

FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NO CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DE MUDAS CLONAIS DE *Theobroma cacao* L.

Maria Aparecida N. Santos¹, Carla S. Sousa², Eduardo Gross³, Leoberto J. X. Oliveira Filho³, Thâmara M. Lima³, Bruno T. Goto⁴

¹Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Rua G, 99A, Vereador Acácio Almeida, Itajuípe, Ba, Brasil. aparecida.santos13@bol.com.br. ²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano-Campus Alagoinhas. Rua Manoel Romão, 150, Alagoinhas Velha - Alagoinhas, Ba, Brasil. cssagro@yahoo.com.br. ³Universidade Estadual de Santa Cruz-Campus Soane Nazaré de Andrade, Rodovia Ilhéus/Itabuna, km 16, Bairro Salobrinho, Ilhéus, Ba, Brasil. egross@uesc.br, ileo.agro@gmail.com, thamaralima6@gmail.com. ⁴Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Avenida Senador Salgado Filho, 3000, Lagoa nova, Natal, RN, Brasil. brunogoto@hotmail.com.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e nutrição de mudas clonais de cacau. O experimento foi instalado em delineamento de blocos inteiramente casualizados, em esquema fatorial 4 x 4 + 1, sendo quatro espécies de fungos micorrízicos arbusculares: *Acaulospora mellea* Spain & N.C. Schenck, *Dentisculata heterogama* T. H. Nicolson & Gerd.) Sieverd., F.A. Souza & Oehl, *Scutellospora calospora* (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker and F.E. Sanders (1986), *Glomus formosanum* Wu & Chen., mais tratamento controle e quatro clones de cacau: SJ 02, CEPEC 2002, CCN 51, PH 16; com cinco repetições. Após 120 dias, o experimento foi coletado e determinado: altura das mudas, diâmetro do caule, produção de biomassa seca na parte aérea e raízes, teores de macronutrientes na parte aérea, taxa de colonização micorrízica das raízes. O clone CCN 51 apresentou maiores teores de Ca e Mg, bem como diâmetro do caule e peso seco das raízes. Os clones PH 16 e CCN 51 apresentaram melhores rendimentos de peso seco da parte aérea, quando inoculados com as espécies fúngicas *A. mellea*, *S. calospora*, *G. formosanum*. Maiores valores referentes à taxa de colonização foram observados nas mudas inoculadas pelas espécies do gênero *Glomus*, *Scutellospora*, *Acaulospora*, sendo os gêneros *Acaulospora* e *Glomus* mais eficientes na absorção do S. A taxa de colonização apresentou correlação positiva com o desenvolvimento das mudas.

Palavras-chave: Produção de mudas, *Theobroma cacao* L. micorrização.

Arbuscular mycorrhizal fungi on the growth and nutrition of clonal seedlings of *Theobroma cacao* L. The present study aimed to evaluate the efficiency of arbuscular mycorrhizal fungi species in the growth and nutrition of clonal cocoa seedlings. The experiment was installed in a completely randomized block design, in a 4 x 4 + 1 factorial scheme, with four species of arbuscular mycorrhizal fungi: *Acaulospora mellea* Spain & N.C. Schenck, *Dentisculata heterogama* T. H. Nicolson & Gerd.) Sieverd., F.A. Souza & Oehl, *Scutellospora calospora* (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker and F.E. Sanders (1986), *Glomus formosanum* Wu & Chen., plus control treatment and four cocoa clones: SJ 02, CEPEC 2002, CCN 51, PH 16; with five repetitions. After 120 days the experiment was collected and determined: height of seedlings, stem diameter, production of dry biomass in the aerial part and roots, content of macronutrients, colonization rate. The CCN 51 clone showed higher levels of Ca and Mg, as well as stem diameter and root dry weight. The PH 16 and CCN 51 clones showed better shoot dry weight yields when inoculated with the fungal species *A. mellea*, *S. calospora*, *G. formosanum*. Higher values regarding the colonization rate were observed in seedlings inoculated by species of the genus *Glomus*, *Scutellospora*, *Acaulospora*, with the genera *Acaulospora* and *Glomus* being more efficient in absorbing S. The colonization rate showed a positive correlation with the seedling development.

Key words: Seedling production, *Theobroma cacao* L. mycorrhization.

Introdução

No Sul da Bahia, a produção de mudas de cacau, constitui-se uma etapa importante no processo de recuperação e implantação de novas áreas de cultivo da cacauicultura na região. Contudo, o grande fator restritivo advém das dificuldades econômicas de manejar a cultura sob o dossel da floresta Atlântica, desestimulando grande parte dos cacauicultores (Sodré et al., 2012). Com isso, vários esforços vêm sendo desenvolvidos para minimizar os custos de produção do cacau, especialmente para os agricultores familiares, que não dispõem de recursos financeiros para investimento nas áreas cultivadas.

Paralelo a isso, estudos vêm sendo desenvolvidos com intuito de determinar a eficiência de microrganismos simbiotes presentes no solo em promover melhorias nutricionais às plantas (Sousa, Soares & Garrido, 2009; Pralon e Martins, 2001; Sugai, Collier e Saggin Júnior, 2011). Dentre os microrganismos que promovem benefícios nutricionais para as plantas, os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) ganham grande destaque, por se associarem a maioria das plantas vasculares, auxiliando na absorção de nutrientes disponíveis no solo e disponibilizando-os por meio das raízes às plantas hospedeiras (Wang & Qiu, 2006).

Com o estabelecimento da associação entre os simbiotes, a planta se beneficia com o aumento da área de absorção, pelas hifas fúngicas, que disponibiliza água e minerais, especialmente o fósforo, elemento pouco móvel no solo (Pereira et al., 2012), e em contrapartida o fungo é beneficiado pelos exsudatos das raízes que permitem o ciclo de vida desses microrganismos (Hoffmann e Lucena, 2006).

A produção de mudas inoculadas com fungos micorrízicos tem demonstrado resultados satisfatórios, tornando-se uma alternativa promissora na minimização dos custos gerados com o manejo e adubação (Köhl, Lukasiewicz & Van Der Heijden, 2015; Garcia et al., 2017; Pel et al., 2018), melhorando o estado nutricional das mudas, propiciando melhor estabelecimento em campo e maior taxa de pegamento, o que diminui de forma expressiva as perdas, além de formar plantas de cacau mais resistentes aos fatores abióticos e problemas fitossanitários da cultura (Yan et al., 2012; Pereira et al., 2012; Cameron et al., 2013; Zhang et al., 2019).

No processo de produção de mudas, a escolha do material vegetal também é um fator determinante para as demais fases da implantação ou restauração das áreas de cacau (Sodré, 2017). Para isso é imprescindível a seleção de cultivar adaptada às condições edáficas da região e resistentes às enfermidades fúngicas comuns nessas áreas. Nesse aspecto, a Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC, 2019), registrou algumas cultivares de cacau, com características específicas que favorecem o estabelecimento e produtividade da cacauicultura. No entanto, tais atributos por si só não minimizam os danos causados por fitopatógenos nos cultivos de cacau, sendo necessários manejos e tecnologias capazes de potencializar a produtividade desses clones.

Diante do exposto, o presente trabalho propôs avaliar a eficiência de quatro espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) na produção e nutrição de mudas clonais de cacau, visando obter melhorias no crescimento e no estado nutricional das mudas.

Material e Métodos

Instalação e condução do experimento

O experimento foi instalado no Instituto Biofábrica de Cacau (IBC), em delineamento de blocos inteiramente casualizados, esquema fatorial 4x4+1, sendo quatro clones de cacau (SJ 02, CEPEC 2002, CCN 51 e PH 16) x quatro espécies de fungos micorrízicos arbusculares (*Acaulospora mellea* Spain & N.C. Schenck, *Dentisculata heterogama* (T. H. Nicolson & Gerd.) Sieverd., F.A. Souza & Oehl, *Scutellospora calospora* (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker and F.E. Sanders (1986) e *Glomus formosanum* Wu & Chen.), com um tratamento controle, com cinco repetições.

As mudas de cacau foram obtidas no Instituto Biofábrica de Cacau, cultivadas inicialmente em tubetes com capacidade para 288 mL contendo substrato. Inicialmente, hastes dos clones selecionados foram introduzidas nos tubetes contendo substrato para o enraizamento. Neste procedimento a extremidade das hastes antes do plantio foram tratadas com ácido indolbutírico, para auxiliar no enraizamento das estacas. O processo de enraizamento durou aproximadamente 60 dias e durante esse período, as mudas foram

mantidas no viveiro 50% de sombra, recebendo apenas irrigação com água isenta da solução nutritiva (em virtude da inoculação com os fungos micorrízicos).

Após o enraizamento, as mudas foram transferidas para sacos plásticos com capacidade para 3 kg, contendo substrato comercial, previamente esterilizado em autoclave a 120°C durante uma hora e meia, em três dias alternados. A inoculação das mudas com as espécies de fungos micorrízicos arbusculares foi realizada colocando-se próximo a região das raízes, o inóculo formado por solo, esporos, fragmentos de hifas e raízes colonizadas, no momento do transplante para os sacos.

A quantidade de inóculo foi definida de acordo com o número de esporos por grama de solo, utilizando-se 100 esporos por planta. No tratamento controle, foram adicionados 10 mL de uma suspensão obtida pela filtração da mistura de solo-inóculo isenta de propágulos de FMAs, para tentar equilibrar a população microbiana do solo. Após a inoculação, as mudas foram mantidas em condições de viveiro (50% de sombra), sendo irrigadas com água destilada, conforme necessidade, durante 120 dias, contados a partir do enraizamento das mudas.

- Avaliação do crescimento e estado nutricional das mudas micorrizadas

Após 120 dias, as mudas foram coletadas, sendo inicialmente realizada a medição da altura das mudas (distância entre o nível do solo e a inserção do broto terminal da haste principal), com auxílio de uma régua milimetrada; e do diâmetro do caule (5 cm acima do colo da planta) utilizando um paquímetro digital. Realizada a medição, as mudas foram cortadas, separando-se a parte aérea das raízes. As raízes foram lavadas e, com auxílio de uma pinça, subamostras (< 2 mm) foram coletadas aleatoriamente e preservadas em álcool etílico a 50% para determinação da taxa de colonização micorrízica utilizando o método da placa quadriculada (Giovannetti & Mosse, 1980). O restante das raízes foi acondicionado em estufa de secagem com ventilação forçada a 65°C, até a obtenção de peso constante para determinação da biomassa seca radicular.

Para determinação da colonização micorrízica, as raízes finas coletadas das mudas (< 2mm) foram lavadas repetidas vezes em água destilada e em seguida

imersas em solução de NaOH 10% por 24 h, em temperatura ambiente, para serem diafanizadas. Após esse período, foram lavadas com água destilada, tratadas com H₂O₂ alcalina por 45 minutos e em seguida com HCl 1% por 3 minutos. Posteriormente imersas em solução de azul de trypan 0,05% lactoglicerol por 24 h, em temperatura ambiente (Koske & Gemma, 1989), e após este período, conservadas em lactoglicerol ácido, até avaliação.

As raízes coradas foram avaliadas através do método da placa quadriculada (Giovannetti & Mosse, 1980). Neste método, fragmentos de raízes coradas foram colocados em placa quadriculada (quadrículas de 1,27 cm) e observados em microscópio estereoscópico (40x), sendo contados 100 segmentos de raiz que fizeram interseção com as linhas verticais e horizontais e registrou-se o número de segmentos colonizados. Considerou-se positivos, os segmentos de raízes que apresentaram estruturas típicas de fungos micorrízicos, tais como vesículas, arbúsculos, hifas e pelotões.

A parte aérea das mudas de cacau foi colocada para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingir peso constante. Após este período, determinou-se a biomassa seca da parte aérea, através de pesagem, e em seguida, foi realizada moagem e digestão com ácido sulfúrico e peróxido de hidrogênio (Thomas, Sheard & Moyer, 1967) e nos extratos, foram determinados os teores dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S).

- Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Bartlett). Os dados referentes a colonização micorrízica foram transformados em $\arcsin \sqrt{x/100}$.

Foi também realizada análise de variância e teste de Scott e Knott, a 5% de probabilidade, para a comparação das médias. Realizou-se ainda um teste de correlação de Pearson (significância pelo teste t de Student, a 5% de probabilidade), entre as variáveis, teor de macronutrientes, altura das plantas, diâmetro do caule, produção de biomassa seca na parte aérea e raízes e taxa de colonização micorrízica das raízes, utilizando o programa estatístico R (R Core Team, 2019).

Resultado e Discussão

Houve efeito do fator clone sobre o diâmetro do caule (DM) e peso seco das raízes (PSR) (Tabela 1). A interação clones versus fungos (CXF) foi significativa para peso seco da parte aérea das mudas (PSPA) ($p \leq 0,05$), e taxa de colonização micorrízica das raízes (CM) ($p \leq 0,001$). As variáveis PSPA e CM foram influenciadas pela espécie fúngica testada ($p \leq 0,001$).

O tipo de clone influenciou nos teores dos nutrientes cálcio (Ca) ($p \leq 0,05$) e magnésio (Mg) ($p \leq 0,001$) (Tabela 2). Somente houve efeito do fator fungo sobre o teor de enxofre (S) na parte aérea das mudas. Não houve efeito significativo da interação clone x fungo (CxF).

De acordo com os resultados, nota-se que mudas do clone CCN 51 apresentaram maiores teores de Ca, em relação às mudas dos demais clones (Tabela 3). Paramo et al. (2014) avaliando a absorção e distribuição de nutrientes em clones de cacau e seus efeitos nos rendimentos, verificaram que o CCN 51 foi mais eficiente na absorção de nutrientes comparado a outros

Tabela 1. Resumo da análise de variância da altura (AL), diâmetro (DM), peso seco da parte aérea (PSPA), peso seco da raiz (PSR), taxa de colonização (CM)

Fonte de Variação	QM				
	AL	DM	PSPA	PSR	CM
Clone (C)	34,50 ^{ns}	0,505*	0,0047 ^{ns}	3,05*	0,0078 ^{ns}
Fungo (F)	177,72 ^{ns}	0,088 ^{ns}	0,013***	1,36 ^{ns}	0,1729***
C x F	64,60 ^{ns}	0,172 ^{ns}	0,0051*	1,88 ^{ns}	0,0508***
Resíduo	79,78	0,141	0,0018	0,99	0,0102
CV%	25,62	14,93	18,82	66,56	14,81

*** e * significativo ($p \leq 0,001$) e ($p \leq 0,05$), respectivamente pelo teste F. não significativo (ns), Quadrado Médio (QM), Coeficiente de Variação (CV).

Tabela 2. Resumo da análise de variância dos teores de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), nitrogênio (N), fósforo (P), enxofre (S)

Fonte de Variação	QM					
	K	Ca	Mg	N	P	S
Clone (C)	28,34 ^{ns}	12,38*	7,52***	8,97 ^{ns}	0,270 ^{ns}	0,268 ^{ns}
Fungo (F)	8,48 ^{ns}	1,32 ^{ns}	1,45 ^{ns}	2,72 ^{ns}	0,070 ^{ns}	0,316*
CxF	32,36 ^{ns}	3,94 ^{ns}	0,83 ^{ns}	4,50 ^{ns}	0,095 ^{ns}	0,078 ^{ns}
Resíduo	24,51	3,24	1,09	4,70	0,095	0,106
CV%	25,29	16,38	19,63	13,81	13,52	17,35

*** e * significativo ($p \leq 0,001$) e ($p \leq 0,05$), respectivamente pelo teste F. não significativo (ns), Quadrado Médio (QM), Coeficiente de Variação (CV).

Tabela 3. Teores de Ca (cálcio), Mg (magnésio), diâmetro do caule (DIAM) e peso seco das raízes (PSR) de diferentes clones de cacau

Clone	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)	DM (cm)	PSR (g planta ⁻¹)
SJ 02	9,905 b	4,70 b	2,38 b	1,03 b
CEPEC 2002	10,87 b	4,75 b	2,74 a	2,02 a
CCN 51	12,11 a	6,03 a	2,59 a	1,70 a
PH 16	11,13 b	5,86 a	2,35 b	1,22 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

clones. Os clones SJ 02, CEPEC 2002 e PH 16 não diferiram estatisticamente entre si, com relação aos teores de Ca na parte aérea, cujos valores variaram entre 9,9 e 12,11 (g kg⁻¹). Não houve diferença significativa entre os clones CCN 51 e PH 16 com relação ao teor de Mg. De acordo com Paramo et al. (2014) essa diferença nos teores de nutrientes em clones de cacau pode ocorrer, uma vez que alguns clones são mais eficientes na absorção de determinados nutrientes que outros.

Verificou-se melhor desempenho dos clones CEPEC 2002 e CCN 51 em diâmetro do caule (DM) e peso seco da raiz (PSR), não diferindo estatisticamente entre si. Isso evidencia que há uma diferença entre os clones com relação à eficiência nutricional e produção de biomassa (Carmo Pinto et al., 2011). Os clones SJ 02 e PH 16 apresentaram desempenho inferior para essas variáveis.

Analisando o desempenho das mudas dos diferentes clones de cacau inoculadas com as espécies fúngicas, nota-se que as mudas do clone SJ 02 inoculadas com as espécies fúngicas não diferiram estatisticamente entre si, contudo, apresentaram maior incremento na produção de biomassa na parte aérea em comparação às mudas do tratamento controle (Tabela 4).

Mudas do clone CEPEC 2002 inoculadas com as espécies fúngicas não diferiram estatisticamente das mudas controle deste clone. Nesse caso, nota-se que provavelmente os rendimentos em peso seco da parte aérea (PSPA) das mudas de cacau foram provenientes de aspectos genéticos do próprio clone. Observa-se com os resultados

Tabela 4. Efeito da inoculação com espécies de fungo micorrízicos arbusculares (FMA) sobre o peso seco da parte aérea (g planta⁻¹) de diferentes clones de cacau

Espécies de FMAs	Clones			
	SJ 02	CEPEC 2002	CCN 51	PH 16
<i>Acaulospora mellea</i>	3,80 a B	5,85 a A	8,11 a A	3,85 b B
<i>Dentisculata heterogama</i>	5,50 a A	8,16 a A	2,21 b B	5,55 a A
<i>Scutellospora calospora</i>	7,18 a A	8,33 a A	7,29 a A	8,51 a A
<i>Glomus formosanum</i>	5,83 a A	4,93 a A	7,37 a A	2,74 b B
Controle	2,58 b A	4,56 a A	4,20 b A	3,48 b A

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

que genótipos do CEPEC 2002 possuem alto potencial de produção de biomassa, sendo assim, o desenvolvimento das mudas desse clone independe da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs).

No caso do clone CCN 51, as espécies fúngicas *Ac. mellea*, *Sc. calospora* e *G. formosanum* promoveram incremento no peso seco da parte aérea das mudas. Dentro do mesmo clone não diferiram estatisticamente entre si com relação à produção de biomassa seca da parte aérea as mudas inoculadas com a espécie *D. heterogama* e tratamento controle. Para o clone PH 16 as espécies *D. heterogama* e *Sc. calospora*, destacaram-se, enquanto que mudas inoculadas com as espécies *Ac. mellea* e *G. formosanum* não diferiram das mudas controles.

Analisando a eficiência de cada espécie de FMAs entre os diferentes clones, observa-se que *Ac. mellea*, promoveu incrementos significativos na produção de biomassa seca na parte aérea dos clones CEPEC 2002 e CCN 51. A espécie *D. heterogama*, aumentou a produção de biomassa seca da parte aérea (PSPA) nas mudas de cacau dos clones SJ 02, CEPEC 2002 e PH 16. Não houve diferença significativa na produção de biomassa seca da parte aérea dos clones quando inoculados com a espécie *Sc. calospora*. Enquanto para a espécie *G. formosanum* apenas o PH 16 apresentou desempenho inferior aos outros clones para peso seco da parte aérea (PSPA) (Tabela 4). Vários trabalhos evidenciam os efeitos positivos da inoculação por fungos micorrízicos no aumento da produção de matéria seca em frutíferas (Trindade, Siqueira e Almeida, 2001; Minihoni e Auler, 2003).

Samarão et al. (2011) encontraram respostas positivas da inoculação com

fungos micorrízicos arbusculares proporcionando aumento na produção de matéria seca de mudas de gravioleira. Costa et al. (2001) testando a inoculação de FMAs em aceroleira também verificaram resultados expressivos da inoculação no aumento da matéria seca da parte aérea. Entretanto é preciso considerar o que foi verificado por Soares et al. (2012) em seu estudo sobre a inoculação de espécies de FMAs em mudas de jenipapeiro, que geralmente existe seletividade do hospedeiro

por determinadas espécies de FMAs. Nesse sentido, alguns clones de cacau são mais responsivos a inoculação micorrízica com determinada espécie em comparação a outras, e isso dependerá do grau de compatibilidade genética entre o fungo e a planta.

A taxa de colonização micorrízica das raízes depende muito da interação fungo/planta e também é influenciada por fatores ambientais (Folli-Pereira et al, 2012). De acordo com Cavalcante et al. (2002), a inoculação de diferentes espécies de FMA resulta em respostas diferenciadas por parte do hospedeiro. Nesse sentido verificou-se maiores taxa de colonização do clone SJ 02 pelas espécies *D. heterogama*, *Sc. calospora* e *G. formosanum*, com respectivamente 68%, 70% e 80% (Tabela 5). Mudas do clone CEPEC 2002 apresentaram maiores taxas de colonização, quando inoculadas pelas espécies *Sc. calospora* (79%) e *G. formosanum* (84%) que não diferiram estatisticamente entre si.

As mudas do clone CCN 51 quando inoculadas pelo fungo *G. formosanum* apresentaram maiores taxas de colonização micorrízica (84%), diferindo estatisticamente das mudas inoculadas com as demais espécies. Silveira et al. (2003) registraram resultados semelhantes avaliando a espécie do gênero *Glomus*

Tabela 5. Taxa de colonização micorrízica das mudas de diferentes clones de cacau

Espécies de FMAs	Clones			
	SJ 02	CEPEC 2002	CCN 51	PH 16
<i>Acaulospora mellea</i>	50 b A	41 b A	63 b A	56 c A
<i>Dentisculata heterogama</i>	68 a A	57 b A	60 b A	76 b A
<i>Scutellospora calospora</i>	70 a B	79 a B	71 b B	98 a A
<i>Glomus formosanum</i>	80 a A	84 a A	84 a A	54 c B

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

em seu estudo com mudas de maracujazeiro. O clone PH 16, apresentou maior taxa de colonização pela espécie *Sc. calospora* (98%) seguida pela espécie *D. heterogama* (76%) que diferiram estatisticamente entre si e das demais espécies. Contudo, mudas deste clone inoculadas com as espécies *Ac. mellea* e *G. formosanum* não diferiram estatisticamente entre si com relação à taxa de colonização micorrízica.

Referente aos melhores clones dentro de cada espécie de FMAs para taxa de colonização observa-se que as espécies *Ac. mellea* e *D. heterogama*, não apresenta diferença estatística entre os clones utilizados. Enquanto para *Sc. calospora* apenas o clone PH 16 apresentou melhor taxa de colonização das raízes. Já para *G. formosanum* todos os clones apresentaram melhores taxas de colonização, exceto o PH 16, onde registrou-se resultado inferior aos demais clones dentro dessa espécie (Tabela 5).

Independente do tipo de clone, mudas de cacau inoculadas com as espécies fúngicas *Ac. mellea* e *G. formosanum*, apresentaram maiores teores de enxofre na parte aérea que as mudas inoculadas com as demais espécies (Tabela 6). Não houve diferença significativa nos teores de S na parte aérea das mudas de cacau inoculadas pelas espécies *D. heterogama*, *Sc. calospora* e as mudas do tratamento controle. O enxofre é de extrema importância no desenvolvimento da planta, suas funções assemelham-se ao do nitrogênio (Stipp e Casarin, 2010). Assim também como o nitrogênio, este elemento não se encontra disponível no solo para absorção pelas plantas, havendo a necessidade de processos microbiológicos para mineralização e disponibilização deste em forma de sulfato (SO_4^{2-}). Sendo assim, nota-se que houve uma contribuição significativa das espécies *Ac. mellea* e *G. formosanum* no teor de enxofre nas mudas de cacau.

No presente estudo também foi avaliada a correlação entre a taxa de colonização micorrízica (CM) com os parâmetros de crescimento (AL, DM, PSPA e PSR) e nutrição das mudas (N, P, K, S, Ca, Mg) (Tabelas 7 e 8).

Houve correlação positiva significativa entre taxa de colonização micorrízica (CM) e peso seco da parte aérea (PSPA) ($r = 0,61$), peso seco da raiz (PSR) ($r = 0,48$) e altura de plantas (ALT) ($r = 0,61$) (Tabela 7). Silveira et al. (2003) constataram em seu

Tabela 6. Teor de enxofre (g kg^{-1}) nas mudas de cacau de diferentes clones inoculadas pelas espécies de FMAs

Fungos	Enxofre (S) (g kg^{-1})
<i>Acaulospora mellea</i>	1,98 a
<i>Dentisculata heterogama</i>	1,72 b
<i>Scutellospora calospora</i>	1,86 b
<i>Glomus formosanum</i>	2,09 a
Controle	1,72 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 7. Coeficiente de correlação linear de Pearson para as variáveis de desenvolvimento das mudas e taxa de colonização

Desenvolvimento das mudas	CM
AL	0,61*
DM	0,33 ^{ns}
PSPA	0,61*
PSR	0,48*

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. ns: não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Tabela 8. Coeficiente de correlação linear de Pearson para as variáveis de nutrição das mudas e taxa de colonização

Variáveis de nutrição das mudas	Taxa de Colonização
N	0,19 ^{ns}
P	0,21 ^{ns}
K	-0,20 ^{ns}
S	0,41*
Ca	-0,16 ^{ns}
Mg	0,13 ^{ns}

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. ns: não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

estudo correlação significativa entre taxa de colonização e produção de matéria seca, o que reflete efeito positivo da micorrização no crescimento das mudas. Soares et al. (2012), avaliando fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e nutrição de mudas de jenipapeiro também encontraram correlações significativas entre a taxa de colonização e parâmetros de crescimento das mudas.

No tocante a correlação da taxa de colonização das raízes e as variáveis de nutrição das mudas de cacau os resultados demonstram que houve correlação significativa apenas para o elemento enxofre (S) ($r = 0,41$) (Tabela 8). Desse modo os fungos micorrízicos associados às raízes das mudas de cacau as tornaram mais eficientes na absorção do enxofre (S).

Os elementos nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), Cálcio (Ca) e magnésio (Mg) não apresentaram correlações significativas com a taxa de colonização micorrízicas raízes. Entretanto a ausência de correlação não significa que não houve uma contribuição dos fungos micorrízicos arbusculares na nutrição das mudas de cacau, uma vez que para se medir essa eficiência vários fatores devem ser considerados como concentração do nutriente no solo e interação fungo/planta (Antoniolli e Kaminski, 1991; Oliveira, Oliveira e Figueredo, 2003).

Conclusão

- O clone CCN 51 apresentou melhor desempenho na absorção do Cálcio e Magnésio, maior peso seco da raiz e diâmetro do caule.

- Os clones PH 16, CCN 51 apresentaram melhores rendimentos em peso seco da parte aérea, quando inoculado com as espécies de FMAs: *Acaulospora mellea*, *Scutellospora calospora* e *Glomus formosanum*.

- Todos os clones apresentaram boas taxas de colonização das espécies de FMAs utilizadas exceto SJ 02, CEPEC 2002 e CCN 51 dentro da espécie *Scutellospora calospora* e PH 16 dentro da espécie *Glomus formosanum*.

- As espécies *Acaulospora mellea* e *Glomus formosanum* foram mais eficientes na absorção do Enxofre.

- Houve correlações significativas entre a taxa de colonização das raízes e o desenvolvimento das mudas.

Agradecimentos

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, pela oportunidade de realizar este projeto e o curso de mestrado. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos. À Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC) pela disponibilização do laboratório, equipamentos e reagentes para realização das análises. Ao Instituto Biofábrica de Cacau pela disponibilização e preparo das mudas de cacau, bem como, de pessoal do corpo técnico para auxiliar em todo processo de montagem e condução do experimento.

Literatura Citada

- ANTONIOELLI, Z. I.; KAMINSKI, J. 1991. Micorrizas - Revisão Bibliográfica. *Ciência Rural (Brasil)* 21(3):441-455.
- CAMERON, D. D. et al. 2013. Mycorrhiza-induced resistance: more than the sum of its parts? *Trends In Plant Science* 18(10):539-545.
- CARMO PINTO, S. I. et al. 2011. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35(1):523-533.
- CAVALCANTE, U. M. T. et al. 2002. Efeito de fungos micorrízicos arbusculares, da adubação fosfatada e da esterilização do solo no crescimento de mudas de maracujazeiro amarelo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* 26(1):1099-1106.
- COMISSÃO EXECUTIVA DO PLANO DA LAVOURA CACAUEIRA. 2019. Lista de clones. Disponível em <<http://www.ceplac.gov.br/radar/ListaClones.asp>> Acesso em 20 Set.
- COSTA, C. M. C. et al. 2001. Influência de fungos micorrízicos arbusculares sobre o crescimento de dois genótipos de aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.). *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 36(1):893-901.
- FOLLI-PEREIRA, M. S. et al. 2012. Micorriza arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36(6):1663-1679.
- GARCIA, K. et al. 2017. Physiological Responses and Gene Co-Expression Network of Mycorrhizal Roots under K⁺ Deprivation. *Plant Physiology* 173(3):1811-1823.
- GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. 1980. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist* 84(3):484-500.
- HOFFMANN, L. V.; LUCENA, V. S. 2006. Para entender Micorrizas Arbusculares. Embrapa Algodão-Documentos (INFOTECA-E), 1ª ed. Campina Grande, PB.
- KÖHL, L. et al. 2015. Establishment and effectiveness of inoculated arbuscular mycorrhizal fungi in

- agricultural soils. *Plant, Cell & Environment* 39(1):136-146.
- KOSKE, R. E.; GEMMA, J. N. 1989. A Modified Procedure for Staining Roots to Detect VA Mycorrhizas. *Mycological Research* 92(1):486-488.
- MINHONI, M. T. A.; AULER, P. A. M. 2003. Efeito do fósforo, fumigação do substrato e fungo micorrízico arbuscular sobre o crescimento de plantas de mamoeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 27(5):841-847.
- OLIVEIRA, A. N.; OLIVEIRA, L. A.; FIGUEIREDO, F. 2003. Colonização micorrízica e concentração de nutrientes em três cultivares de bananeiras em um latossolo amarelo da Amazônia central. *Acta Amazônica (Brasil)* 33(3):345-352.
- PARAMO, Y. J. P. et al. 2014. Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento. *Acta Agronómica* 63(2):145-152.
- PEL, R. et al. 2018. Growth benefits provided by different arbuscular mycorrhizal fungi to *Plantago lanceolata* depend on the form of available phosphorus. *European Journal of Soil Biology* 88(1):89-96.
- PEREIRA, M. S. F. et al. 2012. Micorriza arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36(6):1663-1679.
- PRALON, A. Z.; MARTINS, M. A. 2001. Utilização do resíduo industrial ferkal na produção de mudas de *Mimosa caesalpiniaefolia*, em estéril de extração de argila, inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e rizóbio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 25(1):55-63.
- R CORE TEAM. 2019. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- SAMARÃO, S. S. et al. 2011. Desempenho de mudas de gravioleira inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares em solo não-esterilizado, com diferentes doses de fósforo. *Acta Scientiarum Agronomy* 33(1):81-88.
- SILVEIRA, A. P. D. et al. 2003. Desempenho de fungos micorrízicos arbusculares na produção de mudas de maracujazeiro-amarelo, em diferentes substratos. *Bragantia* 62(1):89-99.
- SOARES, A. C. F. et al. 2012. Fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e nutrição de mudas de jenipapeiro. *Revista Ciência Agronômica (Brasil)* 43(1):47-54.
- SODRÉ, G. A. 2017. Cultivo do cacaueteiro no estado da Bahia. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. 126p.
- SODRÉ, G. A. et al. 2012. Extrato da casca do fruto do cacaueteiro como fertilizante potássico no crescimento de mudas de cacaueteiro. *Revista Brasileira de Fruticultura* 34(3):881-887.
- SOUSA, C. S.; SOARES, A. C. F.; GARRIDO, M. S. 2009. Tomato seedlings grown in organic potting mix inoculated and incubated with streptomycetes. *Bragantia* 68(1):195-203.
- 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(2):416-423.
- STIPP, S. R.; CASARIN, V. 2010. A importância do enxofre na agricultura brasileira. *Informações agronômicas (Brasil)* 129(1):14-20.
- THOMAS, R. L.; SHEARD, R. W.; MOYER, J. R. 1967. Comparison of conventional and automated procedures for nitrogen, phosphorus, and potassium analysis of plant material using a single digestion. *Agronomic Journal* 59(1):240-243.
- TRINDADE, A. V.; SIQUEIRA, J. O.; ALMEIDA, F. P. 2001. Dependência micorrízica de variedades comerciais de mamoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 36(12):1485-1494.
- WANG, B.; QIU, Y. L. 2006. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza* 16(1):299-363.
- YAN, L. I. L. et al. 2012. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi communities on soil quality and the growth of cucumber seedlings in a greenhouse soil of continuously planting cucumber. *Pedosphere* 22(1):79-87.
- ZHANG, Z. et al. 2019. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on inoculated seedling growth and rhizosphere soil aggregates. *Soil and Tillage Research* 194(1):1-7.