanto, foi observado que a inoculação de *S. officinalis* com diferentes FMA não afetou a produção de fenóis totais e de ácido rosmarínico, enquanto a aplicação de P proporcionou incrementos nas concentrações desses compostos (Nell *et al.*, 2009). Tais resultados apontam para a necessidade de desenvolvimento de mais trabalhos objetivando compreender os mecanismos pelos quais os FMA interferem na produção de fitoquímicos, sobretudo em substratos com suplementação fosfática.

### 2.3. Angico-preto

*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan (angico-preto), espécie arbórea da família Mimosaceae, está presente naturalmente em diferentes regiões do Brasil e de outros países, sendo amplamente distribuída na *Caatinga* (Mattos & Seitz, 2005; Carvalho, 2002; Monteiro *et al.*, 2006a). As espécies de angico em geral crescem até 20 m de altura e apresentam de 30 a 60 cm de diâmetro de caule (Carvalho, 2002), o que justifica o uso comum dessas plantas para construção, energia, fabricação de móveis e artefatos (Mattos & Seitz, 2005; Carvalho, 2002; Monteiro *et al.*, 2006a).

O angico-preto está entre as espécies medicinais mais usadas pela população nordestina (Albuquerque & Andrade, 2002a; Albuquerque & Andrade, 2002b; Silva & Albuquerque, 2005; Almeida *et al.*, 2006; Monteiro *et al.*, 2006a). Na medicina tradicional é usada para a cura de

diarréia (Carvalho, 2002), tosse, bronquite (Agra *et al.*, 2007; Agra *et al.*, 2008), gripe (Almeida *et al.*, 2006), inflamação e cicatrização (Araújo *et al.*, 2008).

Estudos comprovam que extratos da casca do caule de *Anadenanthera macrocarpa* Brenan possuem atividade antioxidante e capacidade de sequestrar radicais livres, e que polissacarídeos provenientes da resina de *A. colubrina* possuem atividade antitumoral (Desmarchelier *et al.*, 1999; Moretão *et al.*, 2004).

As propriedades medicinais de *A. colubrina* são conferidas por compostos bioativos como triterpenos, esteróis (Gutierrez-Lugo *et al.*, 2004), polissacarídeos (Moretão *et al.*, 2003) e compostos fenólicos, como flavonóides (Gutierrez-Lugo *et al.*, 2004; Araújo *et al.*, 2008), fenóis e taninos (Monteiro *et al.*, 2005a; Monteiro *et al.*, 2006b).

Os compostos fenólicos constituem uma das principais classes de compostos secundários e possuem uma variedade de efeitos biológicos, sendo amplamente utilizados como antioxidante na indústria alimentícia ou farmacêutica (Degáspari & Waszczynskyj, 2004). Dentre os compostos fenólicos, os flavonóides e os taninos destacam-se por suas propriedades antimicrobianas, antioxidante, antiinflamatória, antiproliferativa, antialérgica, antitrombótica e antiviral (Santos & Mello, 2007; Monteiro *et al.*, 2005b; Middleton Jr. *et al.*, 2000; Tapas *et al.*, 2008).

Devido às propriedades medicinais, o angico-preto sofre grande pressão extrativista pelo uso local e pela presença de um mercado consumidor em áreas do Nordeste (Albuquerque & Andrade, 2002b). O intenso consumo, aliado à ausência de cultivo, pode levar essa planta à extinção (Albuquerque & Andrade, 2002b) e uma das alternativas para diminuir a pressão de uso da espécie seria promover o cultivo local (Monteiro *et al.*, 2006a). A aplicação de FMA em solo pobre em nutrientes pode ser uma alternativa para a produção, em tempo reduzido, de mudas de angico-preto, considerando que em condições de baixos níveis de P (até 8 mg P dm<sup>3</sup> de solo) essa espécie é dependente da simbiose micorrízica durante a fase de muda (Santana *et al.*, 2010). Mudas de *A. macrocarpa* apresentaram alta mortalidade quando cultivadas em solo esterilizado e sem FMA; de acordo com Sugai *et al.* (2011), tal comportamento indica que a espécie depende da micorrização, considerando que não sobrevive na ausência dos fungos.

Em outro trabalho, a inoculação separada de rizóbio e FMA foi suficiente para suprir as necessidades nutricionais de mudas de *A. macrocarpa*, sendo os efeitos dos FMA mais expressivos em relação ao controle (Santos *et al.*, 2008b).

Ao investigar a resposta de *A. colubrina* à fertilização mineral e à inoculação com fixadores de nitrogênio e FMA, Patreze & Cordeiro (2004) registraram que a adição de P afetou negativamente a colonização micorrízica (2 %). Por outro lado, elevada colonização de *A. colubrina* por *G. albida* foi observada tanto na presença quanto na ausência de vermicomposto (96,15 % e 94,51 %, respectivamente) (Santana, 2010).

Estudo sobre os efeitos de FMA na formação e pós-transplante de mudas de cinco espécies arbóreas nativas do sul do Brasil demonstrou que *A. colubrina* foi a única espécie beneficiada pela inoculação, com aumento da produção de biomassa seca (Vandresen *et al.*, 2007). Os autores também registraram que a inoculação sem adição de adubo proporcionou maior sobrevivência às plantas após o transplante ao campo. Portanto, a eficiência dos FMA em promover o crescimento de espécies de *Anadenanthera* está comprovada (Santana, 2010; Sugai *et al.*, 2011; Santos *et al.*, 2008b).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em potes em casa de vegetação da Universidade do Estado da Bahia (UNEB) *Campus Juazeiro*, utilizando solo do tipo latossolo, procedente de áreas de Caatinga nativa no Km 152, BR 428, em Petrolina-PE, com as seguintes características químicas: P: 4,00 (mg dm<sup>-3</sup>); K: 0,11; Ca: 1,9; Mg: 0,9; Na: 0,04; Al: 0,05 (cmol/dm<sup>3</sup>) e M. O.: 6,00 (g/kg); pH: 6,00 (H<sub>2</sub>O 1: 2,5); C.E.: 0,17 (dS/m).

#### 3.1. Material vegetal

Sementes de *Anadenanthera colubrina*, previamente tratadas com hipoclorito de sódio (NaClO-20 %) por 2 minutos e lavadas em água destilada, foram colocadas para germinar em solo desinfestado com Bromex®.

#### 3.2. FMA

Foi testada uma mistura de *Gigaspora albida* Schenck & Smith (UFPE 01) e *Acaulospora longula* Spain & Schenck (UFPE 21). Os fungos foram multiplicados em solo e composto orgânico vegetal (9:1 v/v) (Silva, 2006) em associação com raízes de *Panicum miliaceum* L. O inóculo foi mantido em 4 °C por 20 meses até a utilização.

#### 3.3. Inoculação micorrízica

Plântulas com duas folhas definitivas foram transferidas para potes com capacidade para 2 kg, contendo solo desinfestado com 5 níveis de P [4 (nível natural), 8, 15, 30 e 50 mg de P dm<sup>-3</sup> de solo, suplementado com superfosfato simples] e inoculadas na região das raízes com solo-inóculo misto fornecendo 300 esporos/pote de *G. albida* + *A. longula*. O experimento foi mantido em casa de vegetação por 150 dias sob condições controladas de temperatura (30 °C ± 2 °C). Após esse período, a parte aérea foi colhida e seca em estufa (45 °C) até atingir peso constante.

#### 3.4. Delineamento experimental

O delineamento experimental foi do tipo inteiramente casualizado em arranjo fatorial 2 x 5, sendo dois tratamentos de inoculação (com ou sem FMA) e cinco níveis de P no solo, em 5 repetições, totalizando 50 unidades experimentais.

### 3.5. Determinações bioquímicas e fitoquímicas

#### *Preparo do extrato vegetal*

Após secagem em estufa as folhas foram picotadas e maceradas em 20 mL de etanol P.A. (95 %) por 12 dias a 20 °C. Após esse período, o extrato foi filtrado em gaze, re-filtrado em papel de filtro qualitativo e armazenado em frasco âmbar (- 4 °C) (Brito *et al.*, 2008). As plantas do tratamento controle (nível natural de P = 4 mg dm<sup>3</sup> solo<sup>-1</sup>) não desenvolveram bem e tiveram poucas folhas, por isso a extração foi feita a partir de 0,02 g de folhas; nos demais tratamentos utilizou-se 0,20 g de folhas. Isso não alterou os resultados, considerando que foram expressos em concentração.

#### *Determinação de carboidratos solúveis e proteínas totais*

Os carboidratos solúveis foram determinados de acordo com Dubois *et al.* (1956), utilizando 25 µL do extrato vegetal adicionado de 95 µL de água destilada e 50 µL de fenol 80 % (p/v). A mistura foi agitada intensamente, recebeu 2 mL de ácido sulfúrico, e permaneceu em repouso por 10 minutos para posterior leitura espectrofotométrica (490 nm), utilizando-se glicose para a curva padrão.

As proteínas totais foram quantificadas a partir de 50 µL do extrato acrescido de 2,5 mL do reagente de Bradford e leitura espectrofotométrica em 595 nm, utilizando Albumina Bovina Sérica (BSA) para a curva padrão (Bradford, 1976).

#### *Determinação de fenóis, flavonóides e taninos totais*

Para determinar os fenóis totais foi empregado o método de Folin-Ciocalteu, que consistiu em adicionar 1 mL do extrato, 5 mL de reagente de Folin-Ciocalteu (10 % v/v) e 10 mL de solução de carbonato de sódio (7,5 % p/v) em balões volumétricos, sendo o volume completado para 100 mL com água destilada. O conteúdo dos balões foi misturado e após repouso de 30 minutos procedeu-se à leitura espectrofotométrica em 760 nm, utilizando-se ácido tânico para a curva padrão (Monteiro *et al.*, 2006b).

Para determinação dos flavonóides totais foi utilizado 1 mL do extrato vegetal adicionado de 0,6 mL de ácido acético glacial, 10 mL de solução de piridina-metanol (2:8 v/v) e 2,5 mL de solução de 5 % de cloreto de alumínio em metanol absoluto. A mistura foi completada para 25 mL com água destilada, permaneceu em repouso por 30 minutos e depois procedeu-se à leitura espectrofotométrica em 420 nm, utilizando-se rutina para a curva padrão (Araújo *et al.*, 2008).

Os taninos totais foram quantificados a partir da transferência de 6 mL do extrato da planta para frascos âmbar, seguida da adição de 1 g de caseína. A mistura foi mantida sob agitação por 3 horas a 25°C (160 rpm), filtrada em papel de filtro qualitativo e o volume resultante da filtração foi

completado para 25 mL com água destilada. Os fenóis restantes foram quantificados pelo método de Folin-Ciocalteu, realizando-se a leitura espectrofotométrica em 760 nm, utilizando ácido tânico para a curva padrão. A quantidade de taninos correspondeu à diferença entre os valores encontrados nessa última análise e aqueles obtidos pela determinação dos fenóis totais (Monteiro *et al.*, 2006b).

O conteúdo dos metabólitos foi calculado multiplicando-se o valor em concentração pelo peso da matéria seca da parte aérea.

### **3.6. Análises estatísticas**

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey (5 %), utilizando o programa Assistat (Assistat, 2011). Foram realizadas análises de regressão para os níveis de P.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação entre os fatores FMA x níveis de P, os quais influenciaram a produção dos compostos avaliados, com exceção dos conteúdos de fenóis totais e de taninos totais (Tabela 3).

**Tabela 3.** Níveis de significância (valores de *p*) para as variáveis estudadas, considerando os efeitos isolados dos fatores (1-Inoculação; 2- Níveis de P) e a interação 1 x 2

Variável	Fator 1	Fator 2	Interação 1 x 2
Biomassa seca da parte aérea	**	**	**
Concentração de proteínas totais	*	**	**
Conteúdo de proteínas totais	**	**	**
Concentração de carboidratos solúveis	**	ns	**
Conteúdo de carboidratos solúveis	**	ns	**
Concentração de fenóis totais	**	**	**
Conteúdo de fenóis totais	**	**	ns
Concentração de flavonóides totais	**	**	**
Conteúdo de flavonóides totais	**	**	**
Concentração de taninos totais	**	**	**
Conteúdo de taninos totais	**	**	ns

\*(*p* <0,05); \*\*(*p*<0,01); ns (não significativo)

Em plantas não associadas a FMA, a matéria seca da parte aérea (Tabela 4), a concentração e o conteúdo de flavonóides e o conteúdo de proteínas tiveram ajustes lineares, enquanto para a produção dos demais metabólitos estudados houve ajustes quadráticos (Tabelas 5 e 6). Nas plantas associadas aos FMA a produção dos metabólitos não teve ajuste significativo (Tabelas 5 e 6), com exceção das concentrações de flavonóides e de carboidratos, que apresentaram ajuste quadrático (Tabela 5), e do conteúdo de flavonóides, que teve ajuste linear (Tabela 6). Esses dados mostram que em plantas não micorrizadas a matéria seca da parte aérea e a produção de alguns metabólitos aumentaram linearmente com os níveis de P no solo, enquanto outros apresentaram modelo quadrático com ponto de máximo estimado nos níveis moderados de P. Em plantas micorrizadas os níveis de P não influenciaram a produção da maioria dos compostos estudados, como indicado pela análise de regressão.

**Tabela 4.** Matéria seca da parte aérea (g) de mudas de angico-preto, micorrizadas ou não, cultivadas em solo desinfestado com diferentes níveis de P, 150 dias após a inoculação, em casa de vegetação

Tratamentos	Níveis de P (mg/dm <sup>3</sup> de solo)					Ajuste
	4	8	15	30	50	
<b>Controle</b>	0,04 bB	0,26 bB	0,84 bA	0,91 aA	1,22 aA	Y= -250 + 0,302 x R <sup>2</sup> = 0,95 <sup>**</sup>
<b>FMA</b>	0,73 aB	1,22 aAB	1,27 aAB	0,79 aAB	1,31 aA	ns

Médias seguidas da mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem pelo teste de Tukey (5 %).

<sup>\*\*</sup> (p<0,01); ns (não significativo)

CV (%) = 35,45

**Tabela 5.** Concentração de proteínas totais, carboidratos solúveis, flavonóides totais, fenóis totais e de taninos totais foliares (mg/g planta) em mudas de angico-preto, micorrizadas ou não, cultivadas em solo desinfestado com diferentes níveis de P, 150 dias após a inoculação, em casa de vegetação

Proteínas	Níveis de P (mg/dm <sup>3</sup> de solo)					Ajuste
	4	8	15	30	50	
<b>Controle</b>	200,50 bB	312,45 aA	309,45 aA	312,95 aA	298,65 aA	Y= 105 + 124,76 x - 17,51x <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,87 <sup>**</sup>
<b>FMA</b>	311, 25 aA	307,25 aA	301,75 aA	302,75 aA	304,85 aA	ns
Carboidratos						
<b>Controle</b>	0,44 bB	1,93 bA	1,73 aA	2,13 aA	2,20 aA	Y= -0,55 + 1,33x - 0,160x <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,84 <sup>**</sup>
<b>FMA</b>	3,05 aA	2,56 aAB	1,96 aBC	1,61 aC	2,00 aBC	Y= 4,16 - 1,17x + 0,144x <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,94 <sup>**</sup>
Flavonóides						
<b>Controle</b>	0,43 bC	0,43 bC	0,58 bBC	0,92 aA	0,75 bAB	Y= 1,780 - 1,74x R <sup>2</sup> = 0,96 <sup>*</sup>
<b>FMA</b>	0,81 aB	0,70 aB	0,80 aB	0,73 bB	1,03 aA	Y= 2,458 - 3,086x + 1,854x <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,99 <sup>**</sup>
Fenóis						
<b>Controle</b>	2,64 bB	8,11 aA	7,27 aA	4,32 bB	4,02 bB	Y= -13,748 + 23,308x - 7,67x <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,99 <sup>**</sup>
<b>FMA</b>	8,59 aA	8,49 aA	8,45 aA	8,43 aA	8,68 aA	ns
Taninos						
<b>Controle</b>	2,62 bB	7,54 aA	7,45 aA	3,69 bB	3,53 b	Y= -13,42 + 22,67x - 7,45x <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,98 <sup>**</sup>
<b>FMA</b>	8,02 aA	7,99 aA	7,93 aA	7,94 aA	8,18 aA	ns

Médias seguidas da mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem pelo teste de Tukey (5 %).

<sup>\*</sup> (p < 0,05); <sup>\*\*</sup> (p < 0,01); ns (não significativo)

CV (%) = 10,64; 22,72; 16,58; 14,13; 11,54, respectivamente.

**Tabela 6.** Conteúdo de proteínas totais, carboidratos solúveis e flavonóides totais foliares (mg/planta) em mudas de angico-preto, micorrizadas ou não, cultivadas em solo desinfestado com diferentes níveis de P, 150 dias após a inoculação, em casa de vegetação

Proteínas	Níveis de P (mg/dm <sup>3</sup> de solo)					Ajuste
	4	8	15	30	50	
<b>Controle</b>	8,16 bB	8,05 bB	255,40 bA	282,81 aA	359,14 aA	Y= -84,80 + 90,17x R <sup>2</sup> = 0,99**
<b>FMA</b>	227,03 aB	375,31 aAB	384,59 aAB	239,97 aAB	402,08 aA	ns
Carboidratos						
<b>Controle</b>	0,07 bB	0,52 bB	1,35 bAB	1,95 aA	2,57 aA	Y= 0,68 + 0,656x - 0,0006x <sup>2</sup> R <sup>2</sup> =0,99 <sup>†</sup>
<b>FMA</b>	2,23 aAB	3,15 aA	2,44 aAB	1,27 aB	2,75 aA	ns
Flavonóides						
<b>Controle</b>	0,02 bB	0,11 bB	0,48 bAB	0,82 aA	0,94 bA	Y= -0,293 + 0,255x R <sup>2</sup> = 0,96**
<b>FMA</b>	0,60 aB	0,86 aB	1,02 aAB	0,57 aB	1,37 aA	Y= 3,078 - 5,38x R <sup>2</sup> = 0,99**

Médias seguidas da mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem pelo teste de Tukey (5 %).

\* ( $p < 0,05$ ); \*\* ( $p < 0,01$ ); ns (não significativo)

CV (%) = 35,85; 40,65; 39,67, respectivamente

No menor nível de P, a inoculação micorrízica promoveu incremento de 1.725 % na matéria seca da parte aérea em relação ao tratamento controle. Tal incremento diminuiu na medida em que se aumentou o nível de P no solo (Tabela 4). Resultados semelhantes foram registrados por Aguiar *et al.* (2004) e Machineski *et al.* (2011) em mudas de *Prosopis juliflora* (Sw) DC e *Ricinus communis* L, respectivamente.

A adição de apenas 8 mg de P por dm<sup>-3</sup> de solo, associado à micorrização promoveu crescimento similar ao registrado em plantas não micorrizadas e cultivadas em solo com 50 mg de P dm<sup>-3</sup> (Tabela 4), sugerindo a possibilidade de utilização de FMA para aumentar o crescimento vegetal e reduzir o uso de fertilizantes químicos (Tanu *et al.*, 2006).

A produção de proteínas e de carboidratos, tanto em concentração como em conteúdo, foi favorecida pela inoculação com FMA, porém tal benefício foi mitigado nos maiores níveis de P testados (Tabelas 5 e 6). A micorrização pode ser alternativa para a produção de mudas com teores mais elevados de metabólitos primários sem necessidade de utilizar fertilizantes fosfatados. Resultados semelhantes foram obtidos em outras situações (Vázquez *et al.*, 2001; Ratti *et al.*, 2010; Manoharan *et al.*, 2010; Khalafallaah & Abo-Ghali, 2008; Huang *et al.*, 2011). É possível que esse benefício esteja relacionado com a melhor nutrição vegetal (Morgan *et al.*, 2005; Miransari, 2011).

Diferente do registrado para os metabólitos primários (proteínas e carboidratos), a concentração de flavonóides, de fenóis e de taninos totais foi favorecida pela micorrização mesmo nos níveis mais altos de P (Tabela 5). Aparentemente há efeito sinérgico da aplicação conjunta de P e inoculação micorrízica e a presença do FMA é essencial para maximizar a produção desses compostos em plantas de *A. colubrina*.

O efeito da ação conjunta da inoculação micorrízica e do P sobre a produção de outros compostos bioativos como óleos essenciais (Kapoor *et al.*, 2002 e 2004), artemisinina (Kapoor *et*

*al.*, 2007), compostos fenólicos (Toussaint *et al.*, 2007) e óleo resina (Silva *et al.*, 2008) está documentado. No presente ensaio verificou-se que o benefício pode variar com o tratamento de inoculação. Estudos têm demonstrado que sem FMA a fertilização não é suficiente para induzir aumento na concentração de óleo essencial em *O. vulgare* var. cona e de artemisinina em *A. annua*, em comparação com plantas micorrizadas, indicando a participação direta da simbiose no processo e não apenas a melhoria no estado nutricional das plantas (Khaosaad *et al.*, 2006; Kapoor *et al.* 2007).

O aumento na produção dos compostos estudados pode estar relacionado a alterações citológicas causadas pelo FMA, como aumento no número de algumas organelas que resultam na ativação do ciclo dos ácidos tricarbóxicos e das vias biossintéticas plastidiais, responsáveis pela produção de subprodutos utilizados na síntese de compostos fenólicos (Lohse *et al.*, 2005; Walter *et al.*, 2000; Strack & Fester, 2006; Santos, 2007). Além disso, é conhecido que há produção de diversos metabólicos quando a absorção de P é otimizada (Zubek *et al.*, 2010; Toussaint *et al.*, 2007).

Os incrementos induzidos pela inoculação, sem adição fosfática, para as concentrações de flavonóides, de fenóis e de taninos foliares alcançaram 88,4 %, 225,4 % e 206,1 %, respectivamente, em relação ao controle não inoculado (Tabela 5). Esses dados sugerem que a micorrização se torna indispensável quando o objetivo é produzir plantas de *A. colubrina* com maiores concentrações de compostos bioativos.

Ao contrário dos resultados obtidos nesse estudo, Nell *et al.* (2009) observaram que plantas de *S. officinalis* fertilizadas concentraram mais compostos fenólicos do que plantas micorrizadas. No entanto, vários trabalhos comprovam o potencial dos FMA em aumentar a produção de fenóis em diversas plantas (Cecarelli *et al.*, 2010; Araim *et al.*, 2009; Toussaint *et al.*, 2007; Zhu & Yao, 2004).

Mudas de *A. colubrina* micorrizadas e cultivadas sem adição de P produziram 8,59 (mg/g planta) de fenóis (Tabela 5), valor inferior ao registrado em mudas de *E. purpurea* (25,04 mg/g planta) e superior ao obtido em mudas de *S. officinalis* (0,03 mg/g planta) e de *A. cepa* (1,15 mg/g) inoculadas com *G. intraradices* (Araim *et al.*, 2009; Geneva *et al.*, 2010; Perner *et al.*, 2008). Tal resultado indica que folhas de *A. colubrina* micorrizadas podem servir como fonte para extração de compostos fenólicos.

No presente estudo a concentração e o conteúdo de flavonóides totais foi aumentado em plantas micorrizadas na maioria dos níveis de P (Tabelas 5 e 6), como mencionado em outras pesquisas (Larose *et al.*, 2002; Castellanos-Morales *et al.*, 2010). No entanto, em algumas situações foi evidenciado que a inoculação micorrízica pode reduzir a produção de flavonóides (Geneva *et al.*, 2010; Ponce *et al.*, 2009).

Independentemente da fertilização, a inoculação foi eficiente em aumentar os conteúdos de fenóis e de taninos totais (Tabela 7), sendo o potencial dos FMA em aumentar a produção de compostos secundários relatado por diversos autores (Dave & Tarafdar, 2011; Karagiannidis *et al.*, 2011; Ceccarelli *et al.*, 2010; Rasouli-Sadaghiani *et al.*, 2010; Chaudhary *et al.*, 2008).

**Tabela 7.** Conteúdo de fenóis totais e de taninos totais foliares (mg/planta) em mudas de angico-preto, micorrizadas ou não, independentemente dos níveis de P, 150 dias após a inoculação, em casa de vegetação

Tratamentos de inoculação	Variáveis	
	Fenóis totais	Taninos totais
Controle	3,47 b	3,19 b
FMA	9,11 a	8,56 a
CV (%)	37,67	36,57

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem pelo teste de Tukey (5 %).

Independentemente do tratamento de inoculação, a adição de P aumentou os conteúdos de fenóis e de taninos, com maior incremento nos tratamentos que receberam adição de 15 e 50 mg/dm<sup>3</sup> (Tabela 8). A produção de compostos bioativos em *O. basilicum* e *A. annua* também foi favorecida pela suplementação fosfática (Toussaint *et al.*, 2007; Kapoor *et al.*, 2007).

**Tabela 8.** Conteúdo de fenóis totais e taninos totais foliares (mg/planta) em mudas de angico-preto cultivadas em solo desinfestado com diferentes níveis de P, independentemente do tratamento de inoculação, 150 dias após a inoculação, em casa de vegetação

Variáveis	Níveis de P (mg/dm <sup>3</sup> de solo)					CV (%)
	4	8	15	30	50	
Fenóis totais	3,19 c	6,24 ab	8,51 a	5,30 bc	8,21 ab	37,67
Taninos totais	2,98 c	5,87 ab	8,12 a	4,82 bc	7,58 a	36,57

Médias seguidas da mesma letra na linha, não diferem pelo teste de Tukey (5 %).

A produção de plantas medicinais com maior concentração de compostos fenólicos agrega valor à matéria prima vegetal, o que é mais atrativo para o mercado fitoterápico, além de contribuir para diminuir o uso extrativista dessas plantas pela população. Estudos em campo devem ser conduzidos para confirmar, em maior escala, os resultados obtidos neste ensaio.

## 5. CONCLUSÕES

1. A inoculação micorrízica e os níveis de P no solo influenciam a produção de metabólitos primários e secundários foliares em mudas de *A. colubrina*.
2. A utilização de FMA associado à suplementação fosfática aumenta a produção de carboidratos solúveis e de proteínas totais foliares em mudas de *A. colubrina*, com os benefícios dependentes da concentração de  $P_2O_5$  adicionada ao solo.
3. A maximização da produção de fenóis, flavonóides e de taninos totais em mudas de *A. colubrina* é obtida a partir da utilização conjunta de FMA e adição de P.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Agra, M. F., Freitas, P. F., Barbosa-Filho, J. M. 2007. Synopsis of the plants known as medicinal and poisonous in Northeast of Brazil. *Brazilian Journal of Pharmacognosy* 17: 114-140.
- Agra, M. F., Silva, K. N., Basílio, I. J. L. D., Freitas, P. F., Barbosa-Filho, J. M. 2008. Survey of medicinal plants used in the region Northeast of Brazil. *Brazilian Journal of Pharmacognosy* 18: 472-508.
- Aguiar, R. L. F., Maia, L. C., Salcedo, I. H., Sampaio, E.V. S. B. 2004. Interação entre fungos micorrízicos arbusculares e fósforo no desenvolvimento da algaroba [*Prosopis juliflora* (Sw) DC]. *Revista Árvore* 28: 589-598.
- Albuquerque, U. P., Andrade, L. H. C. 2002a. Uso de recursos vegetais da Caatinga: o caso do agreste do estado de Pernambuco (nordeste do Brasil). *Interciencia* 27: 336-346.
- Albuquerque, U. P., Andrade, L. H. C. 2002b. Conhecimento botânico tradicional e conservação em uma área de caatinga no estado de Pernambuco, nordeste do Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 16: 273-285.
- Almeida, C. F. C. B. R., Amorim, E. L. C., Albuquerque, U. P., Maia, M. B. S. 2006. Medicinal plants popularly used in the Xingó region – a semi-arid location in Northeastern Brazil. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 2: 1-7.
- Anjos, E. C. T., Cavalcante, U. M. T., Santos, V. F., Maia, L. C. 2005. Produção de mudas de maracujazeiro-doce micorrizadas em solo desinfestado e adubado com fósforo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 40: 345-351.
- Araim, G., Saleem, A., Arnason, J. T., Charest, C. 2009. Root colonization by an arbuscular mycorrhizal (AM) fungus increases growth and secondary metabolism of purple coneflower, *Echinacea purpurea* (L.) Moench. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57: 2255-2258.
- Araújo, T. A. S., Alencar, N. L., Amorim, E. L. C., Albuquerque, U. P. 2008. A new approach to study medicinal plants with tannins and flavonoids contents from the local knowledge. *Journal of Ethnopharmacology* 120: 72-80.
- Assistat 7.6 beta. 2011. Registro INPI 0004051-2. <http://www.assistat.com>
- Barbieri Júnior, D., Braga, L. F., Roque, C. G., Sousa, M. P. 2007. Análise de crescimento de *Hymenaea courbaril* L. sob efeito da inoculação micorrízica e adubação fosfatada. *Revista de Ciências Agro-Ambientais* 5: 1-15.
- Berbara, R. L. L., Souza, F. A., Fonseca, H. M. A. C. 2006. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: Fernandes, M. S. (ed.) *Nutrição Mineral de Plantas*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, pp. 53-78.
- Bever, J. D., Kang, H. J., Kaonongbua, W., Wang, M. 2008. Genomic organization and mechanisms of inheritance in arbuscular mycorrhizal fungi: contrasting the evidence and implications of current theories. In: Varma, A. (ed.) *Mycorrhiza*. Third edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp.135-148.
- Biermann, B., Linderman, R. G. 1983. Use of vesicular-arbuscular mycorrhizal roots, intraradical vesicles and extraradical vesicles as inoculum. *New Phytologist* 95: 97-105.
- Bonfante, P., Balestrini, R., Genre, A., Lanfranco, L. 2009. Establishment and functioning of arbuscular mycorrhizas. In: Deising, H. B. (ed.). *The Mycota, V: Plant Relationships*, 2<sup>nd</sup> edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp.259-274.
- Brito, H. O., Noronha, E. P., França, L. M., Brito, L. M. O., Prado, S. A. 2008. Análise da composição fitoquímica do extrato etanólico das folhas de *Annona squamosa* (ATA). *Revista Brasileira de Farmácia* 89: 180-184.
- Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72: 248-254.

- Carvalho, P. E. R. 2002. Angico-branco. *Embrapa Florestas*. Circular Técnica, 56, 10p.
- Castellanos-Morales, V., Villegas, J., Wendelin, S., Vierheilig, H., Eder, R., Cárdenas-Navarro, R. 2010. Root colonization by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* alters the quality of strawberry fruits (*Fragaria x ananassa* Duch.) at different nitrogen levels. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90: 1774-1782.
- Cavalcante, U. M. T., Maia, L. C., Melo, A. M. M., Santos, V. F. 2002. Influência da densidade de fungos micorrízicos arbusculares na produção de mudas de maracujazeiro-amarelo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37: 643-649.
- Cavalcante, U. M. T., Maia, L. C., Nogueira, R. J. M. C., Santos, V. F. 2001. Respostas fisiológicas em mudas de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims. F. *flavicarpa* Deg.) inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e submetidas a estresse hídrico. *Acta Botanica Brasílica* 15: 379-390.
- Ceccarelli, N., Curadi, M., Martelloni, L., Sbrana, C., Picciarelli, P., Giovannetti, M. 2010. Mycorrhizal colonization impacts on phenolic content and antioxidant properties of artichoke leaves and flower heads two years after Field transplant. *Plant and Soil* 335: 311-323.
- Chandanie, W. A., Kubota, M., Hyakumachi, M. 2009. Interactions between the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* and plant growth-promoting fungi and their significance for enhancing plant growth and suppressing damping-off of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Applied Soil Ecology* 41: 336-341.
- Chaudhary, V., Kapoor, R., Bhatnagar, A. K. 2008. Effectiveness of two arbuscular mycorrhizal fungi on concentrations of essential oil and artemisinin in three accessions of *Artemisia annua* L. *Applied Soil Ecology* 40: 174-181.
- Chaves, L. F. C., Borges, R. C. G. 2005. Eficiência micorrízica na produção de mudas de jacarandá-da Bahia cultivadas em diferentes doses de fósforo. *Acta Scientiarum Agronomy* 27: 587-594.
- Christie, P., Li, X., Chen, B. 2004. Arbuscular mycorrhiza can depress translocation of zinc to shoots of host plants in soils moderately polluted with zinc. *Plant and Soil* 261: 209-217.
- Chu, E. Y., Moller, M. R. F., Carvalho, J. G. de. 2001. Efeitos da inoculação micorrízica em mudas de gravioleira em solo fumigado e não fumigado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 36: 671-680.
- Chu, E. Y., Yared, J. A. G., Maki, H. J. O. 2004. Efeitos da inoculação micorrízica e da adubação fosfatada em mudas de *Vochysia máxima* Ducke. *Revista Árvore* 28: 157-165.
- Copetta, A., Lingua, G., Berta, G. 2006. Effects of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs, and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. var. *Genovese*. *Mycorrhiza* 16: 485-494.
- Copetta, A., Lingua, G., Bardi, L., Masoero, G., Berta, G. 2007. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and essential oil composition in *Ocimum basilicum* var. *Genovese*. *Caryologia* 60: 106-110.
- Dave, S., Tarafdar, J. C. 2011. Stimulatory synthesis of saponin by mycorrhizal fungi in safed musli (*Chlorophytum borivilianum*) tubers. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science* 1: 137-141.
- Degáspari, C. H., Waszczynskyj, N. 2004. Propriedades antioxidantes de compostos fenólicos. *Visão Acadêmica* 5: 33-40.
- Desmarchelier, C., Romão, R. L., Coussio, J., Ciccía, G. 1999. Antioxidant and free radical scavenging activities in extracts from medicinal trees used in the 'Caatinga' region in northeastern Brazil. *Journal of Ethnopharmacology* 67: 69-77.
- De Souza, F. A. de, Silva, I. C. L. da, Berbara, R. L. L. 2008. Fungos micorrízicos arbusculares: muito mais diversos do que se imaginava. In: Moreira, F. M. S., Siqueira, J. O., Brussaard, L. (eds.) *Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros*. Lavras, Ed. UFLA, pp. 483-536.
- Driver, J. D., Holben, W. E., Rillig, M. C. 2005. Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology & Biochemistry* 37: 101-106.
- Dubois, M., Guiles, A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., Amith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry* 28: 350-355.

- Evelin, H., Kapoor, R., Giri, B. 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review. *Annals of Botany* 104: 1263-1280.
- Farias, S. G. G., Freire, A. L. O., Santos, D. R., Silva, R. B., Freire, J. L. O. 2008. Respostas de plantas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) inoculadas com fungos micorrízicos e submetidas ao estresse hídrico. *Engenharia Ambiental* 5: 36-46.
- Fester, T., Maier, W., Strack, D. 1999. Accumulation of secondary compounds in barley and wheat roots in response to inoculation with an arbuscular mycorrhizal fungus and co-inoculation with rhizosphere bacteria. *Mycorrhiza* 8: 241-246.
- Franken, P. 2010. Molecular-physiological aspects of the AM symbiosis post penetration. In: Koltai, H., Kapulnik, Y. (eds.) *Arbuscular mycorrhizas: physiology and function*. Springer, pp. 96-116.
- Freitas, M. S. M., Martins, M. A., Vieira, I. J. C. 2004. Produção de óleos essenciais de *Mentha arvensis* em resposta à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39: 887-894.
- Gaur, A., Adholeya, A. 2004. Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *Current Science* 86: 528-534.
- Geneva, M. P., Stancheva, I. V., Boychinova, M. N., Mincheva, N. H., Yonova, P. A. 2010. Effects of foliar fertilization and arbuscular mycorrhizal colonization on *Salvia officinalis* L. growth, antioxidant capacity, and essential oil composition. *Journal of the Science of food and agriculture* 90: 696-702.
- Giovannetti, M., Sbrana, C., Logi, C. 1994. Early processes involved in host recognition by arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist* 127: 703-709.
- Gobbo-Neto, L., Lopes, N. 2007. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. *Química Nova* 30: 374-381.
- Gogoi, P., Singh, R. K. 2011. Differential effect of some arbuscular mycorrhizal fungi on growth of *Piper longum* L. (Piperaceae). *Indian Journal of Science and Technology* 4: 119-125.
- Guissou, T. 2009. Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to growth and nutrient uptake by jujube and tamarind seedlings in a phosphate (P)-deficient soil. *African Journal of Microbiology Research* 3: 297-304.
- Gutierrez-Lugo, M. T., Deschamps, J. D., Holman, T. R., Suarez, E., Timmermann, B. N. 2004. Lipoygenase inhibition by anadanthoflavone, a new flavonoid from the aerial parts of *Anadenanthera colubrine*. *Planta Medica* 70: 263-265.
- Harrison, M. J. 2005. Signaling in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Annual Review of Microbiology* 59: 19-42.
- Hijri, M., Sanders, I. 2005. Low gene copy number shows that arbuscular mycorrhizal fungi inherit genetically different nuclei. *Nature* 433: 160-163.
- Huang, Z., Zou, Z., He, C., He, Z., Zhang, Z., Li, J. 2011. Physiological and photosynthetic responses of melon (*Cucumis melo* L.) seedlings to three *Glomus* species under water deficit. *Plant and Soil* 339: 391-399.
- Janos, D. P. 2007. Plant responsiveness to mycorrhizas differs from dependence upon mycorrhizas. *Mycorrhiza* 17: 75-91.
- Kapoor, R., Giri, B., Mukerji, K. G. 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. *Bioresource Technology* 93: 307-311.
- Kapoor, R., Chaudhary, V., Bhatnagar, A. K. 2007. Effects of arbuscular mycorrhiza and phosphorus application on artemisinin concentration in *Artemisia annua* L. *Mycorrhiza* 17: 581-587.
- Kapoor R., Giri, B., Mukerji, K. G. 2002. *Glomus macrocarpum*: a potential bioinoculant to improve essential oil quality and concentration in Dill (*Anethum graveolens* L.) and Carum (*Trachyspermum ammi* (Linn.) Sprague). *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 18: 459-463.

- Karagiannidis, T., Thomidis, T., Lazari, D., Panou-Filotheou, E., Karagiannidou, C. 2011. Effect of three Greek arbuscular mycorrhizal fungi in improving the growth, nutrient concentration, and production of essential oils of oregano and mint plants. *Scientia Horticulturae* 129: 329-334.
- Khalafallah, A. A., Abo-Ghaila, H. H. 2008. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the metabolic products and activity of antioxidant system in wheat plants subjected to short-term water stress, followed by recovery at different growth stages. *Journal of Applied Sciences Research* 4: 559-569.
- Khaosaad, T., Krenn, L., Medjakovic, S., Ranner, A., Lössl, A., Nell, M., Jungbauer, A., Vierheilig, H. 2008. Effect of mycorrhization on the isoflavone content and the phytoestrogen activity of red clover. *Journal of Plant Physiology* 165: 1161-1167.
- Khaosaad, T., Vierheilig, H., Nell, M., Zitterl-Eglseer, K., Novak, J. 2006. Arbuscular mycorrhiza alter the concentration of essential oils in oregano (*Origanum* sp., Lamiaceae). *Mycorrhiza* 16: 443-446.
- Lambais, M. R. 2006. Unraveling the signaling and signal transduction mechanisms controlling arbuscular mycorrhiza development. *Scientia Agrícola* 63: 405-413.
- Lambais, M. R., Ramos, A. C. 2010. Sinalização e transdução de sinais em micorrizas arbusculares. In: Siqueira, J. O., de Souza, F. A., Cardoso, E. J. B. N., Tsai, S. M. (eds.) *Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil*. Lavras, UFLA, pp.119-132.
- Larose G., Chênevert, R., Moutoglis, P., Gagné, S., Piché, Y., Vierheilig, H. 2002. Flavonoid levels in roots of *Medicago sativa* are modulated by the developmental stage of the symbiosis and the root colonizing arbuscular mycorrhizal fungus. *Journal of Plant Physiology* 159: 1329-1339.
- Latef, A. A. H. A., Chaoping, H. 2011. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition, antioxidant enzymes activity and fruit yield of tomato grown under salinity stress. *Scientia Horticulturae* 127: 228-233.
- Lima, C. S., Oliveira, M. S., Campos, M. A. S., Silva, F. S. B. 2011. Flavonóides totais foliares em mudas de pinheira (*Annona squamosa* L.) associadas a fungos micorrízicos arbusculares (FMA). In: *Simpósio de plantas medicinais do Vale do São Francisco*, 3. Juazeiro. **Anais...** Juazeiro: Núcleo de estudos em plantas medicinais/UNIVASF, 2011. CD-ROM.
- Lohse, S., Schliemann, W., Ammer, C., Kopka, J., Strack, D., Fester, T. 2005. Organization and metabolism of plastids and mitochondria in arbuscular mycorrhizal roots of *Medicago truncatula*. *Plant Physiology* 139: 329-340.
- Machineski, O., Balota, E. L., Souza, J. R. P. 2011. Resposta da mamoneira a fungos micorrízicos arbusculares e a níveis de fósforo. *Semina: Ciências Agrárias* 32: 1855-1862.
- Maia, L. C. M. 2010. Micorrizas. In: Esposito, E., Azevedo, J. L. (org.) *Fungos: uma introdução à biologia, bioquímica e biotecnologia*. Educs, pp.573-612.
- Maia, L. C., Silva, F. S. B., Goto, B. T. 2010. Estrutura, ultraestrutura e germinação de glomerosporos. In: Siqueira, J. O., de Souza, F. A., Cardoso, E. J. B. N., Tsai, S. M. (eds.) *Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil*. Lavras, UFLA, pp. 75-118.
- Maia, L. C., Silveira, N. S. S. da., Cavalcante, U. M. T. 2006. Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and root pathogens. In: Rai, M. K. (org.) *Handbook of microbial biofertilizers*. New York, Food Products Press, pp. 325-351.
- Maier, W., Peipp, H., Schimidt, J., Wray, V., Strack, D. 1995. Levels of terpenoid glycoside (blumenin) and cell wall-bound phenolics in some cereal mycorrhizas. *Plant Physiology* 109: 465-470.
- Manoharan, P. T., Shanmugaiyah, V., Balasubramanian, N., Gomathinayagam, S., Sharma, M.P., Muthuchelian, K. 2010. Influence of AM fungi on the growth and physiological status of *Erythrina variegata* Linn. grown under different water stress conditions. *European Journal of Soil Biology* 46: 151-156.
- Mattos, P. P., Seitz, R. A. 2005. Dinâmica de crescimento de angico (*Anadenanthera colubrina* var. cebil) no pantanal Mato-Grossense. *Embrapa Florestas*. Circular Técnica, 102, 5p.
- Matsubara, Y., Ishigaki, T., Koshikawa, K. 2009. Changes in free amino acid concentrations in mycorrhizal strawberry plants. *Scientia Horticulturae* 119: 392-396.

- Middleton Jr., E., Kandaswami, C., Theoharides, T. C. 2000. The effects of plant flavonoids on mammalian cells: implications for inflammation, heart disease, and cancer. *Pharmacological Reviews* 52: 673-751.
- Miransari, M. 2011. Arbuscular mycorrhizal fungi and nitrogen uptake. *Archives of Microbiology* 193: 77-81.
- Monteiro, J. M., Lins Neto, E. M. F., Amorim, E. L. C., Strattmann, R. R., Araújo, E. L., Albuquerque, U. P. 2005a. Teor de taninos em três espécies medicinais arbóreas simpátricas da Caatinga. *Revista Árvore* 29: 999-1005.
- Monteiro, J. M., Albuquerque, U. P., Araújo, E. L. 2005b. Taninos: uma abordagem da química à ecologia. *Química Nova* 28: 892-896.
- Monteiro, J. M., Almeida, C. F. C. B. R., Albuquerque, U. P., Lucena, R. F. P., Florentino, A. T. N., Oliveira, R. L. C. 2006a. Use traditional management of *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan in the semi-arid region of northeastern Brazil. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 2: 1-7.
- Monteiro, J. M., Albuquerque, U. P., Lins Neto, E. M. F., Araújo, E. L., Albuquerque, M. M., Amorim, E. L. C. 2006b. The effects of seasonal climate changes in the Caatinga on tannin levels in *Myracrodruon urundeuva* (Engl.) Fr. All. And *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. *Brazilian Journal of Pharmacognosy* 16: 338-344.
- Moreira, F. M. S., Siqueira, J. O. Micorrizas. 2002. In: *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras, UFLA, pp. 473-579.
- Moretão, M. P., Buchi, D. F., Gorin, P. A. J., Iacomini, M., Oliveira, B. M. 2003. Effect of an acidic heteropolysaccharide (ARAGAL) from the gum of *Anadenanthera colubrina* (Angico branco) on peritoneal macrophage functions. *Immunology Letters* 89: 175-185.
- Moretão, M. P., Zampronio, A. R., Gorin, P. A. J., Iacomini, M., Oliveira, B. M. 2004. Induction of secretory and tumoricidal activities in peritoneal macrophages activated by an acidic heteropolysaccharide (ARAGAL) from the gum of *Anadenanthera colubrina* (Angico branco). *Immunology Letters* 93: 189-197.
- Morgan, J. A. W., Bending, G. D., White, P. J. 2005. Biological costs and benefits to plant-microbe interactions in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany* 56: 1729-1739.
- Nagahashi, G., Douds, D.D., Ferhatoglu, Y. 2010. Functional categories of root exudates compounds and their relevance to AM fungal growth. In: Koltai, H., Kapulnik, Y. (eds.) *Arbuscular mycorrhizas: physiology and function*. Springer, pp.33-56.
- Nell, M., Vötsch, M., Vierheilig, H., Steinkellner, S., Zitterl-Eglseer, K., Franz, C., Novak, J. 2009. Effect of phosphorus uptake on growth and secondary metabolites of garden sage (*Salvia officinalis* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89: 1090-1096.
- Nell, M., Wawrosch, C., Steinkellner, S., Vierheilig, H., Kopp, B., Lössl, A., Franz, C., Novak, J., Zitterl-Eglseer, K. 2010. Root colonization by symbiotic arbuscular mycorrhizal fungi increases sesquiterpenic acid concentration in *Valeriana officinalis* L. *Planta Medica* 76: 393-398.
- Oehl F, de Souza F. A., Sieverding E. 2008. Revision of *Scutellospora* and description of five new genera and three new families in the arbuscular mycorrhiza-forming *Glomeromycetes*. *Mycotaxon* 106: 311-360.
- Oliveira, M. S., Lima, C. S., Coelho, L., Silva, M. A., Silva, F. S. B. 2011a. Produção de proantocianidinas em mudas de aroeira-do-sertão associadas a fungos micorrízicos arbusculares. In: *Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 33. Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/UFU, 2011. CD-ROM.
- Oliveira, M. S., Lima, C. S., Sousa Júnior, J. C. A., Campos, M. A. S., Silva, F. S. B. 2011b. Taninos totais foliares em mudas de aroeira-do-sertão (*Myracrodruon urundeuva* Engler Alemão) associadas a fungos micorrízicos arbusculares (FMA). In: *Simpósio de plantas medicinais do Vale do São Francisco*, 3. Juazeiro. **Anais...** Juazeiro: Núcleo de estudos em plantas medicinais/UNIVASF, 2011. CD-ROM.
- Oliveira, M. S., Silva, F. S. B. 2011. Alterações bioquímicas e fitoquímicas em mudas de aroeira-do-sertão (*Myracrodruon urundeuva* (Engler) Fr. Alemão) associadas a fungos micorrízicos

- arbusculares (FMA). In: *Congresso Nacional de Botânica*, 62. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Botânica do Brasil/UECE, 2011. CD-ROM.
- Patreze, C. M., Cordeiro, L. 2004. Nitrogen-fixing and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbioses in some tropical legume trees of tribe Mimoseae. *Forest Ecology and Management* 196: 275-285.
- Pawlowska, T.E., Taylor, J.W. 2004. Organization of genetic variation in individuals of arbuscular mycorrhizal fungi. *Nature* 427: 733-737.
- Perner, H., Rohn, S., Driemel, G., Batt, N., Schwarz, D., Kroh, L. W., George, E. 2008. Effect of nitrogen species supply and mycorrhizal colonization on organosulfur and phenolic compounds in onions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56: 3538-3545.
- Peterson, R. L., Massicotte H. B., Melville, L. H. 2004. *Mycorrhizas: Anatomy and Cell Biology*. NRC Research Press.
- Ponce, M. A., Scervino, J. M., Erra-Balsells, R., Ocampo, J. A., Godeas, A. M. 2004. Flavonoids from shoots and roots of *Trifolium repens* (White clover) grown in presence or absence of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. *Phytochemistry* 65: 1925-1930.
- Ponce, M. A., Bompadre, M. J., Scervino, J. M., Ocampo, J. A., Chaneton, E. J., Godeas, A. M. 2009. Flavonoids, benzoic acids and cinnamic acids isolated from shoots and roots of Italian rye Grass (*Lolium multiflorum* Lam.) with and without endophyte association and arbuscular mycorrhizal fungus. *Biochemical Systematics and Ecology* 37: 245-253.
- Ramos, D. F., Leitão, G. G., Costa, F. N., Abreu, L., Villarreal, J. V., Leitão, S. G., Fernández, S. L. S., Silva, P. E. A. 2008. Investigation of the antimycobacterial activity of 36 plant extracts from the Brazilian Atlantic Forest. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas* 44: 669-674.
- Rapparini, F., Baraldi, R., Bertazza, G. 1996. Growth and carbohydrate status of *Pyrus communis* L. plantlets inoculated with *Glomus* sp. *Agronomie: plant genetics and breeding* 16: 653-661.
- Rasouli-Sadaghiani, M., Hassani, A., Barin, M., Danesh, Y. R., Sefidkon, F. 2010. Effects of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi on growth, essential oil production and nutrients uptake in basil. *Journal of Medicinal Plants Research* 4: 2222-2228.
- Ratti, N., Verma, H. N., Gautam, S. P. 2010. Effect of *Glomus* species on physiology and biochemistry of *Catharantus roseus*. *Indian Journal of Microbiology* 50: 355-360.
- Rillig, M. C. 2004. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Canadian Journal of Soil Science* 84: 355-363.
- Rillig, M. C., Mummey, D. L. 2006. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist* 171: 41-53.
- Rillig, M. C., Steinberg, P. D. 2002. Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: a mechanism of habitat modification. *Soil Biology & Biochemistry* 34: 1371-1374.
- Ruiz-Lozano, J. M., Porcel, R., Aroca, R. 2006. Does the enhanced tolerance of arbuscular mycorrhizal plants to water deficit involve modulation of drought induced plant genes? *New Phytologist* 171: 693-698.
- Santana, A. S. 2010. Eficiência micorrízica em espécies de plantas medicinais da Caatinga em diferentes substratos. *Dissertação de Mestrado, UFPE*. 62p.
- Santana, A. S., Souza, R. G., Silva, F. S. B., Maia, L. C. 2010. Dependência micorrízica de angico-preto (*Anadenanthera colubrina*). In: *Congresso Brasileiro de Micologia*, 6. Brasília. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Micologia/UnB, 2010. CD-ROM.
- Santos, J. G. D., Siqueira, J. O., Moreira, F. M. S. 2008a. Eficiência de fungos micorrízicos arbusculares isolados de solos de áreas de mineração de bauxita no crescimento inicial de espécies nativas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32: 141-150.
- Santos, D. R., Costa, M. C. S., Miranda, J. R. P., Santos, R. V. 2008b. Micorriza e rizóbio no crescimento e nutrição em N e P de mudas de angico-vermelho. *Revista Caatinga* 21: 76-82.
- Santos, R. I. 2007. Metabolismo básico e origem dos metabólitos secundários. In: Simões, C. M. O., Schenkel, E. P., Gosmann, G., Mell, J. C. P., Mentz, L. A., Petrovick, P. R. (eds.) *Farmacognosia: da planta ao medicamento*. Porto Alegre, UFRGS, pp. 403-434.

- Santos, S. C., Mello, J. C. P. 2007. Taninos. In: Simões, C. M. O., Schenkel, E. P., Gosmann, G., Mell, J. C. P., Mentz, L. A., Petrovick, P. R. (eds.) *Farmacognosia: da planta ao medicamento*. Porto Alegre, UFRGS, pp. 615-656.
- Shüßler, A., Schwarzott, D., Walker, C. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Micological Research* 105: 1413-1421.
- Silva, A. C. O., Albuquerque, U. P. 2005. Woody medicinal plants of the caatinga in the state of Pernambuco (Northeast Brasil). *Acta Botanica Brasilica* 19: 17-26.
- Silva, D. K. A., Silva, F. S. B., Yano-Melo, A. M., Maia, L. C. 2008a. Uso de vermicomposto favorece o crescimento de mudas de gravioleira (*Annona muricata* L. 'Morada') associadas a fungos micorrízicos arbusculares. *Acta Botanica Brasilica* 22: 863-869.
- Silva, F.S.B. 2006. Fase assimbiótica, produção, infectividade e efetividade de fungos micorrízicos em substratos com adubos orgânicos. *Tese de Doutorado, UFPE*. 292p.
- Silva, M. A., Cavalcante, U. M. T., Silva, F. S. B., Soares, S. A. G., Maia, L. C. 2004. Crescimento de mudas de maracujazeiro-doce (*Passiflora alata* Curtis) associadas a fungos micorrízicos arbusculares (Glomeromycota). *Acta Botanica Brasilica* 18: 981-985.
- Silva, M. F., Pescador, R., Rebelo, R. A., Stürmer, S. L. 2008b. The effect of arbuscular mycorrhizal fungal isolates on the development and oleoresin production of micropropagated *Zingiber officinale*. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 20: 119-130.
- Silva, S., Siqueira, J.O., Soares, C. R. F. S. 2006. Fungos micorrízicos no crescimento e na extração de metais pesados pela braquiária em solo contaminado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41: 1749-1757.
- Singh, R., Divya, S., Awasthi, A., Kalra, A. 2011. Technology for efficient and successful delivery of vermicompost colonized bioinoculants in *Pogostemon cablin* (patchouli) Benth. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. Online.
- Smith, S. E., Read, D. J. 2008. *Mycorrhizal symbiosis*. 3<sup>rd</sup> edition. Academic Press.
- Strack, D., Fester, T. 2006. Isoprenoid metabolism and plastid reorganization in arbuscular mycorrhizal roots. *New Phytologist* 172: 22-34.
- Souza, P. V. D. 2000. Interação entre micorrizas arbusculares e ácido giberélico no desenvolvimento vegetativo de plantas de citrange carrizo. *Ciência Rural* 30: 783-787.
- Souza, R. G., Goto, B. T., Silva, D. K. A., Silva, F. S. B., Sampaio, E. V. S. B., Maia, L. C. 2010. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and cattle manure in the establishment of *Tocoyena selloana* Schum. In mined dune areas. *European Journal of Soil Biology* 46: 237-242.
- Sugai, M. A. A., Collier, L. S., Saggin-Júnior, O. J. 2011. Inoculação micorrízica no crescimento de mudas de angico em solo de cerrado. *Bragantia* 70: 416-423.
- Taiz, L., Zeiger, E. 2004. *Fisiologia vegetal*. 3<sup>a</sup> edição. Porto Alegre, Artmed.
- Tanu, Prakash, A., Adholeya, A. 2006. Potential of arbuscular mycorrhizae in organic farming systems. In: Rai, M. K. org. *Handbook of microbial biofertilizers*. New York: Food Products Press, pp. 325-351.
- Tapas, A. R., Sakarkar, D. M., Kakde, R. B. 2008. Flavonoids as nutraceuticals: a review. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research* 7: 1089-1099.
- Toussaint, J-P. 2007. Investigating physiological changes in the aerial parts of AM plants: what do we where should we be heading? *Mycorrhiza* 17: 349-353.
- Toussaint, J.-P., Kraml, M., Nell, S. E., Smith, F. A., Steinkellner, S., Schmiderer, C., Vierheilig, H., Novak, J. 2008. Effect of *Glomus mosseae* on concentration of rosmarinic and caffeic acids and essential oil compounds in basil inoculated with *Fusarium oxysporum* f. sp. *Basilica*. *Plant Pathology* 57: 1109-1116.
- Toussaint, J-P., Smith, F. A., Smith, S. E. 2007. Arbuscular mycorrhizal fungi can induce the production of phytochemicals in sweet basil irrespective of phosphorus nutrition. *Mycorrhiza* 17: 291-297.
- Tristão, F. S. M., Andrade, S. A. L., Silveira, A. P. D. 2006. Fungos micorrízicos arbusculares na formação de mudas de Cafeeiro, em substratos orgânicos comerciais. *Bragantia* 65: 649-658.

- Vandresen, J., Nishidate, F. R., Torezan, J. M. D., Zangaro, W. 2007. Inoculação de fungos micorrízicos arbusculares e adubação na formação e pós-transplante de mudas de cinco espécies arbóreas nativas do sul do Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 21: 753-765.
- Vázquez, M. M., Barea, J. M., Azcón, R. 2001. Impacto f soil nitrogen concentration on *Glomus* spp. *Sinorhizobium* interactions as affecting growth, nitrate reductase activity and protein content of *Medicago sativa*. *Biology and Fertility of Soils* 34: 57-63.
- Vierheilig, H., Gagnon, H., Strack, D., Maier, W. 2000. Accumulation of ciclohexenone derivatives in barley, wheat and maize roots in response to inoculation with different arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza* 9: 291-293.
- Walter, M. H., Fester, T., Strack, D. 2000. Arbuscular mycorrhizal fungi induce the non-mevalonate methylerythritol phosphate pathway of isoprenoid biosynthesis correlated with accumulation of the 'yellow pigment' and other apocarotenoids. *The Plant Journal* 21: 571-578.
- Wright, S. F., Upadhyaya, A. 1998. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 198: 97-107.
- Wright, S. F. 2010. *A manageable soil glue*. Disponível em: [http://invam.caf.wvu.edu/methods/mycorrhizae/glomalin\\_brochure.pdf](http://invam.caf.wvu.edu/methods/mycorrhizae/glomalin_brochure.pdf).
- Wu, Q. S., Xia, R. X., Zou, Y. N. 2008. Improved soil structure and citrus growth after inoculation with three arbuscular mycorrhizal fungi under drought stress. *European Journal of Soil Biology* 44: 122-128.
- Wu, Q. S., Zou, Y. N. 2009. Mycorrhiza has a direct effect on reactive oxygen metabolism of drought-stressed citrus. *Plant Soil and Environment* 55: 436-442.
- Yano-Melo, A. M., Saggin Jr, O. J., Maia, L. C. 2003. Tolerance of mycorrhized banana (*Musa* sp. Cv. Pacovan) plantlets to saline stress. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 95: 343-348.
- Xiaolin L., Chen B., Feng G., Christie P. 2002. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of Zn phytotoxicity and mineral nutrition of host plants. In: *Acts of the 17th World Congress of Soil Science*, symposium no. 42, paper no. 1649.
- Zhu, H. H., Yao, Q. 2004. Localized and systemic increase of phenols in tomato roots induced by *Glomus versiforme* inhibits *Ralstonia solanacearum*. *Journal of Phytopathology* 152: 537-542.
- Zubek, S., Stojakowska, A., Anielska, T., Turnau, K. 2010. Arbuscular mycorrhizal fungi alter thymol derivate contents of *Inula ensifolia* L. *Mycorrhiza* 20: 497-504.

