

**BIOCHAR, FUNGOS MICORRIZICOS E ADUBAÇÃO VERDE
NO CULTIVO DO MAMOEIRO**

RENATO VELOSO DA SILVA

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO – UENF**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
JULHO - 2017**

**BIOCHAR, FUNGOS MICORRIZICOS E ADUBAÇÃO VERDE NO
CULTIVO DO MAMOEIRO**

RENATO VELOSO DA SILVA

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal”

Orientadora: Prof^a. Luciana Aparecida Rodrigues

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
JULHO – 2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do **CCH / UENF**

073/2017

S586 Silva, Renato Veloso da.

Biochar, fungos micorrizicos e adubação verde no cultivo do mamoeiro /
Renato Veloso da Silva – Campos dos Goytacazes, RJ, 2017.

102 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte
Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias,
2017.

Orientador: Luciana Aparecida Rodrigues.

Bibliografia: f. 67 - 88.

1. Mucuna. 2. Biocarvão. 3. Micorrizas Arbusculares. 4. Carica Papaya. 5
Mamão. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD – 634.651

BIOCHAR, FUNGOS MICORRIZICOS E ADUBAÇÃO VERDE NO
CULTIVO DO MAMOEIRO

RENATO VELOSO DA SILVA

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal”.

Aprovada em 13 de julho de 2017

Comissão Examinadora:

Pesquisador Antônio de Amorim Brandão (D.Sc., Fitotecnia) - UFRRJ

Prof^a. Solange Silva Samarão (D.Sc., Biotecnologia) – UENF

Prof. Alessandro Coutinho Ramos (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF

Prof^a. Luciana Aparecida Rodrigues (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF
(Orientadora)

"... Até aqui nos ajudou o Senhor "

1 Samuel 7:12b

À minha amada e querida esposa, Juliana

À minha mãe, Dulcinéa

Ao meu pai, Joaquim,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me dado força, coragem e saúde para chegar até aqui;

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro e ao programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pela possibilidade desse título, em especial, pelo fomento financeiro através de uma bolsa de estudos, me que auxiliou em todas as etapas;

Ao ex aluno de IC e, agora, Engenheiro Agrônomo Maurício, pela ajuda e dedicação na condução do experimento;

Aos meus colegas de trabalho do Posto de Fiscalização Éber Teixeira Figueiredo (IDAF) por terem me ajudado, muitas vezes, nas trocas de plantão, possibilitando estar presente na universidade para as aulas e demais atividades, durante esse tempo e, ainda, ao meu chefe, Marcelo Gabetto, por compreender e permitir essas trocas;

Às minhas diretoras, Rachel e Lucile; à coordenadora, Kenia, pela liberação de alguns dias de trabalho e, também, permitir minha saída um pouco mais cedo, em alguns dias de trabalho, podendo chegar em tempo hábil nas aulas;

Aos amigos e companheiros que conheci na Uenf;

Aos professores, pelo conhecimento compartilhado;

A todos os funcionários dessa instituição, que se dedicam em prol de uma educação pública e de qualidade;

À orientadora, Luciana Aparecida Rodrigues, um agradecimento especial, por ter me aceitado, sabendo das minhas outras atividades profissionais, e que isso poderia trazer algum risco para o andamento do programa. Obrigado pela compreensão e pela infinita dedicação em orientar-me, sempre muito solícita e competente, resolvendo todas as pendências ao longo desse ciclo. Meu muito obrigado;

Muito obrigado a todos, inclusive àqueles que não foram citados aqui, mas que de alguma maneira colaboraram pela concretização desse sonho. Minha eterna gratidão.

SUMÁRIO

RESUMO.....	III
ABSTRACT.....	v
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	5
2.1 Objetivo Geral.....	5
2.2 Objetivos específicos.....	5
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	6
3.1 A cultura do mamoeiro.....	6
3.2 Biochar.....	15
3.3 Fungos Micorrízicos Arbusculares.....	22
3.4 Adubação verde (FMA's)	31
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	36
4.1 Experimento I: Efeito do adubo Adubo verde e do Biochar no crescimento e nutrição de platas de mamão.....	36
4.2 Experimento II: Efeito da Autoclavagem do solo, da inoculação de micorrizas e da aplicação do briochar em mamoeiro.....	39
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
5.1 Experimento I: Efeito do Briochar e do Adubo verde o crescimento e nutrição de plantas de mamão.....	44
5.2 Experimento II: Efeito da Autoclavagem do solo, da inoculação de Micorrizas e da aplicação do biochar em mamoeiro.....	53
6. RESUMO E CONCLUSÕES.....	65

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
---------------------------------	----

RESUMO

SILVA, RENATO VELOSO, M.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, julho de 2017; Biochar, fungos micorrízicos e adubação verde no cultivo do mamoeiro. Orientadora: Prof^a Luciana Aparecida Rodrigues.

O uso do biochar como condicionador e para o aumento da fertilidade do solo vem sendo testado para diferentes culturas agrícolas. A associação do biochar a adubo verde ou micorrizas em plantas de mamão pode ser uma técnica de manejo promissora na primeira fase de cultivo dessa cultura. Foram conduzidos em casa de vegetação dois experimentos. O primeiro com objetivo de avaliar os efeitos do biochar e de adubo verde em mudas de mamoeiro. O experimento foi conduzido em delineamento experimental em blocos casualizados (5 blocos) com quatro tratamentos: com adubo verde, com biochar, com biochar+adubo verde (B+AV) e controle (sem adubo verde ou biochar). O adubo verde utilizado foi a *Mucuna aterrima* (Piper & Tracy), previamente cultivada até o florescimento quando foi cortada e aplicada (25 g de matéria fresca dm⁻³) incorporada ao solo nos vasos (4 dm⁻³). As sementes foram semeadas diretamente nos vasos e cultivadas até os 90 dias. O segundo experimento teve como objetivo avaliar o efeito do fungo micorrízico arbuscular (FMA) *Rhizophagus clarum*, em solo autoclavado e não autoclavado, e do biochar associado ou não ao FMA nas características de crescimento e nutrição de mamoeiro e na colonização das raízes. Foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (5 blocos) com seis tratamentos, sendo eles: solo autoclavado controle e com FMA; solo não-autoclavado controle; com FMA, com biochar (em solo não autoclavado) e com biochar+FMA. O solo foi

autoclavado por uma hora (2x). Em ambos os experimentos o biochar utilizado foi produzido a partir de cama de frango de aviário e utilizado a 1 % (v:v) misturado ao solo. As sementes foram semeadas diretamente nos vasos de 4 dm³, contendo como substrato um solo argiloso. No primeiro experimento, para as características de crescimento o biochar, o adubo verde e o biochar+adubo verde promoveram respostas positivas nas plantas. Nas características nutricionais (conteúdo e eficiência de utilização de macronutrientes) o biochar promoveu as melhores respostas, sendo mais indicado no cultivo do mamoeiro do que o adubo verde. Não houve diferença nas respostas da planta entre a aplicação do biochar e do biochar+adubo verde. No segundo experimento, observou-se que o biochar associado à inoculação com o FMA proporcionou alta colonização nas raízes das plantas com resultados semelhantes à colonização observada no substrato autoclavado. Verificou-se, também, que os maiores crescimentos (altura e diâmetro) e conteúdos de nutrientes (N, P, Ca e Mg) ocorreram em mudas inoculadas com FMA em solo autoclavado, em mudas que receberam o Biochar e, ainda, naquelas que receberam o B+FMA. Por outro lado, nesses mesmos tratamentos foram observados sintomas de deficiência de N (amarelecimento das folhas mais velhas). Concluiu-se que a aplicação isolada do biochar e conjunta do biochar+FMA, em solo não-autoclavado, proporciona respostas positivas no crescimento e nutrição das plantas de mamão e semelhantes à inoculação do FMA em solo autoclavado. A aplicação do biochar em solo não-autoclavado mantém a efetiva colonização do FMA inoculado nas raízes.

Palavras chave: mucuna, biocarvão, micorriza

ABSTRACT

SILVA, RENATO VELOSO. North Fluminense State University Darcy Ribeiro, July 2017; Biochar, mycorrhizal fungi and green manuring in papaia cultivation. Advisor: Prof^a Luciana Aparecida Rodrigues

The use of biochar as a conditioner and for increasing soil fertility has been tested for different agricultural crops. The association of biochar to green manure or mycorrhiza in papaia plants may be a promising management technique in the first phase of cultivation of this crop. Two experiments were conducted in the greenhouse. The first one was to evaluate the effects of biochar and green manure on papaya seedlings. The experiment was conducted in a randomized block design (5 blocks) with four treatments: with green manure, with biochar, with biochar + green manure (B + AV) and control (without green manure or biochar). The green manure used was *Mucuna aterrima* (Piper & Tracy) previously grown until flowering when it was cut and applied (37.5 g of fresh matter dm⁻³) incorporated into the soil in the containers (4 dm⁻³). The seeds were sown directly in the containers and grown until 90 days. The second experiment had as objective to evaluate the effect of arbuscular mycorrhizal fungus (AMF) *Rhizophagus clarum* on autoclaved and non - autoclaved soil, and biochar associated or not with AMF on growth and nutrition characteristics of papaya and root colonization. It was conducted in a randomized block design (5 blocks) with six treatments: autoclaved control soil and FMA; soil non-autoclaved control; with FMA, with biochar (in non-autoclaved soil) and with biochar + FMA. The soil was autoclaved for one hour (2x). In both experiments the biochar used was produced from poultry litter bed and used at 1% (v: v) incorporated into the soil. The seeds were sown directly in the pots of 4 dm⁻³ in a clay soil. In the

first experiment, the growth characteristics of biochar, green manure and biochar + green manure promote positive responses in plants. In the nutritional characteristics (content and efficiency of macronutrient use), biochar promoted the best responses being more indicated in the cultivation of papaya than the green manure. There was no difference in plant responses between the application of biochar and biochar + green manure. In the second experiment it was observed that the biochar + FMA provided high colonization in the roots of the plants with results similar to the colonization observed in the autoclaved substrate. It was also verified that the highest growths (height and diameter) and nutrient contents (N, P, Ca and Mg) occurred in seedlings inoculated with FMA in autoclaved soil, in seedlings grown with Biochar and with B + FMA. On the other hand, in these same treatments, symptoms of N deficiency (chlorosis of older leaves) were observed. It is concluded that the application of biochar and biochar+FMA r in non-autoclaved soil provides positive growth and nutrition responses of papaya plants and similar to FMA inoculation in autoclaved soil. The application of biochar in non-autoclaved soil maintains the effective colonization of AMF inoculated in the roots.

Key words: mucuna, biochar, mycorrhizae

1. INTRODUÇÃO

Diante do quadro de frutos tropicais produzidos no Brasil, a cultura do mamoeiro (*Carica papaya* L.) merece destaque, atribuindo ao país grande importância econômica. Nos estados da Bahia, Espírito Santo, Ceará, Rio Grande do Norte e Pará concentram-se a maior produção nacional do fruto, sendo que os estados da BA e ES, juntos, são responsáveis por cerca de 74% da produção nacional, o que permite ao país estar entre os principais exportadores da fruta, principalmente para o mercado europeu (ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, 2015), atingindo o 2º lugar no ranking da produção a nível mundial. A produção do mamão no Brasil acontece quase todos os meses do ano e em, praticamente, todo o território nacional. Apesar da extensão desse cultivo pelas diversas regiões, o mamoeiro predomina sua produção no norte do estado do Espírito Santo e sul do estado da Bahia. Entretanto, nesses estados tem sido cultivado em solos com baixa fertilidade, principalmente nos teores de fósforo (P), o que condiciona os produtores a usarem doses elevadas de fertilizantes (OLIVEIRA et al., 2004), uma vez que a deficiência desse elemento pode limitar o crescimento do mamoeiro do grupo Solo (COSTA & COSTA, 2003). Considerando a potencialidade da cultura, bem como a demanda crescente por nutrientes, principalmente fosfatados e nitrogenados, na produção de mudas e cultivo, fica evidente a necessidade por busca de tecnologias alternativas, que passem pela intensificação de uso de processos biológicos e insumos não convencionais com ganhos econômicos e ecológicos. Uma agricultura sustentável e menos dependentes de insumos agrícolas é uma opção importante na busca por adoção

de medidas que visem a mitigação dos impactos nocivos, promovidos pela agricultura convencional. Além disso, a elevação dos custos para a aquisição de fertilizantes minerais tem levado à procura por alternativas menos onerosas com intuito de redução dessas despesas (BRANDÃO et al., 2007). A maioria das técnicas apresenta como foco a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo com a utilização de condicionadores, aditivos, fertilizantes, dentre outros.

Uma das técnicas já renomadas para a melhoria da fertilidade e das características físicas do solo é a adubação verde. Dentre as vantagens da utilização dos adubos verdes encontram-se a proteção do solo contra os impactos das gotas de água das chuvas e, também, da incidência direta dos raios solares; aumento do teor de matéria orgânica do solo; incremento da capacidade de infiltração e retenção de água no solo; diminuição da toxicidade do Al e Mn devido ao aumento de complexação; promoção do resgate e da reciclagem de nutrientes de fácil lixiviação; extração e mobilização de nutrientes das camadas mais profundas do solo e subsolo; fixação do N atmosférico pela associação simbiótica entre leguminosas e bactérias fixadoras de N; inibição da germinação e do crescimento de plantas invasoras, seja por efeitos alelopáticos, seja pela simples competição por luz (VON OSTERROHT, 2002). O adubo verde pode ser utilizado associado ou não a outras técnicas de manejo visando o melhor aproveitamento dos nutrientes da sua biomassa.

A utilização de resíduos agroindustriais na agricultura de forma controlada também vem sendo utilizada e seus efeitos testados de forma a garantir a redução de custos e o destino correto para os mesmos. Uma dessas técnicas é o aproveitamento de resíduos para produção do biochar destinado à aplicação no solo. O biochar ou biocarvão foi inspirado em carvões observados nas Terras Pretas de Índio, que são solos férteis de ocorrência localizada na Amazônia. É um produto produzido pelo processo de pirólise de biomassa na ausência de oxigênio ou com baixos teores desse gás. A pirólise em ambiente com restrição de O₂ proporciona um material com teor de C de mais de 50% (MANGRICH et al., 2011). O processo de pirólise transforma a biomassa e ainda estabiliza o carbono no biochar de maneira que fique mais resistente a decomposição, quando este é aplicado ao solo (GAUNT & COWIE, 2009), sendo uma alternativa para o estoque imediato de carbono de uma maneira rápida e barata, além de melhorar as

condições de solo, facilitando a penetração de raízes e tornando as plantas mais resistentes (MANGRICH et al., 2011).

Outra técnica que visa uma melhor nutrição e resistência das plantas a condições edáficas restritivas é a colonização das plantas com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). Essas associações são praticamente universais nos ecossistemas terrestres, como sugeriu (HARLEY, 1989), dizendo que a condição de raízes não associada é exceção na natureza. Os benefícios promovidos por essa associação são resultantes da interação complexa e dinâmica entre os micélios fúngicos e as raízes, moduladas pelo ambiente. Esses benefícios não estão completamente compreendidos, mas resultam de mecanismos básicos que melhoram a nutrição das plantas: aumento da absorção de vários nutrientes; alterações fisiológicas nas raízes; alterações químicas e biológicas nas rizosféricas; e sinergismo com microrganismos diazotróficos, aumentando a fixação biológica de N₂ (SAGGIN JÚNIOR & SILVA, 2005). Nesse sentido, vários estudos (PAULA et al., 1991; SALA et al., 2007; MIYAUCHI et al., 2008) demonstraram que a incorporação de microrganismos benéficos, como fungos micorrízicos podem beneficiar o desenvolvimento e qualidade das mudas de diferentes espécies vegetais.

Por apresentar pouca ramificação de raízes e atingir pouca profundidade no solo, o sistema radicular do mamoeiro é considerado um fator que pode gerar deficiências nutricionais (SOUZA et al., 2000), podendo ser amenizada com a inoculação com esses FMAs. Por outro lado, na maioria das vezes, as respostas à inoculação de FMAs são factíveis e percebidas somente em ambientes controlados, como cultivos em estufas e solos estéreis (autoclavados), pois alguns isolados são extremamente sensíveis a competidores nativos. Isso acaba inviabilizando e limitando o uso dos FMAs a nível de campo. A introdução de mecanismos de aumentar a competitividade do FMA inoculado é importante para manter as respostas mesmo no campo.

Já foi constatado efeito sinérgico nas plantas da aplicação do biochar associado aos FMAs. Para Warnock et al (2007), a bem-sucedida relação do fungo micorrízico com adições de biochar no solo pode estar relacionada aos seguintes mecanismos: a) a adição de biochar eleva os níveis de nutrientes no solo, que promove melhores condições físico-químicas do solo para as micorrizas e também para as plantas hospedeiras; b) as adições de biochar aos solos resultam em

alterações com efeitos benéficos ou prejudiciais a outros organismos do solo, por exemplo, bactérias auxiliares de micorrização ou bactérias solubilizadoras de fosfato; c) biochar nos solos altera os processos de sinalização dos fungos vegetais e micorrízicos ou desintoxica aleloquímicos, levando a colonização radicular alterada por fungos micorrízicos; d) biochar serve como um refúgio de geradores de hifas.

A utilização de biochar associado à inoculação com FMA pode ser uma ferramenta importante, visando não somente atender as questões de crescimento e nutrição do mamoeiro, mas, também, auxiliar no estabelecimento do inoculante do FMAs na planta quando em presença de outros competidores.

O biochar também pode apresentar efeito sinérgico quando associado ao adubo verde, visando não somente atender as questões de crescimento e nutrição do mamoeiro, mas, também, o aumento da fertilidade do solo com redução de insumos como os fertilizantes.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o efeito do biochar, fungos micorrízicos e adubação verde no cultivo do mamoeiro.

2.2 Objetivos específicos:

- Avaliar o efeito do biochar, da aplicação de adubo verde e a inoculação de FMA (*Rhizophagus clarum*), no crescimento e nutrição de mudas de mamoeiro;
- Avaliar a aplicação do biochar associado ao adubo verde, no crescimento e nutrição do mamoeiro;
- Avaliar o efeito da inoculação com FMA associada ao biochar, no crescimento e nutrição do mamoeiro;
- Avaliar o efeito da autoclavagem do solo na colonização de FMA, no crescimento e nutrição de mudas de mamoeiro.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. A cultura do mamoeiro

Origem, importância e aspectos gerais

O mamoeiro (*Carica papaya* L.) é uma espécie herbácea, semiperene. No gênero *Carica*, a espécie *Carica papaya* L. é a mais cultivada no mundo inteiro, tendo sido descoberta pelos espanhóis no Panamá. É uma planta de clima tropical, cujo centro de origem provavelmente é o noroeste da América do Sul, vertente oriental dos Andes, ou mais precisamente, a bacia Amazônica superior, onde encontra-se sua máxima diversidade. Foi amplamente distribuída nos trópicos pelos espanhóis e portugueses num primeiro momento e, depois, pelos mercadores árabes (DANTAS, 2000). Em seguida, a cultura se disseminou para várias regiões do mundo (TRINDADE et al., 2000).

Encontra-se nos estados da Bahia, Espírito Santo, Ceará, Rio Grande do Norte e Pará a maior produção nacional do fruto. Os estados da BA e ES juntos são responsáveis por cerca de 74% da produção nacional, o que permite ao país estar entre os principais exportadores da fruta, principalmente para o mercado europeu (ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, 2015), atingindo o 2º lugar no ranking da produção a nível mundial. A produção do mamão no Brasil acontece quase todos os meses do ano e em praticamente todo o território nacional. As cultivares mais exploradas no país estão classificadas em dois grupos conforme o tipo de fruto: Solo e Formosa. Os híbridos do grupo Formosa (Tainung 1 e 2) são adequados somente à comercialização no mercado interno, enquanto que os grupos das cultivares do grupo

Solo (Sunrise solo, Golden etc) são comercializadas nos mercados interno e externo (TRINDADE et al., 2000).

Botânica

O mamoeiro possui basicamente três tipos de flores bem diferenciadas: flor pistilada ou feminina, flor hermafrodita e flor estaminada ou masculina (MARIN et al., 1995). A flor pistilada ou feminina é grande, composta por pedúnculo curto nas axilas das folhas, possuindo pétalas totalmente livres até a parte inferior da corola. Internamente, só apresentam o órgão feminino que é composto de um ovário grande e arredondado, necessitando de pólen de flores masculinas ou hermafroditas para fecundação e formação de frutos, que normalmente são arredondados ou ligeiramente ovalados, cuja cavidade interna é grande em relação à espessura da polpa.

A flor hermafrodita do mamoeiro não constitui um tipo único e definido, inclui outras formas como a pentândrica, intermediária e alongada. Essas duas primeiras flores dão origem a frutos deformados, sem valor comercial, conhecidos respectivamente, por frutos pentândricos e carpeloides (cara-de-gato). Já o fruto de valor comercial é oriundo de flor hermafrodita, que apresenta forma normalmente alongada.

As plantas do sexo masculino caracterizam-se por apresentar flores distribuídas em pedúnculos longos, originados nas axilas das folhas localizadas na parte superior do mamoeiro. Os mamoeiros-machos produzem somente flores estaminadas durante todo o ano, porém, em certas épocas do ano podem produzir algumas flores hermafroditas que se desenvolvem em frutos denominados de “mamões-de-corda”, “mamões-macho” ou “mamões-de-cabo” (DANTAS & CASTRO NETO, 2000). O fruto é uma baga de forma variável de acordo com o tipo de flor, sua cor pode variar de amarela, rosada a avermelhada (SIMÃO, 1971), sua casca é fina e lisa, de coloração amarelo-claro a alaranjada, protegendo uma polpa com 2,5 a 5cm de espessura e de coloração que pode variar de amarela a avermelhada. O fruto pode atingir até 50 cm de comprimento e pesar desde alguns gramas até 10 quilos. A textura pode ser firme ou delicada e o perfume acentuado ou não (SIMÃO, 1998; DANTAS & CASTRO NETO, 2000). As sementes são pequenas, redondas, rugosas e recobertas por uma mucilagem ou sarcotesta que normalmente apresentam uma coloração diferente para cada variedade.

Cultivares

A cultura do mamoeiro no Brasil está sustentada numa estreita base genética, com número limitado de cultivares plantadas nas principais regiões produtoras. A classificação em grupos é determinada pelas características dos frutos e são representados em dois grupos: 'Solo' e 'Formosa' (DANTAS, 2000). As cultivares do grupo Solo são geneticamente mais uniformes, consistindo de linhagens puras fixadas por sucessivas gerações de autofecundação. São amplamente utilizadas no mundo, havendo no Brasil o predomínio de duas cultivares: 'Sunrise Solo' e 'Improved Sunrise Solo cv. 72/12'. Existem ainda outras cultivares como 'Golden', 'Kapoho Solo', 'Waimanalo', 'Higgins' e 'Baixinho de Santa Amália', esta última difundida em diversas áreas produtoras. O grupo Formosa engloba híbridos resultantes do cruzamento da linhagem 'Sunrise Solo' com uma linhagem de mamão da Costa Rica de polpa vermelha ('Tainung 01') ou do cruzamento de 'Sunrise Solo' com uma seleção de polpa vermelha da Tailândia ('Tainung 02') (MARIN et al., 1995; SIMÃO, 1998 e DANTAS, 2000). Foram desenvolvidos nove híbridos através do programa de melhoramento genético do mamoeiro (FRUTIMAMÃO) da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro-UENF, em parceria com a CALIMAN Agrícola, são eles: UENF/CALIMAN 01, UENF/CALIMAN 02, UENF/CALIMAN 03, UENF/CALIMAN 04, UENF/CALIMAN 05, UENF/CALIMAN 06, UENF/CALIMAN 07, UENF/CALIMAN 08, UENF/CALIMAN 09 (PEREIRA et al., 2004). Pereira et al. (2004) ainda ressaltam que tais híbridos desenvolvidos atualmente são superiores aos materiais genéticos utilizados pelos produtores. Esses híbridos podem contribuir expressivamente com o crescimento da cultura do mamoeiro, com reflexos positivos, tanto no mercado interno quanto externo.

Propagação

O mamoeiro pode ser propagado via estaquia, enxertia e sementes, sendo que a propagação via semente, nas nossas condições são mais apropriadas (OLIVEIRA & TRINDADE, 2000). A cada 2 a 3 anos são necessários 150 milhões de novas mudas (DANTAS et al., 2003). As sementes devem ser provenientes de flores autopolinizadas, produzidas por plantas hermafroditas, de boa sanidade,

baixa altura de inserção das primeiras flores, precocidade, alta produtividade e que gerem frutos comerciais típicos da variedade, ou seja, frutos piriformes provenientes de flores hermafroditas (OLIVEIRA & TRINDADE, 2000).

Para a retirada das sementes, os frutos devem ser colhidos maduros, estando as sementes no seu máximo vigor. Com auxílio de uma faca, não muito afiada, os frutos são cortados superficialmente. Esse cuidado com a faca se faz necessário para não danificar as sementes. Logo em seguida, com o auxílio de uma colher, as sementes são retiradas e lavadas sobre uma peneira em água corrente. Podem ser utilizados outros equipamentos disponíveis no mercado para retirada da mucilagem que recobre as sementes (OLIVEIRA & TRINDADE, 2000). A semeadura é feita em recipientes plásticos. No entanto, ainda se faz uso de semeadura em leiras ou canteiros para posterior repicagem para recipientes específicos de produção de mudas. Para recipientes são utilizados sacos plásticos e canteiros móveis (bandejas de isopor ou tubetes), sendo o saco de polietileno o tipo mais utilizado (TRINDADE & OLIVEIRA, 2000).

A semeadura diretamente em saco de polietileno é a mais favorável, dando origem a plantas mais vigorosas e produção antecipada da muda (SIMÃO, 1998). Tubetes, bandejas e sacos plásticos ocupam volumes diferentes de substrato, podendo influenciar na qualidade final da muda. O tamanho do recipiente tem influência direta no custo final, uma vez que será a quantidade do substrato a ser utilizado, no espaço que irá ocupar no viveiro, na mão-de-obra utilizada no transporte, remoção para aclimação e retirada para entrega ao produtor, além da influência na quantidade de insumos demandada (QUEIROZ & MELÉM JÚNIOR, 2001).

A preparação do substrato é uma etapa na produção de mudas de extrema relevância (PEIXOTO, 1986), sendo desejável que um bom substrato apresente as seguintes características: facilidade na sua aquisição e transporte; ausência de patógenos; riqueza em nutrientes essenciais; pH adequado; boa textura e estrutura (SILVA et al., 2001). Para formação de mudas de mamoeiro, misturas são utilizadas, como: solo e esterco de curral na proporção de 3:1 (SOARES, 1998); ou solo, areia e esterco de curral curtido na proporção de 3:1:1, ou ainda na proporção de 2:1:1 (TRINDADE & OLIVEIRA, 1999). Outros substratos frequentemente utilizados para outras culturas e que promovem um alto rendimento também podem ser usados para propagação do mamoeiro, como é o caso do húmus Plantimax®, casca de arroz

carbonizada, esterco de galinha, palha de café e carvão vegetal (FAGUNDES et al., 2000; MAIA & INNECCO, 2000; SILVA, et al., 2001), pois em algumas regiões do país estes substratos são mais facilmente encontrados.

Adubação e nutrição do mamoeiro

No Brasil, a maior parte da cultura do mamão encontra-se implantada em solos de baixa fertilidade (norte do Estado do Espírito Santo e Extremo Sul da Bahia), principalmente no que se refere aos níveis de fósforo, o que leva à utilização de altas doses desses fertilizantes (OLIVEIRA et al., 2004).

Referendado pelas tabelas de recomendação de adubações para a cultura do mamoeiro nos estados da Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, São Paulo e Pernambuco e levando em consideração os níveis baixos dos nutrientes no solo, foi possível chegar às seguintes faixas de recomendações, em g planta, nos dois primeiros anos de cultivo: 180 a 400 de N, 90 a 300 de P₂O₅, 72 a 449 de K₂O. Essas variações nas doses recomendadas estão vinculadas às diferenças edafoclimáticas, às produtividades esperadas, assim como as condições de irrigação (OLIVEIRA et al., 2004). Ainda, segundo Campos et al. (2013) (Tabela 1) para suprimento do elemento N, além da aplicação no plantio deverá ser administrado em outras três doses, sendo a primeira (25 g) aplicada no início da floração, a segunda (15 g) 90 dias após e a terceira (30 g) 90 dias após a segunda. O K deve ser parcelado em duas doses, aplicadas conjuntamente com o nitrogênio. A primeira deve coincidir com a segunda de N (1/3 da recomendação) e a segunda (2/3 da recomendação) com a terceira de N. Utilizar, preferencialmente, sulfato de potássio como fonte de K.

Tabela 1: Recomendação de adubação de plantio, de nitrogênio, fósforo e potássio de acordo com o manual de calagem e adubação do estado do Rio de Janeiro (2013).

Teor de P (mg kg ⁻¹)	Dose de P ₂ O ₅ (g planta ⁻¹)	Teor de K (mg kg ⁻¹)	Dose de K ₂ O (g planta ⁻¹)
0 - 10	40	0 – 45	40
11 - 30	20	46 – 90	20
> 30	10	> 90	0

N: 30 g planta⁻¹

Dos macronutrientes, o potássio (K), o nitrogênio (N) e o cálcio (Ca) são os mais absorvidos, sendo o elemento fósforo (P) o menos extraído. Já entre os micronutrientes, o ferro (Fe), o manganês (Mn) e o boro (B) são os elementos mais absorvidos, enquanto o molibdênio (Mo) é o menos absorvido pelo mamão (OLIVEIRA et al., 2004).

O nitrogênio é o segundo elemento mais absorvido pelo mamoeiro, garantindo seu crescimento vegetativo. Sua exigência é crescente e constante durante todo ciclo da cultura, sendo crítica nos primeiros seis meses (SOUZA et al., 2000). Neste período, uma faixa de 23% do total de nitrogênio absorvido é exportada para as flores e frutos (LYRA, 2007). Quando o suprimento é insuficiente, são comuns nas folhas maduras áreas amareladas entre as nervuras. Posteriormente, essas folhas tornam-se todas amarelas, senescendo e destacando-se do caule. Podem, ainda, apresentar necrose com o centro marrom e margens púrpuras. Num outro estágio, com o agravamento da deficiência, toda a folhagem torna-se amarela, as folhas novas apresentando pecíolo mais delgado e limbo foliar menos desenvolvido. Por outro lado, o excesso de N proporciona crescimento excessivo do mamoeiro, com maior distância entre os frutos no tronco e polpa menos consistente (OLIVEIRA et al., 2004). Quando comparado ao nitrogênio e potássio, o Fósforo (P) é menos requerido pela cultura. No entanto, na fase inicial é necessário um suprimento adequado para o bom desenvolvimento do sistema radicular (SOUZA et al., 2000). Seus sintomas de deficiência são notados inicialmente nas folhas mais velhas, que apresentam um mosqueado amarelo ao longo das margens. Progredindo a carência, ocorre a necrose das partes amareladas e ainda há o enrolamento para cima das pontas dos lóbulos e das margens. Posteriormente, as folhas amarelam completamente e soltam-se do caule. Já nas folhas mais novas, observa-se uma forte tonalidade do verde e elas são menores. Existem outros estudos que descrevem a deficiência do fósforo, constatando o aparecimento de manchas púrpuras no limbo das folhas maduras, sendo que o centro de cada mancha torna-se necrótico com o tempo, com tonalidade tendendo para marrom. Por fim, os sintomas de deficiência se espalham das folhas mais velhas para as folhas mais novas (OLIVEIRA et al., 2004).

No caso do N, os teores no solo estão relacionados principalmente à quantidade de matéria orgânica desse solo (CANTARELLA, 2007).

O potássio é o elemento requerido em maior quantidade pela cultura do mamão, da mesma forma que o fósforo é exigido de forma constante e crescente. Contudo, sua maior demanda está na fase de florescimento (SOUZA et al., 2000). Sobre sua deficiência, as folhas mais velhas desenvolvem os sinais primeiro. Observa-se também redução no número de folhas, com projeção do pecíolo na posição oblíqua em relação ao caule. Nas margens e nervuras das folhas mais velhas é notado o aparecimento de um amarelo-esverdeado. Posteriormente, nas extremidades dos lóbulos dessas folhas surge uma leve necrose marginal. As folhas tendem a secar da ponta para o centro. Outro sinal que se observa é a presença dos bordos cloróticos, com pequenos pontos necrosados (OLIVEIRA et al., 2004). Ainda segundo Souza et al. (2000), plantas com deficiência de potássio sofrem uma queda drástica no número de folhas e frutos e apresentam menor diâmetro do caule.

O cálcio é o terceiro nutriente mais requerido pelo mamoeiro, interferindo no crescimento e multiplicação das raízes (SOUZA et al., 2000). Ao sinal de uma carência, pontos necróticos espalhados pelo limbo foliar, nas folhas maduras, pode ser indício de deficiência de cálcio. Esta clorose se estende posteriormente para as folhas mais novas; as folhas afetadas apresentam pecíolos tortos e dobrados. Porém, em outros estudos é relatado que os sintomas iniciais de deficiência de cálcio manifestam-se, não nas folhas mais velhas, mas sim, em folhas novas em expansão, tornando suas margens encurvadas, prejudicando o seu desenvolvimento. O amolecimento da polpa do fruto pode ser atribuído à deficiência do mineral, provocando sua menor resistência ao transporte e menor tempo de prateleira na comercialização (OLIVEIRA et al., 2004). Ainda, segundo Souza et al. (2000), a deficiência de cálcio se manifesta promovendo um colapso do pecíolo, queda prematura das folhas e exsudação de um látex, bem similar à deficiência de boro (B).

Em relação a outros minerais essenciais, ainda que a quantidade solicitada seja pequena, a qualquer sinal de carência o mamoeiro exterioriza diversos sintomas. Folhas maduras, apresentando um amarelo muito intenso, enquanto as áreas próximas a nervuras permanecem verdes, é um forte indicativo de deficiência de magnésio (SOUZA et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2004). Se a deficiência se agravar, até as folhas novas podem apresentar o problema. A principal função desse mineral é em seu papel catalítico, pois atua na síntese de proteína e na

ativação de muitas enzimas, sendo componente da molécula de clorofila, participando, portanto, dos processos de fotossíntese, além de auxiliar na absorção e translocação de fósforo (OLIVEIRA et al., 2004). Para Souza et al. (2000), folhas novas apresentando pequenas áreas cloróticas internervais, semelhantes a um rendilhamento e seus bordos voltados para cima, também são sinais de deficiência de magnésio.

Os sintomas de deficiência de enxofre são pouco comentados na literatura e se caracterizam por folhas levemente amareladas (SOUZA et al., 2000). Todavia, o crescimento do mamoeiro é comprometido antes mesmo dos sintomas visuais (OLIVEIRA et al., 2004).

Em relação aos micronutrientes, o boro é o micronutriente mais importante para o mamoeiro, pois além de ser extraído em grandes quantidades, afeta a qualidade e produção de frutos. São citadas como causas de deficiência a calagem ou acidez excessivas, deficiência hídrica, alta luminosidade, baixo teor de matéria orgânica e de B no solo. Na deficiência severa de B os pontos de crescimento da parte aérea e de raízes são afetados, os frutos se apresentam com aspecto encaroçado e malformados, com escorrimento de látex pela casca em 3 a 5 pontos bem distintos. Ocorrem, ainda, abortamentos de flores em períodos de estiagem, produção de frutos de forma alternada no tronco, folhas amareladas com pecíolos curtos e o sistema vascular pode ou não se apresentar escurecido (OLIVEIRA et al., 2004). Levantamentos realizados para se determinar a absorção, bem como a exportação de nutrientes pela colheita da cultura do mamoeiro, constataram que se trata de uma planta com potencial elevado de extração e que requer quantidades contínuas de nutrientes, durante o primeiro ano de produção, atingindo o máximo aos 12 meses de idade. A dinâmica, intermitente de sucessivas colheitas, após seu início produtivo, demonstra que a planta necessita de suprimentos de água e nutrientes em intervalos frequentes, a fim de permitir o fluxo contínuo de produção de flores e frutos (OLIVEIRA et al., 2004). Cunha (1979), avaliando a exportação de macro e micronutriente, no segundo ano de cultivo e, considerando uma produtividade média anual de $49 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, demonstrou que a exportação de macronutrientes em $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, durante 12 meses de colheita, foi na ordem de: N, 87; P, 10; K, 103; Ca, 17; Mg, 10; e S, 10. Enquanto que, para os micronutrientes, esses teores anuais exportados foram ($\text{g ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$): B, 48; Cu, 16; Fe, 164; Mn, 90; Mo, 0,38; e Zn, 68. Ainda que o B ocupe o quarto lugar na exportação pela

colheita, a manifestação da sua deficiência é comum em plantios, onde não são efetuadas adubações com esse nutriente.

A adubação orgânica representa importante forma de fornecimento de nutrientes para a cultura do mamão e proporciona excelente resposta no desenvolvimento e produção da planta. Essa prática traz como vantagens a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo.

Para adubação do substrato na produção das mudas de mamão é recomendado 1.000 g de P_2O_5 ou 5 kg de superfosfato simples e 500 g de cloreto de potássio por m^3 de substrato, usando-se terra de subsolo. Em solos com acidez elevada recomenda-se adicionar de 1,0 a 2,0 $kg\ m^{-3}$ de calcário. A partir do estabelecimento das primeiras folhas definitivas, recomenda-se irrigá-las com uma solução de Nitrogênio a 0,4% a cada 10 dias, tomando-se o cuidado de irrigar em seguida, com água, para evitar a queimadura das folhas. Se usada a adubação orgânica para fornecimento dos nutrientes para o substrato, deve-se dar preferência ao esterco de boi, sem resíduo de herbicida, na proporção de 30% do substrato, observando a necessidade de realizar uma complementação com micronutrientes, quando se utiliza esse tipo de adubação (MARTINS & COSTA, 2003).

Apesar de elevada exigência nutricional, o mamoeiro não dispõe de raízes eficientes na absorção dos nutrientes, pois essas são pouco profundas e pobres em ramificação, o que acaba contribuindo para deficiência nutricional da planta, sendo muito benéfica a associação com fungos micorrízicos arbusculares, em virtude da extensa rede de hifas emitidas no solo, por esses microrganismos, aumentando a extensão radicular, permitindo à planta absorver nutrientes que possuam baixa mobilidade no solo, diminuindo seu déficit. O P é o principal deles, mas ainda pode haver absorção de zinco, de cobre e até mesmo de potássio, nutriente muito exigido pela cultura do mamão (SOUZA et al., 2000).

As formas de entrada dos elementos no substrato para produção de mudas pode ser via adubação mineral, material de constituição do substrato ou de condicionadores (para substratos e condicionadores não inertes e dependendo da matéria prima utilizada para a sua fabricação), pois suas propriedades e teores variam em função de sua origem, método de produção ou obtenção, proporções de seus componentes, entre outras características (KRATZ et al., 2013). A adubação orgânica é outra alternativa que traz benefícios nos níveis nutricionais de um

substrato, além de promover melhoras nas características físicas (TIAGO et al., 2008). O substrato é um dos principais fatores que interferem na germinação das sementes, crescimento e qualidade das mudas (CUNHA-QUEDA et al., 2010).

No campo, as formas de entrada do N no sistema solo-planta para a cultura do mamoeiro estão relacionadas à adubação com adubos nitrogenados de alta solubilidade, adubação orgânica, adubo verde e, ainda, através de consórcios com plantas da família das leguminosas (OLIVEIRA et al., 2004).

3.2. Biochar

Segundo Lehmann (2007), o biochar é o produto obtido da pirólise de biomassa de resíduos vegetais ou animais, sendo um material carbonáceo de granulidade fina com elevado teor de carbono orgânico e largamente resistente à decomposição (mineralização). É um material sólido de cor negra, com densidade de 180 a 300 g m⁻³, friável. Recebe esse nome quando é destinado especificamente para aplicação de uso agrícola e ambiental. Pirólise é uma das muitas formas de se produzir energia a partir de biomassa (BRIDGWATER, 2003). É um processo de degradação térmica em ambiente com atmosfera controlada com pouco oxigênio ou na ausência dele, a uma faixa de temperatura ótima de 450 a 550° C (LEHMANN, 2007) e tem como objetivo manter o teor de C fixo no material, por meio da volatilização e remoção dos outros componentes da madeira, dando origem a um material com baixo teor de nitrogênio e elevada relação C:N.

O oxigênio é o segundo elemento mais abundante do biochar e suas concentrações estão diretamente ligadas à temperatura de carbonização aplicada (BENITES et al., 2009). Nestas temperaturas, a biomassa sofre decomposição térmica de seus precursores orgânicos por processo exotérmico, liberando grandes quantidades de componentes voláteis e calor, produzindo uma matriz carbonosa com estrutura porosa rudimentar, além de produzir um gás rico em hidrocarbonetos e bio-óleo, podendo ser aproveitados na produção de energia elétrica, biocombustíveis e hidrogênio para uso doméstico e em carros (CZERNIK & BRIDGWATER, 2004).

O biochar, quimicamente falando, é um produto formado por um amplo espectro de compostos aromáticos, formação esta que depende da temperatura de combustão, do material queimado, da umidade presente no material carbonizado

dentre outros (PONOMARENKO e ANDERSON, 2001). A fórmula geral teórica da carbonização pode ser descrita como: madeira (100%) + calor = carvão (33%) + gases condensáveis (42%) + gases não condensáveis (25%) (OLIVEIRA et al., 1982). Em termos de rendimento gravimétrico do biochar, a lignina é a que representa o composto mais importante, junto ao processo de carbonização. Durante a pirólise da lignina ocorrem duas reações competitivas (OLIVEIRA et al., 1982):

a. Reação de formação do carvão: parte da estrutura fenilpropanoide da lignina é modificada, favorecendo reações de condensação aromática, formando assim feixes de anéis aromáticos ricos em ligações difenila e éter-arila. Acima de 450 a 500 °C podem ser detectadas microrregiões “grafitizadas” que permanecem como resíduo (carvão) após a pirólise.

b. Reação de formação do alcatrão: partes da estrutura da lignina são recombinadas e arrastadas sob a forma de microgotículas originando o alcatrão, constituído por fenóis simples (creosoto) e fenóis poliméricos (piche).

A utilização de resíduos de biomassa queimados nas terras como substrato para retenção de água, gases e nutrientes com benefícios para as culturas não é uma técnica recente, existindo há tempos, registros da sua recomendação (LEHMANN, 2009). No entanto, ganhou notoriedade com a identificação da designada “Terra Preta” de Índios. Esta terra foi utilizada por algumas tribos, sendo caracterizada por grandes manchas de terras enriquecidas com biomassa carbonizada pelos agricultores. Algumas destas manchas negras e férteis são estimadas em 7000 anos, contendo três vezes mais N e P que os solos adjacentes e 18 vezes mais matéria orgânica (LAL, 2009). No processo de fotossíntese, à medida que as plantas vão crescendo, absorvem o CO₂, e, num segundo momento, após o carbono estar fixado é transformado em diversos compostos na planta, compondo a biomassa de raízes, galhos e folhas, podendo voltar para a atmosfera quando a planta morre e se decompõe (WOICIECHOWSKI, 2011). Desde a sua descoberta, tem-se feito muita pesquisa com o uso do biochar, argumentando-se que esta é uma opção viável de sequestro de carbono no solo e que melhora a qualidade do solo e o rendimento das culturas. Bird et al. (1999) apontam a eficiência que o biochar tem em disponibilizar nutrientes para o solo, incrementando a produção de biomassa das plantas e, em geral, o potencial produtivo do solo.

Estabilidade e decomposição do biochar no solo

A capacidade que um solo apresenta em estabilizar o C sequestrado, seja de ordem natural ou adicionado via matéria orgânica ou biocarvão, variam muito e está vinculado às diferenças nas propriedades químicas e físicas da matriz mineral, além da morfologia e estrutura química da matéria orgânica no solo (KUZYAKOV et al., 2009). A quantidade de matéria orgânica é proporcional à capacidade que o solo possui em estabilizar o carbono, sendo influenciada pelos agregados do solo e minerais de argila. Por esse motivo, é comum observar solos com elevado teor em carbono orgânico apresentando uma eficiência mais baixa na sua estabilização, enquanto que, ao contrário, em solos que apresentam baixo conteúdo de carbono, a estabilização é mais facilitada (NOBREGA, 2011).

Estudos recentes acerca da estabilidade do biochar estimam que dure até 1000 anos em ambiente natural (BEESLEY et al., 2010), mostrando que é muito mais eficiente no reforço da qualidade do solo que qualquer outro tipo de corretivo orgânico de solo (LEHMANN & JOSEPH, 2009). Estas características são possíveis graças às suas propriedades químicas e físicas, como a alta densidade de cargas que resulta numa maior retenção de nutrientes, a sua combinação natural de partículas com estrutura química específica, tornando mais resistente à degradação microbiana que outras matérias orgânicas do solo. No solo, o biochar é uma das frações com a maior média de vida dentre todas as frações contendo carbono (PESSENDA et al., 2004).

Os aspectos que determinam e favorecem a estabilização e persistência do biochar no solo são as condições ambientais, composição química e, ainda, as condições de pirólise. A degradação do produto (biochar) vai depender do tipo de material (biomassa) usado no processo de pirólise e da sua temperatura de transformação.

O biochar com alto teor em minerais e em grupos alifáticos ($\text{CH}_2 + \text{CH}_3$) e baixo teor em compostos aromáticos é menos estável do que o com alto teor em compostos aromáticos (LEHMANN et al., 2003).

No geral, a estabilidade do biochar dependerá não só das características da biomassa usada e das condições do processo, como também das condições ambientais (regime de água, temperatura) depois de estar incorporado no solo.

Alguns microrganismos são capazes de usar o biochar para fornecimento de carbono em seus processos metabólicos. Esta capacidade se dá graças à existência de uma enzima (manganês-peroxidase) liberada por alguns tipos de fungos (basidiomicetos) que são capazes de decompor lignina (LEHMANN et al., 2003).

O C pirolisado parece desempenhar um papel importante na dinâmica da matéria orgânica de solos antropogênicos, onde ele foi encontrado em proporções ainda maiores (GLASER et al., 2000). A adição de biochar nesse tipo de solo teve um papel fundamental na sua gênese (WOODS & MCCANN, 2001). A elevada proporção de matéria orgânica, altamente aromática está relacionada à acumulação seletiva de matéria orgânica estável em um ambiente onde a decomposição microbiana e oxidação é favorecida pelo uso do solo (ZECH et al., 1990), e ela está relacionada com o potencial de fertilidade elevado dos solos da Amazônia (MADARI et al., 2003).

Principais efeitos do biochar no solo

Lehmann et al. (2003) apontaram a eficiência do carvão vegetal em aumentar a disponibilidade de nutrientes no solo, e em geral o potencial produtivo do solo. Com o aumento da disponibilidade de nutrientes espera-se maior produção de biomassa das plantas e, conseqüentemente, maior fixação do CO₂ atmosférico através da fotossíntese.

Esses benefícios são possíveis, pois estão associados ao aumento da capacidade de troca de cátions (CTC), alcalinização do solo, retenção de água, absorção de nutrientes, entre outros efeitos que o biochar pode promover quando adicionado ao solo (BIEDERMAN & HARPOLE, 2013). Não só de forma direta, mas também, indiretamente, o biochar acaba influenciando algumas características do solo, até no que diz respeito à sua fauna, proporcionando ambientes físicos para proteção da população microbiana do solo (STEENWERTH et al., 2005). Isso é possível graças à sua mobilidade quando adicionado ao solo. Apresenta quantidades de C lábil que se encontram prontamente disponíveis para os microrganismos usarem como fonte de energia num relativo curto espaço de tempo (SMITH et al., 2010).

Outro aspecto a considerar sobre o biochar é na sua capacidade de adsorção e/ou complexação de matéria orgânica, componentes tóxicos e de gases dentro do solo, retenção e adição de nutrientes e no melhoramento do crescimento de microrganismos benéficos. Sobre a retenção de nutrientes, ele não apenas reduz a necessidade total de fertilizante, como também, o impacto no clima e ambiente das terras cultiváveis, além de otimizar a capacidade de retenção de água e de outras propriedades físicas do solo, garantindo um alto teor de carbono (NÓBREGA, 2011). Uma grande motivação para o seu uso está relacionada ao reaproveitamento de resíduos, produção de energia, mitigação das mudanças climáticas e do melhoramento do solo, que individualmente ou associados podem ter efeitos positivos no nível social e/ou financeiro e de sustentabilidade.

Além da utilização para fins agrônômicos, o biochar também vem sendo estudado para a remediação de solos e águas contaminadas, graças ao seu alto poder de adsorção (BEESLEY & MARMIROLI, 2011; KARAMI, 2011; TANG et al., 2013).

A CTC dos solos demonstra a forma como alguns nutrientes (cátions) estão ligados ao solo e, portanto, disponíveis para a absorção pelas plantas e menos propensos de serem lixiviados para águas subterrâneas e superficiais. É nos locais de carga negativa da superfície do biochar (e da argila e matéria orgânica do solo) onde os cátions podem se manter ligados e serem trocados. A liberação de nutrientes irá ocorrer até que se alcance o ponto de equilíbrio químico, que depende do pH (o consumo de H^+ na solução de solo implica a liberação/retenção de outra carga positiva/negativa) (NÓBREGA, 2011).

A matéria prima usada para ser carbonizada, assim como a temperatura de pirólise são atributos que influenciam a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) do biochar. Temperaturas mais altas promovem a perda dos grupos funcionais, fazendo com que a CTC seja baixa, diminuindo a capacidade em reter cátions (HOSSAIN et al., 2011; NACHENIUS et al., 2013; STEWART et al., 2013). Em contrapartida, com a maturação do biochar há um aumento na formação desses grupos e outros grupos oxigenados na superfície do biochar, fazendo que haja um aumento na CTC. Com essa maturação ocorre ainda uma redução considerável na Capacidade de Troca Aniônica (CTA), em virtude do desaparecimento de carga positiva da superfície (NÓBREGA, 2011). A substituição de cadeias alifáticas da biomassa por anéis aromáticos com grupos funcionais de superfície faz com que o

biochar aumente a capacidade de troca de cátions (CANTRELL, 2012; MUKHERJEE & ZIMMERMAN, 2013; SINGH et al., 2010; UCHIMIYA et al., 2010). Quanto mais antigo for o biochar, mais baixo será o pH, e o ponto de equilíbrio entre a CTC efetiva (afetada pelo pH) e CTA (não afetada pelo pH) também será mais baixo (SILBER et al., 2010).

Estas características afetam a disponibilidade dos nutrientes para a planta no solo com biochar incorporado. A relação C:N de um biochar é muito variável, influenciando suas propriedades recalcitrantes e também o tipo de C e N liberados durante a mineralização. No caso de um biochar com C:N elevado, espera-se que ocorra a imobilização de N, desencadeando a deficiência deste nas plantas. Isso ocorre devido à natureza recalcitrante do carbono, que restringe a dinâmica do nitrogênio. Experiências realizadas mostram que a incorporação de biochar no solo induziu a alcalinização do mesmo, o que aumentou a nitrificação, não dependendo este efeito apenas das mudanças de pH no solo. O aumento do pH influencia a disponibilidade do P. Por exemplo, em solos ácidos (<pH 4), formam-se compostos insolúveis de fosfato de alumínio e de ferro, enquanto que em solos alcalinos (>pH 8.5) dominam os fosfatos de cálcio (insolúveis). Sendo o pH do biochar de neutro a básico, a sua adição ao solo irá aumentar o pH do mesmo, suprimindo a toxicidade de alguns nutrientes, como o caso do Al^{3+} , induzindo também a adsorção na superfície de quelatos, que poderiam precipitar com o Al^{3+} e Fe^{3+} em solos ácidos (NÓBREGA, 2011).

Efeito do Biochar na dinâmica de água e nutrientes

A presença do biochar pode contribuir para mudanças significativas nas propriedades físicas do solo (SCHMIDT & SKJEMSTAD, 2002; LEHMANN et al., 2003; STEINER et al., 2007). A porosidade do solo, assim como suas demais características, pode ser afetada pela porosidade do próprio biochar.

Diferentes tipos de solo, clima e região levam a resultados distintos, no que se referem a distribuição e tamanho das partículas, a resistência mecânica e interação das partículas do biochar no solo. A dinâmica de água no solo pode ser afetada pelo bloqueio parcial ou total dos poros do solo em virtude do tamanho das partículas do biochar, diminuindo a taxa de infiltração de água, favorecendo solos que não retenham água com tanta facilidade (NÓBREGA, 2011). A superfície

específica de um solo é uma característica de extrema importância, pois afeta diretamente outras funções essenciais para fertilidade, incluindo os ciclos de água, ar e dos nutrientes, influenciando ainda, a atividade microbológica (BAILEY et al., 2011). Os solos arenosos, ao contrário dos argilosos, possuem uma capacidade reduzida em armazenar água e nutrientes para as plantas, o que se justifica pela formação de pequenas áreas de superfície específica de suas partículas. Os solos que contêm uma alta fração de argila têm elevada capacidade de armazenamento de água, porém, baixo arejamento. Concentrações altas de matéria orgânica no solo aumenta a capacidade de armazenamento de água, representando uma alternativa viável para solos que não possuem aptidão para essa função, como é o caso dos solos arenosos. Também se observam características muito semelhantes quando se adiciona o biochar no solo, graças à sua superfície específica, sendo maior do que a da areia e igual ou até superior à da argila, proporcionando um aumento na superfície específica do próprio solo (NÓBREGA, 2011).

A retenção de água no solo, promovida pelos efeitos do biochar é uma dinâmica bastante simples de ser compreendida. A retenção de água é determinada pela distribuição e conectividade dos poros de médio tamanho do solo, que são regulados pelo tamanho das partículas (textura), combinado com as características estruturais (agregação) e conteúdo em matéria orgânica (KARHU et al., 2011).

Essa capacidade na retenção de água está relacionada à alta porosidade e a sua estrutura química, rica em grupos polares, contendo oxigênio em sua maior parte, que podem reter água, graças ao estabelecimento de pontes de hidrogênio (PETTER & MADARI, 2012; THIES & RILLING, 2009). Ainda segundo Karhu et al. (2011), o efeito direto do biochar está relacionado com sua grande superfície interna e pela elevada quantidade de microporos, onde a água é retida por capilaridade. Assim, ao melhorar a porosidade total do solo, também se aumenta a água disponível para as plantas, o que representa um efeito benéfico no rendimento das culturas.

O efeito indireto relaciona-se com a hipótese de que a aplicação de biochar ao solo melhora a agregação ou a estrutura do mesmo. O biochar pode afetar a agregação do solo devido às interações com a matéria orgânica do solo, minerais e microrganismos. As características da carga de superfície e o seu desenvolvimento ao longo do tempo determinarão o efeito a longo prazo sobre a

agregação do solo. O aumento da CTC aumenta o seu potencial para atuar como agente de ligação de matéria orgânica e sais minerais (KARHU et al., 2011). A intensidade no incremento na retenção de água no solo pela adição do biochar dependerá da textura inicial do solo (KARHU et al., 2011).

Os nutrientes e a maior retenção de água levam à estimulação dos organismos do solo, que promovem um aumento da reciclagem de nutrientes presos nos resíduos da biomassa. O aumento da capacidade de retenção de água no solo, assim como da CTC pode ser explicado pelo efeito que o biochar provoca na dinâmica dos organismos do solo, na sua capacidade em realizar a reciclagem de nutrientes. A redução da acidez e da disponibilidade de Al (devido a CTC do biochar) também favorece o ambiente radicular (VAN ZWIETEN et al., 2010).

3.3. Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA`s)

As micorrizas são associações mutualistas entre certos fungos do solo e as raízes da maioria das espécies vegetais. Os fungos formadores de micorrizas arbusculares estão incluídos no filo Glomeromycota, um grupo monofilético de fungos classificados em quatro ordens, 13 famílias e 19 gêneros, com pouco mais de 215 espécies descritas (OHEL et al., 2008). Os FMAs são simbiotróficos obrigatórios, necessitando estar associado a um hospedeiro para que seu ciclo possa ter continuidade (SIQUEIRA et al., 2002). Entretanto, alguns autores contestam essa afirmação, pois conseguiram demonstrar que a espécie *Glomus intraradices* é sim, capaz de completar seu ciclo de vida na ausência da planta hospedeira, estando na companhia de rizobactéria promotora do crescimento: *Paenibacillus* (HILDEBRANDT et al., 2006), mas, na maioria dos casos, a presença da planta hospedeira é imprescindível para a oferta aos fungos de carboidratos e outros elementos necessários ao seu desenvolvimento e esporulação. O fluxo de carbono na raiz da planta é direcionado para o fungo sob a forma de açúcares (SOLAIMAN & SAITO, 1997), em resposta, o fungo transfere nutrientes minerais para a raiz (GEORGE et al., 1995). Estudos diversos demonstram, usando o ¹⁴C, que esses são deslocados da parte aérea das plantas para as hifas dos fungos, poucas horas após ser marcado (BUCKING & SHACHAR-HILL, 2005).

O principal benefício da associação está relacionado ao aumento da extensão da superfície de absorção da raiz (HERRMAN et al., 2004). As micorrizas também são responsáveis por promover maior ocorrência de alterações metabólicas, como maior atividade fotossintética, maior atividade enzimática e de substâncias reguladoras de crescimento. Essas alterações acabam conferindo às plantas maior resistência aos estresses advindos do ataque de pragas e doenças, assim como distúrbios provenientes de déficits hídricos e nutricionais ou, até mesmo, estresse térmico (COLOZZI FILHO & NOGUEIRA, 2007). Essas características são tão marcantes e determinantes, que Barbosa e Medeiros (2007) constataram que os fungos micorrízicos arbusculares são uma das causas prováveis de resistências das plantas tratadas com biofertilizantes às pragas e fitopatógenos. Os FMAs são componentes comuns da rizosfera e das raízes da maioria das plantas superiores, estando amplamente distribuídos no reino vegetal (DODD, 2000). A ocorrência dos FMAs é tão ampla que mais de 80% das plantas podem estabelecer associação simbiótica com as micorrizas (JEFFRIES et al., 2003; OEHL et al., 2011), chegando a ser considerada uma relação cosmopolita, reconhecida como parte importante e integral dos ecossistemas naturais de todo o mundo (GADKAR et al., 2001). Ainda segundo Bertolazi et al. (2010) as relações mutualísticas entre fungo e hospedeiro possui alto grau de especificidade, sendo este mecanismo governado por interação genética entre ambos.

Tamanha amplitude de distribuição geográfica e ocorrência nos vegetais possivelmente é explicada pela origem evolutiva dos FMAs (ALVES, 2004). O surgimento destes organismos coincide com a colonização das terras emersas pelas primeiras plantas terrestres no Siluriano, há 439 milhões de anos (KENDRICK & CRANE, 1997). Para Fitter & Moyersoen (1997), os FMAs certamente desenvolveram um papel decisivo no processo de conquista do ambiente terrestre, pois acredita-se que as plantas não seriam capazes de absorverem nutrientes do solo através de suas raízes rudimentares ou, então, o fariam em menor nível sem o auxílio dos simbioss micorrízicos.

Os FMAs são encontrados nos solos de diversos ecossistemas naturais e agrícolas, associados a raízes de plantas de quase todos os gêneros das Gimnospermas e Angiospermas, além de Pteridófitas e gametófitos de Briófitas (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002). Diversos fatores de natureza biótica e abiótica regulam a ocorrência desses fungos, interferindo na sobrevivência e na

germinação dos propágulos infectivos, alterando o processo e os efeitos da colonização radicular nas plantas (CARDOSO et al., 2010).

Os FMAs exercem grande influência na estruturação das comunidades vegetais (HEIJDEN et al., 2003), promovendo o aumento na absorção de nutrientes, como P (BRESSAN et al., 2001; PFEFFER et al., 1999, RODRIGUES et al., 2010), Zn e Cu (PFEFFER et al., 1999; MARSCHNER & DELL, 1994; RODRIGUES et al., 2010), N (RODRIGUES et al., 2010) e K (GUPTA et al., 2002; BRESSAN et al., 2001), também aumentam a tolerância das plantas a doenças radiculares (BORGES, 2007), exercem influência na diversidade e a produtividade vegetal (MILLER & KLING, 2000), e favorecem a comunicação de duas ou mais plantas através das hifas fúngicas (WARDLE, 2002; RODRIGUES et al., 2003). Ainda, segundo Finlay (2004), a micorriza tem sido associada ao aumento da nodulação e fixação de Nitrogênio em leguminosas.

No cenário nacional, tem-se verificado uma reposta muito significativa da adição de FMA em sistemas de produção de mudas, em diversas frutíferas, contribuindo para formação de mudas de excelente qualidade (COSTA et al., 2001, 2005; SILVEIRA et al., 2002; BARBOSA et al., 2003; WEBER et al., 2004; DOS ANJOS et al., 2005). Em mudas de mamoeiro foi constatado um incremento no crescimento, tornando essas plantas mais eficientes na absorção dos minerais Zn, Cu e K (bastante exigentes pela cultura) e principalmente o P, quando inoculadas com FMAs (SOUZA et al., 2000; DANTAS et al., 2003).

A capacidade dos FMAs de beneficiar a planta é muitas vezes denominada efetividade simbiótica ou eficácia simbiótica. Quanto mais ampla a adaptação dos FMAs às condições ambientais, maior é a sua eficiência simbiótica. Fungos que apresentam elevada eficiência simbiótica em diferentes avaliações podem ser utilizados em condições menos específicas de clima, solo e cultura (SAGGIN JÚNIOR & SILVA, 2005).

O estabelecimento da simbiose micorrízica é determinado por fatores edafoclimáticos e aspectos da relação fungo-planta. Por isso que ocorrem respostas diferenciadas por parte do hospedeiro, quando se inoculam diferentes espécies e/ou isolados de FMA (COSTA et al., 2001; CAVALCANTE et al., 2002). Além do ambiente e dos genomas da planta e do fungo, a densidade de propágulos também influencia a taxa de colonização e a resposta a micorrização (SIQUEIRA et al., 1994).

Certos fatores que afetam a formação da micorriza podem influenciar indiretamente o funcionamento da simbiose. A taxa de crescimento, a plasticidade e a atividade do sistema de raízes podem afetar a habilidade da planta em suportar as condições não favoráveis do solo, traduzindo numa maior ou menor extensão, no estabelecimento da associação (AZCÓN-AGUILAR & BAREA, 1997) e estabelecer a associação micorrízica em maior ou menor extensão.

Santos (2006) sugere, ainda, que a formação do estabelecimento da associação micorriza-planta, no campo, dependa de vários fatores do ambiente, tais como, disponibilidade de nutrientes, pH do solo, disponibilidade de água, temperatura, aeração, intensidade luminosa, fisiologia da planta hospedeira, interações com os microrganismos do solo e a toxicidade de certos pesticidas.

Classificação dos fungos micorrizicos arbusculares

Surgiram há mais de 450 milhões de anos e têm se mostrado de vital importância para o desenvolvimento e evolução das plantas terrestres (SMITH & READ, 2008). São reconhecidos três grupos principais de micorrizas: as micorrizas arbusculares, caracterizadas pelo desenvolvimento de hifas inter e intracelular, formando estruturas como arbúsculos e vesículas; as ectomicorrizas, conhecidas por formarem uma estrutura denominada de manto e a rede de Hartig, promovida pelo desenvolvimento ao redor das células do córtex, em virtude do crescimento intenso ao redor da raiz, sem que ocorra, contudo, a penetração de hifas nas células vegetais; e, por fim, as micorrizas orquidoides, exclusivas das plantas da família das Orchidaceae, possuindo crescimento intracelular de hifas, formando estruturas emaranhadas e elaboradas, os pelotons, cuja função é fornecer açúcares simples para o embrião da planta (SMITH & READ, 2008; IMHOF, 2009).

Com o avanço no uso de técnicas moleculares, no estudo filogenético, a classificação dos FMAs tem sofrido sensíveis alterações nos últimos anos (SAGGIN-JÚNIOR & SILVA, 2005). Atualmente, encontram-se agrupados no filo Glomeromycota, que possui quatro ordens: Paraglomerales, Archaeosporales, Glomerales e Diversisporales (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

A ordem Paraglomerales possui uma única família, Paraglomeraceae, com o gênero *Paraglomus*, que se caracteriza pela presença de espécies

monomórficas formando esporos glomoides na parte terminal de uma hifa esporogênica. O tubo germinativo dos esporos emerge do lúmen da hifa de sustentação, e a sequência de nucleotídeos 18S do gene rDNA separa esta família dentro de Glomeromycota (MORTON & REDECKER, 2001).

Archaeosporales tem as famílias Geosiphonaceae (não forma associação micorrízica), Archaeosporaceae e Ambisporaceae. Archaeosporaceae é composta pelos gêneros *Archaeospora* e *Intraspora*, com espécies dimórficas e monomórficas, respectivamente, com esporos acaulosporoides e entrofosporoides podendo ser encontrados no solo. Esses esporos apresentam duas paredes com várias camadas (SCHÜBLER et al., 2001).

Glomerales possui a família Glomeraceae, composta pelo gênero *Glomus* cujas espécies apresentam esporos formados isoladamente, em agregados frouxamente arranjados ou em esporocarpos, com ausência de paredes germinativas e hifa de sustentação contínua com a parede do esporo (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

Diversisporales engloba as famílias Acaulosporaceae, Gigasporaceae, Racocetraceae, Scutellosporaceae, Dentiscutataceae, Entrophosporaceae, Diversisporaceae e Pacisporaceae. Acaulosporaceae possui os gêneros *Acaulospora* e *Kuklospora* que se caracterizam pela presença de paredes germinativas e esporos formados a partir de um sáculo esporífero (SOUSA, 2009).

Composta pelo gênero *Gigaspora*, a família Gigasporaceae tem como características: fungos com esporos formados numa célula bulbosa, com parede permanente e laminar, e ausência de vesículas. Nas famílias Racocetraceae, Scutellosporaceae e Dentiscutataceae também há formação de esporos a partir de uma célula bulbosa, porém, nesse caso, todos os representantes apresentam pelo menos uma parede interna e placa germinativa (SOUSA, 2009).

A família Entrophosporaceae tem um único gênero, *Entrophospora* com esporos com uma parede externa e uma parede interna relativamente espessa e sem camada “*beaded*” (SIEVERDING & OEHL, 2006). Os gêneros *Diversispora* e *Otophora* pertencem à família Diversisporaceae, que difere das outras famílias incluídas em Diversisporales, por apresentar esporos glomoides e acaulosporoides, germinação não acompanhada pela formação da placa germinativa e sequência gênica específica do SSUrRNA (WALKER & SCHÜBLER, 2004).

Os representantes da família Pacisporaceae e do seu único gênero, *Pacispora*, caracterizam-se pela presença de “orb” (OEHL & SIEVERDING, 2004), a partir do qual o tubo germinativo é emitido, presença de duas paredes, com três camadas cada; parede interna flexível que cora de púrpura em Melzer. Segundo Walker et al. (2004), a ligação da hifa de sustentação é similar à base do bulbo dos esporos de Gigasporaceae, com a hifa sendo facilmente destacável.

Embora a taxonomia molecular tenha sido muito útil para elucidar a filogenia dos FMAs à nível de gênero ou níveis superiores, pouco tem sido feito para a diferenciação das espécies. Isso se deve, principalmente, às dificuldades em se multiplicar o fungo em cultura pura. Outra característica que dificulta a análise de FMA em nível de espécies é o alto grau de polimorfismo entre genes encontrados em um mesmo fungo (esporo) (BERBARA et al., 2006). Deste modo, a identificação das espécies é, em geral, feita pelas características morfológicas dos esporos (SILVA et al., 2006).

Características como as subunidades da parede e suas propriedades (cor, espessura, pigmentação, ornamentação e reações histoquímicas) podem ser observadas nos esporos e utilizadas para identificação à nível específico (BENTIVENGA & MORTON, 1994). Outra maneira de diferenciação de famílias e gêneros é o modo de como os esporos são formados. Os padrões de desenvolvimento dos esporos determinam as propriedades de suas paredes externas e internas e com origem independente, sendo componente importante no critério de classificação (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

A avaliação da diversidade de espécies de fungos só é possível, principalmente, pela extração, contagem e identificação de seus esporos coletados em campo (MORTON et al., 1995). Contudo, estes esporos, às vezes, apresentam baixa densidade, em virtude de serem parasitados ou, ainda, ausência de componentes como as paredes externas e internas, que são susceptíveis a alterações e deterioração por uma ampla gama de agentes presentes no solo (LEAL et al., 2009). Além disso, muitas vezes, a diversidade acaba sendo subestimada, pois nem todas as espécies da comunidade estão de forma que possam ser identificadas, ou seja, muitas espécies podem estar presentes somente na forma vegetativa (BARTZ et al., 2008).

De acordo com Morton et al. (1995), para um levantamento mais preciso da composição e distribuição de FMA em solo de campo, faz-se necessária a

diversificação dos métodos de amostragem, principalmente com a utilização do método conhecido como iscagem ou cultura armadilha. As espécies que produzem esporos nesta condição têm maiores chances de serem identificadas, pois os esporos em geral encontram-se em bom estado de conservação e em várias fases de desenvolvimento (BARTZ et al., 2008).

A multiplicação dos FMAs em vasos (cultura-armadilha) associada ao levantamento dos esporos recolhidos diretamente do campo, possibilita identificar maior número de espécies em trabalhos de diversidade. O uso frequente dessas armadilhas proporciona um quadro mais completo da diversidade de espécies de FMA. No entanto, alguns autores temem que a cultura armadilha possa selecionar espécies que esporulam facilmente, omitindo aquelas que, embora não esporulem, colonizam as raízes. Além disso, este método não possibilita a recuperação e identificação de todas as espécies, uma vez que a taxa de esporulação depende de fatores como temperatura, luminosidade, espécie fúngica, planta hospedeira empregada, dentre outros (BARTZ et al., 2008).

Efeito da micorriza, na formação dos agregados do solo

Além dos benefícios promovidos às plantas de uma maneira geral, na absorção de nutrientes e água, também é atribuído ao FMA, a contribuição efetiva na formação dos agregados do solo (MILLER & JASTROW, 1992), pelas suas hifas extraradiculares. Esse efeito é possível graças a um importante componente contido ou liberado pelas hifas dos fungos que é uma glicoproteína, denominada glomalina (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). A glomalina, além de participar do processo de agregação do solo, também representa uma importante fonte de estoque de carbono (NICHOLS E WRIGHT, 2006).

Em áreas agrícolas, as concentrações das frações facilmente extraível e glomalina total foram em torno de 0,5 e 3 mg g solo⁻¹, respectivamente (RILLIG et al., 2003), enquanto que em regiões semiáridas, as concentrações foram comparativamente baixas, não excedendo 0,3 e 0,6 mg g solo⁻¹ (BIRD et al., 2002). Em áreas revegetadas com plantas micorrizadas, a concentração de glomalina pode chegar a 3,65 mg g solo⁻¹ (CARAVACA et al., 2005). Contudo, em solos de floresta, Rillig et al. (2001) conseguiram extrair até 60 mg glomalina g solo⁻¹.

Além de favorecer a formação de agregados estáveis no solo (WRIGHT et al., 2007), a glomalina pode ainda participar dos processos de sequestro de metais pesados, contribuindo para redução e minimizando os riscos de toxicidade destes elementos para os microrganismos e plantas que habitam esses solos (GONZÁLEZ-CHÁVEZ et al., 2004). Segundo Cornejo et al. (2008), o sequestro de metais pesados pela glomalina pode ser um mecanismo altamente eficiente dos FMAs para melhorar as condições ambientais para seu crescimento, levando à estabilização de solos altamente poluídos por estes elementos.

Embora os mecanismos que regulam a produção de glomalina não estejam completamente compreendidos (PURIN & RILLIG, 2007), foi demonstrado que os fatores ambientais podem afetar a proporção desse componente nas hifas fúngicas (RILLIG & STEINBERG, 2002), como concentração de nutrientes e mineralogia do solo, condições climáticas (RILLIG et al., 2001) e espécies fúngicas (WRIGHT & UPADHYAYA, 1996). Além disso, a produção de glomalina pode ser afetada, ainda que indiretamente, pelo comprimento radicular, disponibilidade de plantas hospedeiras e balanço nutricional das plantas, por promover a alteração de alocação de fotossintatos para os FMAs (TRESENDER & TURNER, 2007).

Algumas características do solo, como disponibilidade de nutrientes e metais pesados podem influenciar a decomposição da glomalina, atuando sobre a atividade microbiana (LOVELOCK et al., 2004; VODNIK et al., 2008). Outra característica que pode influenciar é o conteúdo de argila, contribuindo para uma proteção física (NICHOLS & WRIGHT, 2005) ou estabilização da proteína, por estar ligada ao ferro em solos ricos com este elemento (RILLIG et al., 2001). Outra possibilidade é que a decomponibilidade da glomalina esteja sujeita a variabilidade e diversidade dos tipos de ecossistemas, talvez devido às diferenças na estrutura química ou ao grau com que está ligada às partículas do solo (TRESENDER & TURNER, 2007).

Fungos micorrízicos arbusculares em mamoeiro

No Brasil, a maior parte da cultura do mamoeiro encontra-se instalada em áreas com solos de baixa fertilidade (norte do estado do Espírito Santo e Extremo Sul da Bahia), com o agravante de possuírem baixos teores de fósforo (OLIVEIRA et al., 2004). Fato que representa um problema grave para a cultura, já que é

exigente no mineral, requerendo teores elevados, principalmente no seu crescimento inicial. A inoculação com fungos micorrízicos, tem se mostrado extremamente benéfica para cultura do mamão, principalmente no que diz respeito ao seu crescimento e na maximização de absorção de nutrientes, como é o caso dos elementos: Zn, Cu, K e, principalmente, o fósforo (SOUZA et al., 2000; DANTAS et al., 2003). Segundo Martins et al. (2000), o efeito da associação de FMA com compostos fenólicos proporcionaram aumentos significativos no crescimento e no conteúdo de fósforo de mudas de mamão, quando as doses de P são menores no substrato. Sendo assim, diferenças na absorção de nutrientes em mudas de mamoeiro inoculadas com fungo podem estar relacionadas às diferenças na porcentagem de colonização micorrízica da raiz (KHADE & RODRIGUES, 2009).

O mamoeiro é uma cultura que, em condições controladas (ambiente protegido, adubação, calagem e fumigação), apresenta elevada capacidade em estabelecer simbiose com micorrizas arbusculares (MA), respondendo muito bem à presença do fungo (AULER, 1995). A resposta à colonização micorrízica pode chegar a valores da ordem de 90% (SILVA & SIQUEIRA, 1991; AZEVEDO & SILVEIRA, 1994).

Trindade et al. (2001a), ao testarem quatro genótipos de mamoeiro dos grupos Solo e Formosa, em relação ao coeficiente de determinação genotípica, quanto à capacidade de se associarem à espécie de fungo micorrizico (*Gigaspora margarita*) concluíram que a resposta à inoculação foi satisfatória para os quatro genótipos testados, sendo que o grupo Formosa apresentou menor crescimento de raiz e maior demanda na forma da proporção entre parte aérea e comprimento de raiz. Já a eficiência micorrízica e a colonização radicular foram semelhantes para ambos os grupos de mamoeiro, situando-se em 60% e 50%, respectivamente, além da inoculação ter aumentado a absorção de Cu e K.

Com a inoculação das espécies *Glomus clarum* e *Gigaspora margarita*, os grupos Solo e Formosa podem ser extremamente beneficiados, reduzindo em até 7 vezes a necessidade de aplicação de fósforo no solo para se atingir a máxima da produção da parte aérea, em resposta a uma maior eficiência simbiótica, além da maior absorção de K para todos os genótipos testados de ambos os grupos, alcançando valores até 100% maiores do que plantas não micorrizadas (TRINDADE et al., 2001b). Neste sentido é provável que outras cultivares possam ser favorecidas com a inoculação dessas duas espécies de micorrizas. Entretanto,

nem todas as combinações de endófitos e hospedeiros apresentam efeitos similares de estimulação de crescimento e este fato pode ser interpretado por algum tipo de especificidade hospedeira, funcional ou compatível, sendo necessários mais estudos para elucidação do fato (KHADE E RODRIGUES, 2009).

De acordo com Dantas (2003), as associações micorrízicas tendem sempre de uma maneira geral, beneficiar a cultura do mamoeiro, contudo, algumas variedades acabam sendo mais beneficiadas que outras, é o que acontece a exemplo do híbrido Tainung N^o1, apresentando crescimento radicular menor se comparado a variedades Sunrise Solo e Improved Sunrise Solo Line 72/12, demonstrando necessidade maior de associação micorrízica.

Estudos revelam benefícios diversos na utilização de FMA na cultura do mamoeiro, principalmente quando a planta mais necessita, que é na sua fase inicial, pois além de influenciar na nutrição e crescimento, diminui o tempo de permanência das mudas no viveiro, reduzindo os custos com insumos e mão de obra, além de proporcionar maior vigor e sobrevivência das mudas após o transplante para o campo, reduzindo os custos adicionais com replante (LIMA, 2010). No entanto, grande número de trabalhos (BALOTA et al., 2010; TRINDADE et al., 2001a; CAMILI et al., 2012) foram realizados em solo esterilizado, ou seja, em situação em que não havia inóculos nativos possíveis competidores com o inóculo utilizado.

3.4. Adubação Verde

A adubação verde é uma prática agrícola utilizada há mais de 2000 anos pelos chineses, gregos e romanos. Do ponto de vista agrônomo, o uso de espécies vegetais para esta finalidade vem desde a década de 40 do século passado (WUTKE et al., 2009). O uso dessas plantas é cada vez maior no Brasil, em virtude da necessidade de uma produção agrícola estável e mais sustentável (OLIVEIRA et al., 2002). É uma prática vegetativa, fornecedora de matéria orgânica e nutrientes necessários às plantas, possibilitando uma redução no uso de adubo químico (BUZINARO et al., 2009) e, conseqüentemente, reduzindo os custos de produção. A adubação verde corresponde ao uso de espécies vegetais (adubos verdes/plantas de cobertura) em sucessão, rotação ou em consórcio com as culturas. É utilizada a fim de buscar uma melhor proteção para a superfície, assim como a manutenção e a melhoria da qualidade físico-hídrica, química e biológica

do solo, em todo o seu perfil. Outro benefício dessa prática está nas múltiplas possibilidades de utilização das plantas, podendo ser usadas para outros fins, tais como: na produção de sementes; uso das fibras e na alimentação animal.

As plantas mais utilizadas para essa finalidade são as leguminosas, pois além de adicionarem Carbono ao solo, são capazes de incorporar também o Nitrogênio atmosférico, graças à associação dessas plantas com bactérias do gênero *Rhizobium* (FARIA et al., 2004). Estudos mostram que várias espécies de plantas são beneficiadas com a incorporação de nitrogênio nessa relação e que, às vezes, a adubação sintética para fornecimento desse mineral nem chega a ser necessária (SAGRILO et al., 2009). Registros indicam ainda, que em alguns casos, essa quantidade pode ultrapassar 200 Kg.ha⁻¹ (DINIZ et al., 2010). Diante disso, fica evidente a economia desse insumo para adubação das culturas, como comprovou (CUBILLOS, 2010) em seu trabalho, estimando que o uso da adubação verde pode contribuir com, aproximadamente, 584 Kg de Nitrogênio por hectare e, ainda, com 15 a 30 Kg de Potássio, segundo (ZINGORE et al., 2003).

O incremento de N no solo, por meio da fixação biológica, mediante incorporação de biomassa, principalmente de leguminosas, proporciona economia significativa de fertilizantes nitrogenados. Essa prática também contribui para o controle de insetos-pragas, doenças, nematoides e plantas invasoras, reduzindo as aplicações de inseticidas, fungicidas e herbicidas (CARVALHO, 2010). A incorporação de N via adubação verde promove efeitos bastante significativos do ponto de vista da fertilidade do solo. Respostas semelhantes, Von Osterroht (2002) relatou em seu trabalho, elucidando os diversos efeitos da adubação verde como a proteção do solo contra os impactos das chuvas e, também, da incidência direta dos raios solares; rompimento de camadas adensadas e compactadas ao longo do tempo; aumento do teor de matéria orgânica do solo; incremento da capacidade de infiltração e retenção de água no solo; diminuição da toxicidade do Al e Mn devido ao aumento de complexação e elevação do pH; promoção do resgate e da reciclagem de nutrientes de fácil lixiviação; extração e mobilização de nutrientes das camadas mais profundas do solo e subsolo, tais como Ca, Mg, K, P e micronutrientes; fixação do N atmosférico de maneira simbiótica pelas leguminosas; inibição da germinação e do crescimento de plantas invasoras, seja por efeitos alelopáticos, seja pela simples competição por luz.

Alves et al. (1996), avaliando os efeitos da adubação verde nas características químicas de um solo Podizólico Vermelho-Amarelo, cultivado com laranjeira, verificaram que houve aumentos significativos de nutrientes nas camadas de 0-10 cm de profundidade. Ainda, segundo outros autores, estudando os efeitos do adubo verde nas propriedades químicas de um Luvissole degradado, Nascimento et al. (2003) observaram efeitos significativos das leguminosas (crotalária, guandu, guandu-anão, calopogônio, feijão-de-porco, lab-lab, kudzu tropical, siratro, leucena, cunha, mucuna preta, e mucuna cinza) sobre a fertilidade desse solo, se comparado à testemunha, mostrando incrementos significativos de pH e de cátions trocáveis, refletindo de forma positiva na CTC e no Índice de Saturação de Bases. São incorporados ao solo, substâncias orgânicas como exsudatos das raízes, biomassa radicular e foliar, ácidos orgânicos e diversas substâncias elaboradas como, aminoácidos e fitormônios (DELARME LINDA et al., 2010).

Alcântara et al. (2000), avaliando os efeitos da adubação verde na recuperação de um Latossolo Vermelho-escuro distrófico degradado, também encontraram respostas significativas ao utilizarem as leguminosas guandu e crotalária-júncea, avaliadas aos 90, 120 e 150 dias após o manejo. Neste trabalho, o guandu se destacou na primeira avaliação quanto às melhorias na fertilidade do solo e a crotalária-júncea na segunda avaliação, não sendo encontradas respostas significativas para fertilidade do solo, na terceira avaliação.

A base para o sucesso dos cultivos agrícolas está, diretamente, relacionada à manutenção das características físicas do solo para que haja um equilíbrio entre a cultura e o ambiente (FACHINELLO et al., 2003), já que essas características são importantes para o crescimento das plantas. Dentre essas características, o que influencia mais decisivamente o crescimento vegetal são os macroporos. Esses macroporos são facilmente alterados, em função do manejo adotado, como é o caso do uso indiscriminado de máquinas e implementos agrícolas, que deixam os solos compactados, aumentando a resistência mecânica desses ao crescimento vertical das raízes da maioria das culturas, além de uma diminuição da infiltração de água. Contudo, a adubação verde pode ser usada como medida biológica de atenuação dos efeitos nocivos da compactação, por diminuir a resistência mecânica dos solos à penetração das raízes (MINATEL et al., 2006). O uso de plantas que possuam seus sistemas radiculares desenvolvidos pode ser uma alternativa a mais

para minimizar os efeitos da compactação (ESPÍNDOLA et al., 1997), pois essas plantas promovem um desarranjo no solo com suas raízes ao penetrarem camadas mais compactadas, que ao sofrerem decomposição deixam canais que contribuem para infiltração de água e difusão de gases, melhorando as condições físicas do solo (FOLONI et al., 2003). Assim, a adoção de plantas descompactadoras favorecem o aumento da macro, micro e porosidade total, reduzindo com isso, a densidade do solo (SANTOS et al., 2008). Kitamura et al. (2004), avaliando a eficiência de adubos verde, lodo de esgoto e cultivo de plantas nativas de cerrado sobre as propriedades físicas do solo, observaram efeitos significativos sobre a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, com maiores valores de macroporosidade e porosidade total na vegetação nativa (cerrado). Buscando melhorar as propriedades físicas do solo, usando diferentes tratamentos: testemunha (solo exposto sem técnicas de recuperação) – não se efetuou o preparo nem plantio da espécie arbórea; espécie arbórea gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott); gonçalo-alves + feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); gonçalo-alves + nabo forrageiro (*Raphanus sativus*); e gonçalo-alves + gramínea (*Brachiaria decumbens*) + lodo de esgoto (60 Mg ha⁻¹). Alves et al. (2007) verificaram que ocorreu a diminuição significativa da densidade do solo para todos os tratamentos. Ressalta-se, ainda, que a diminuição da compactação e outras ações que busquem melhorias nas propriedades físicas do solo com o uso de adubo verde não pode representar de maneira isolada, a única alternativa de solucionar o problema, mas sim, uma das ações conjuntas para melhorar de fato as características físicas do solo. Uma dessas está no impedimento direto de gotas de chuva no solo, contribuindo assim, para evitar a erosão e a perda da camada superficial mais fértil (FERREIRA et al., 2012).

As propriedades biológicas do solo estão relacionadas às diversidades de organismos vivos, que habitam esse meio. A adubação verde tem papel preponderante nessa relação, exercendo influência na dinâmica desses organismos no solo, haja vista o exemplo do que ocorre com os fungos micorrizas e as bactérias do gênero *Rizhobium*, além do aumento das atividades das minhocas (FERREIRA et al., 2012). De acordo com Coleman et al. (2004), a biota do solo tem influência decisiva na manutenção de sua fertilidade e que suas atividades são de extrema importância para vários processos que ocorrem no solo, podendo serem destacados a disponibilidade e retenção de nutrientes, decomposição de materiais

orgânicos, acúmulo de matéria orgânica e estabilização dos agregados do solo. Os organismos da fauna edáfica são partes integrantes do solo, capazes de modificar características físicas, químicas e biológicas do ecossistema, sendo importante ferramenta de avaliação da qualidade do solo (STEFFEN et al., 2007). A atividade biológica é afetada pela adubação verde, em virtude da atividade exercida sobre a matéria orgânica do solo, suprindo os microrganismos com substâncias orgânicas e inorgânicas necessárias ao seu desenvolvimento (SILVA, 2007).

A incorporação de adubos verdes no solo promove a ciclagem mais rápida de nutrientes, favorecendo seu uso pela cultura em sequência, principalmente, aqueles nutrientes com potencial de lixiviação como o nitrogênio ou aqueles que podem ser fixados como o P. A utilização da adubação verde pode minimizar as perdas de solo provocadas por erosões hídricas ou eólicas.

Outra vantagem está relacionada com a população microbiana do solo, ou seja, a riqueza da diversidade dos microrganismos, que com reflexo na qualidade do solo, principalmente, pela potencialidade em relação à fixação biológica de nitrogênio; à associação com fungos micorrízicos; à ciclagem de nutrientes; e à tolerância ao estresse hídrico (CARVALHO, 2010).

Algumas características agronômicas são desejáveis e se fazem necessárias na escolha de espécies vegetais para adubação verde, dentre elas: rendimento de biomassa; produção de sementes; ciclo compatível com a cultura comercial; sementes de fácil obtenção e colheita; baixa susceptibilidade a doenças e insetos-pragas; enraizamento profundo; tolerância ao alumínio; eficiência na associação com fungos micorrízicos; extração e ciclagem de nutrientes; fixação de nitrogênio atmosférico; resistência ao estresse hídrico; controle de invasoras e de nematoides; aumento da produtividade das culturas subsequentes.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Experimento I: Efeito do adubo Adubo verde e do Biochar no crescimento e nutrição de plantas de mamão

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da unidade de apoio da Universidade Estadual do Norte Fluminense- UENF, na cidade de Campos dos Goytacazes, na região Norte Fluminense. Localizado a 21° 19' 23" de latitude sul e 41° 19' 40" de longitude oeste com altitude variando no município de 20 a 30 m. O clima da região Norte Fluminense é classificado como do tipo Aw de Köppen, tropical quente e úmido, com período seco no inverno, chuvoso no verão e precipitação anual em torno de 1.152 mm (Köppen, 1948).

O experimento adotado foi em delineamento em blocos casualizados (DBC), com cinco repetições e com quatro tratamentos: com adubo verde, com biochar, com biochar+adubo verde (B+AV) e controle (sem adubo verde ou biochar).

O biocarvão utilizado no experimento foi obtido da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), através do professor Cláudio Roberto Fonseca Sousa Soares, sendo produzido a partir da pirólise de cama de aviário a 700°C, pelo SPPT Pesquisa Tecnológicas Ltda. em Mogi-Mirim, SP. O biocarvão foi aplicado no solo na quantidade de 2,76 g dm³ solo, correspondendo a 1% do volume do solo. A análise química do biocarvão realizada por meio da digestão total, de acordo com Claessen et al. (1997), resultou nos seguintes teores de macronutrientes (g kg⁻¹): 42,91; 27,62; 62,32; 6,7; 9,04; 5,20 e 331,02, respectivamente para N, P, K, Ca,

Mg, S e C, e para micronutrientes (mg kg^{-1}): 1621; 636; 588 e 588, respectivamente para Fe, Cu, Zn e Mn e pH (água) = 8,9.

O adubo verde utilizado para compor os tratamentos foi a Mucuna-preta (*Mucuna aterrima*, sinónimoia *Stizolobium aterrimum* (Piper & Tracy)), sendo cultivada até o início do florescimento. Em seguida, foi cortada (em segmentos de até 2 cm), com auxílio de uma máquina trituradora, prosseguindo sua incorporação aos tratamentos, sendo colocada em vasos e incorporada ao solo do experimento (somente nos tratamentos cujo manejo consta a mucuna). Uma amostra da mucuna foi separada para análise da composição nutricional, seguindo a metodologia adotada por Malavolta (2006), apresentando os seguintes teores de macronutrientes (g kg^{-1}) 30,38; 1,23; 9,98; 11,28; 2,29 de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente, e de micronutrientes (mg kg^{-1}) 734; 16; 40; 54 de Fe, Cu, Zn e Mn, respectivamente.

Nos tratamentos, cujo manejo corresponde ao adubo verde, foram adicionados aos vasos 25 gramas da mucuna fresca por dm^3 de solo, já triturada (matéria fresca com 73 % de umidade), sendo 15 g de mucuna incorporado ao solo o restante foi adicionado em cobertura. Esse valor foi baseado na produção de biomassa fresca de mucuna produzida e incorporada ao solo por hectare acordo com Suziki e Ales, (2006).

O solo foi coletado no município de São Francisco de Itabapoana, apresentando textura argilosa. Após a coleta, o solo foi seco ao ar e à sombra por 5 dias. A análise química do solo encontra-se na Tabela 3.

O solo recebeu $0,29 \text{ g dm}^{-3}$ de calcário (PRNT 80%), foi homogeneizado e incubado mantido a 60% da sua capacidade de campo. Após 30 dias da calagem, o solo de todos os tratamentos foi adubado com 15 mg dm^{-3} de P, na forma de fosfato de Araxá e também recebeu o biochar (para os tratamentos com biochar). Foram utilizados vasos plásticos de 4 dm^3 .

Tabela 2. Caracterização química do solo utilizado antes da instalação do experimento (Metodologia de acordo com EMBRAPA, 1997). (Média de 3 repetições)

Características	Valores	Características	Valores
pH*	5,3	C (%)	0,96
P (mg dm ⁻³) **	3	m (%)	0
K (mg dm ⁻³) **	100	V (%)	48
Ca (cmol _c dm ⁻³) ***	1,0	MO (g dm ⁻³) *****	16,6
Mg (cmol _c dm ⁻³) ***	0,5	Fe (mg dm ⁻³) **	32,0
Al (cmol _c dm ⁻³) ***	0,0	Cu (mg dm ⁻³) **	0,4
H + Al (cmol _c dm ⁻³) ****	1,9	Zn (mg dm ⁻³) **	1,4
Na (cmol _c dm ⁻³) **	0,02	Mn (mg dm ⁻³) **	5,9
SB (cmol _c dm ⁻³)	1,8	B (mg dm ⁻³) **	0,18
T (cmol _c dm ⁻³)	3,7		
t (cmol _c dm ⁻³)	1,8		

pH em água; ** Mehlich (H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ + HCl 0,05 mol L⁻¹), *** KCl 1 mol L⁻¹, **** Acetato de cálcio pH 7, ***** dicromato de potássio/colorimétrico

As sementes de mamão foram obtidas de frutos produzidos pela empresa Caliman Agrícola S/A, sendo a espécie *Carica Papaya* L.A. cultivar Ouro do grupo Solo. As sementes foram colocadas na água para embeber por uma hora, e em seguida foram lavadas em água corrente para a retirada da mucilagem que recobre a semente.

Por ocasião do plantio foram colocadas seis sementes de mamão em cada vaso, sendo posteriormente adicionada uma pequena porção de solo para cobri-las. Após a semeadura nos vasos, procedeu-se a irrigação, a fim de elevar a capacidade de campo a 60% em cada vaso.

Tendo em vista a diferença entre os tratamentos em relação à necessidade de irrigação, a cada 15 dias, cada vaso recebeu água até 100% da capacidade de campo (adicionando-se água cuidadosamente até verificar a lixiviação no recipiente colocado no fundo dos vasos. A quantidade de água colocada em cada vaso era

quantificada e 60% desse valor era utilizado para a irrigação para os próximos 15 dias).

Após a germinação e estabelecimento das plântulas, quando as mesmas já apresentavam duas folhas, em média, foi realizado um raleio, deixando-se três mudas por vaso. A cada 10 dias foram realizadas medições de altura, por meio de régua milimetrada, a contagem do número de folhas e diâmetro, com o auxílio de um paquímetro digital, de cada planta nos vasos. A irrigação foi mantida ao longo do crescimento das plantas até o surgimento de sintoma de deficiência nutricional em um dos tratamentos que foram observados aos 90 dias após o semeio. A parte aérea das plantas foram colhidas e secas em estufa com circulação forçada a 60° C e quantificada a massa seca, sendo essas submetidas à digestão nítrico-perclórica e, em seguida, determinados os teores de P, K, Ca e Mg da parte aérea das plantas e calculados os conteúdos. Foi realizada digestão sulfúrica para determinação dos teores de N (MALAVOLTA, 2006). Foi calculado o conteúdo dos nutrientes e, em seguida, a Eficiência de Utilização de Nutrientes (EUN) com base na equação: $EU = [(Mat. Seca \text{ em grama})^2 / \text{conteúdo elemento em grama}]$ (SIDIQI & GLASS, 1981).

A análise estatística dos dados de crescimento e nutricionais foi realizada por meio da análise de variância, e as diferenças entre os tratamentos foram verificadas através do Teste Tukey até o nível de 5% de probabilidade com base nos dados médios de cinco repetições, realizada pelo programa estatístico SAEG.

4.2 Experimento II – Efeito da Autoclavagem do solo, da inoculação de Micorrizas e da aplicação do biochar em mamoeiro

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da unidade de apoio da Universidade Estadual do Norte Fluminense- UENF, na cidade de Campos dos Goytacazes, na região Norte Fluminense. Localizada a 21° 19' 23" de latitude sul e 41° 19' 40" de longitude oeste com altitude variando no município de 20 a 30 m.

O experimento adotado foi em delineamento em blocos casualizados (DBC) com cinco repetições e seis tratamentos, sendo eles: 1) solo autoclavado (controle 1); 2) solo autoclavado e inoculado com micorriza; 3) solo não autoclavado (controle 2); 4) solo não-autoclavado e inoculado com micorriza; 5) solo não-autoclavado e com biochar e 6) solo não-autoclavado e com micorriza + biochar.

O biochar utilizado neste experimento é o mesmo utilizado no experimento anterior. O biochar foi aplicado no solo na quantidade de 2,76 g dm³ solo correspondente a 1% do volume do solo.

O FMA utilizado no experimento foi da espécie *Rhizophagus clarum*, pertencente ao banco de inóculos do laboratório de solos da UENF, sendo o inoculante *R clarum*-UENF.

A multiplicação do inóculo do *R clarum* foi realizada em solo, em casa de vegetação. O solo destinado ao preparo do inóculo de FMAs (*Rhizophagus clarum*), classificado como Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico, foi coletado na profundidade de 0-20 cm, peneirado em malha de 2 mm, misturado com areia lavada na proporção de 1:1 (v:v) e esterilizado em autoclave à temperatura de 121°C por 2 horas. Foi realizada uma análise química do fósforo disponível no solo para garantir a baixa disponibilidade deste nutriente e a não interferência no desempenho dos FMAs.

Para multiplicação do inóculo, foram semeadas em vasos de cultura contendo 4 dm³ de solo autoclavado, seis sementes de *Brachiaria brizantha*. Estas foram desinfestadas em solução de hipoclorito de sódio 0,5%, durante 15 minutos e posteriormente lavadas com água destilada por quatro vezes consecutivas. Foram adicionados 50 cm³ de inóculo das espécies de FMAs *Rhizophagus clarum* em cada vaso. Após o plantio, os vasos foram mantidos em casa de vegetação por um período de 90 dias. Sequencialmente, as partes aéreas foram podadas e os vasos cobertos com folhas de papel, sem irrigação por um mês, para facilitar a esporulação dos fungos. Transcorrido este período, o inóculo permaneceu conservado em câmara fria a 4°C. Para a contagem de esporos no inóculo foram realizados os métodos de decantação e peneiramento úmido (GERDEMANN & NICOLSON, 1963) e de centrifugação e flutuação em sacarose (JENKINS, 1964). A quantificação dos esporos foi realizada em placas de acrílico com anéis concêntricos, sob microscópio estereoscópico (40x).

Contagens anteriores de esporos desse fungo registram um número médio de 1237,50 esporos/50 g de solo, pelo método citado acima. Essa quantidade de propágulos foi adicionada em cada vaso, que receberam os tratamentos com fungo, sendo adicionado 50 mL do inoculante, composto de solo, raiz, esporos e hifas.

Com a finalidade de restabelecer a comunidade microbiana nos substratos (exceto para os tratamentos que receberam o inóculo de FMA), foi acrescentado

em todos os vasos que não receberam o tratamento com FMA, 5mL de um filtrado do solo inóculo, estando, porém, isento de propágulos de FMAs (CARDOSO, 2008). Para tanto, foi misturado em 1 L de água deionizada, 50 mL de cada solo-inóculo, agitado vigorosamente com bastão de vidro e, posteriormente, peneirado em peneira de malha de 44 μ m com o objetivo de reter propágulos de FMAs. O material que passou pela peneira (filtrado) foi utilizado como inoculante de outros microrganismos, porém, isentos de micorrizas.

O solo usado no experimento foi coletado no município de São Francisco de Itabapoana, apresentando textura argilosa. Após a coleta no campo, o solo foi seco ao ar e à sombra por 5 dias. As amostras de solo foram submetidas à análise química cuja análise do solo original (Tabela 2).

O solo correspondente a todos os tratamentos recebeu 0,29 g dm⁻³ de calcário (PRNT 80%) e foi homogeneizado e incubado mantido a 60% da sua capacidade de campo. Após 30 dias da calagem, o solo foi adubado com 15 mg dm⁻³ de P na forma de fosfato de Araxá e, também, recebeu o biochar para os tratamentos com biochar, sendo, em seguida, adicionado a vasos plásticos de 4 dm⁻³.

Para os tratamentos correspondendo ao solo autoclavado foram coletadas amostras de 5 dm³ de solo, adicionadas em sacos plásticos e autoclavadas por 1 hora a 120° C. Esse procedimento foi repetido por duas vezes com intervalo de 24 horas entre eles.

Por ocasião do plantio foram colocadas cinco sementes de mamão (cultivar papaia) em cada vaso. Nos tratamentos que receberam o fungo micorrízico, as sementes foram colocadas sobre o inóculo e, posteriormente, foi adicionada uma pequena porção de solo para cobrir as sementes. Já nos tratamentos que não houve a inoculação com micorriza, os vasos receberam um filtrado (obtido a partir do inoculante), ou seja, os tratamentos controle, controle-autoclavado e biochar. Com isso, mesmo nos tratamentos em que o solo foi autoclavado, o mesmo não se encontrava esterilizado após a aplicação do filtrado, no entanto, encontrava-se isento de inóculo de FMA. Após a semeadura nos vasos, procedeu-se a irrigação, a fim de elevar a Capacidade de Campo a cerca de 60% com água deionizada em cada vaso, mantendo-se essa condição até o final do experimento, seguindo a metodologia também descrita para o experimento I.

Após a germinação, quando as plântulas da maior parte dos vasos do experimento apresentavam duas folhas, foi realizado um raleio, deixando-se três mudas por vaso. A cada 10 dias foram realizadas medições de altura (por meio de régua milimetrada), a contagem do número de folhas e diâmetro (com um paquímetro digital) de cada planta nos vasos. A irrigação foi mantida ao longo do crescimento das plantas até o surgimento de sintoma de deficiência nutricional em algum dos tratamentos, sendo então colhidas. A parte aérea das plantas foram secas em estufa com circulação forçada a 60° C por 72 horas. Após a secagem, foram pesadas e, em seguida, armazenadas para análises posteriores.

Nesse momento, também foram coletadas amostras de solo com partes de raízes. As raízes foram separadas e lavadas. As raízes finas foram cortadas em segmentos de aproximadamente 2 cm de comprimento e, posteriormente, foram armazenadas em álcool etílico 50% para a avaliação sequencial da porcentagem de colonização micorrízica.

A colonização micorrízica foi realizada pelo método da coloração em azul de metila de acordo com a metodologia descrita por Grace e Stribley (1991), adaptada com KOH (5%) a 80°C por 10 minutos e H₂O₂ alcalina 5% por 7 minutos. Após a coloração com azul de metil, 10 segmentos de raízes foram depositados com o auxílio de uma pinça, sobre lâminas, sendo adicionadas algumas gotas de glicerol ácido sobre as raízes e, posteriormente, cobertas por uma lamínula. Para determinar a porcentagem de colonização micorrízica, os segmentos de raízes foram levados ao microscópio óptico com aumento de 40X e empregado o método de interseção em placa quadriculada (GIOVANNETTI & MOSSE, 1980) para a observação da presença de estruturas de FMAs.

Após a coleta da parte aérea das plantas foi quantificada a massa seca, sendo essas submetidas à digestão nítrico-perclórica e, em seguida, determinados os teores de P, K, Ca e Mg da parte aérea das plantas. Também foi realizada digestão sulfúrica para determinação dos teores de N (MALAVOLTA, 2006). Foram calculados os conteúdos e a eficiência de utilização de nutrientes (EU) de acordo com a equação: $EU = [(Mat. Seca em grama)^2 / \text{conteúdo elemento em grama}]$ (SIDIQI & GLASS, 1981).

Os dados da avaliação de crescimento nutricional e colonização micorrízica foram submetidos à análise estatística, considerando-se seis tratamentos por meio da análise de variância (ANOVA) e a diferença entre os tratamentos foi aferida

através do Teste Tukey a um nível de 5% de probabilidade, com base nos dados médios de cinco repetições, realizadas pelo programa estatístico SAEG.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Experimento I: Efeito do Biochar e do Adubo verde no crescimento e nutrição de plantas de mamão

Avaliações de crescimento

Nas avaliações de crescimento (número de folhas, altura das plantas, diâmetro do coleto e matéria seca da parte aérea) realizadas aos 90 dias após o semeio, foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 3) somente para altura, diâmetro e massa seca da parte aérea.

O uso do Adubo Verde proporcionou aumento na altura das plantas e no diâmetro, enquanto para o Biochar o aumento ocorreu para altura, diâmetro e massa seca da parte aérea, quando comparados ao tratamento controle (Tabela 3).

No crescimento em altura das plantas após a germinação das plântulas em função do tempo de cultivo (Figura 1) foram verificados menores valores no tratamento controle (sem Adubo Verde e sem Biochar), tendo, aos 90 dias de cultivo, a altura média de 10,42 cm, enquanto as maiores alturas verificadas com aplicação conjunta de B + AV com 35,44 cm aos 90 dias de cultivo. Esse rápido desenvolvimento das plantas, que chegou a 240% de diferença entre o controle e o tratamento B + AV é fundamental em todas as fases do cultivo do mamoeiro. Na produção de mudas a altura define o estágio em que a mesma deve ir para o campo. Com isso, manejos que levam ao incremento rápido do crescimento da muda podem diminuir o tempo de permanência no viveiro. Essa característica é

importante no plantio no campo, pois as mudas poderão ter mais chances, frente à competição natural com outras espécies, inclusive com plantas espontâneas. Aos 90 dias de plantio a altura das plantas no tratamento biochar e adubo verde foram semelhantes.

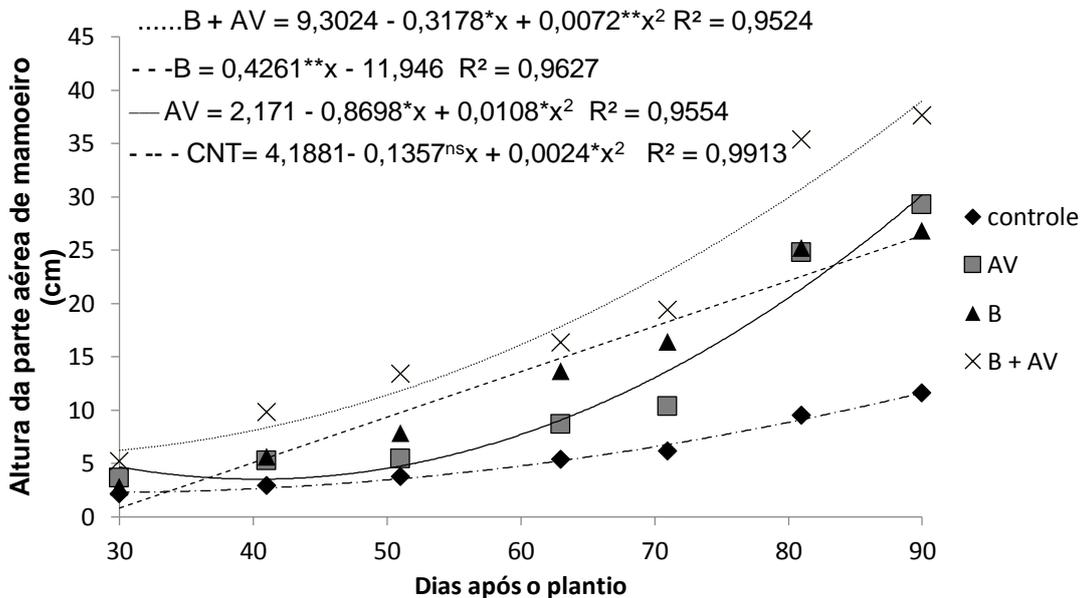


Figura 1. Altura das plantas de mamão aos 90 dias de cultivo, submetidas a aplicação de Adubo Verde (AV), Biochar (B), Biochar + Adubo Verde (B + AV) e Controle = CNT.

A altura de uma planta é uma característica fisiológica muito importante, pois remete de forma prática, ao crescimento e à diferenciação vegetal, sendo uma característica fitotécnica fundamental quando se busca a máxima otimização da nutrição vegetal, visto que é a característica que melhor exterioriza os resultados (VICHATO, 2005).

Petter (2010) não encontrou diferença significativa nas médias de altura, trabalhando com a cultura do arroz, aplicando-se biochar aos 25; 40; 55 e 70 dias após o plantio. O mesmo foi observado por Alves (2006) em testes feitos na cultura do milho (*Zea mays*), com aplicação de quatro doses de Biochar ao solo (3%; 6%; 12% e 24% do volume), onde as modificações promovidas pela adição de Biochar não influenciaram significativamente o desenvolvimento das plantas. Entretanto, Madari et al. (2006) verificaram efeito contrário, pois perceberam aumentos significativos de altura na cultura do arroz (cv. Primavera), principalmente no

estádio inicial, aplicando-se 21 Mg ha⁻¹ de biochar, num solo argiloso e ambiente controlado.

Tabela 3. Crescimento da parte aérea de plantas de mamão cultivadas em vasos (4 dm³) até os 90 dias em presença de biomassa de adubo verde (*Mucuna aterrima* (Piper & Tracy)), de biochar e de biochar+adubo verde (B+AV)

	Controle	Adubo verde	Biochar	B+AV	Média Geral	CV (%)
NF	6,60 A	9,20 A	7,60 A	7,00 A	7,60	31,53
Altura (cm)	11,60 C	29,30 AB	26,80 B	37,60 A	26,33	21,17
Diâmetro (mm)	5,54 C	12,28 B	10,54 B	15,77 A	11,03	14,29
Massa seca (g)	0,38 B	0,37 B	0,99 A	1,25 A	0,75	35,15

NF= Número de folhas; Médias seguidas pela mesma letra na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Mendonça et al. (2006), trabalhando com mamão formosa, ao adicionarem 10 kg m³ de superfosfato simples, juntamente com 20% ou 40% de composto orgânico, obtiveram alturas variando em torno de 15 a 18 cm com 140 dias após a semeadura, enquanto os valores obtidos nesse trabalho foram de 33,45 cm e 32,2 cm para aplicação de Adubo Verde e Biochar, aos 90 dias após o semeio com 15 mg dm⁻³ na forma de fosfato natural. Já Medeiros et al. (2009) conseguiram uma altura máxima de 22,2 cm, adicionando a mesma quantidade de P que Mendonça et al. (2006) e com proporções diferentes de matéria orgânica com 150 dias de cultivo. Dessa forma, fica notável o bom crescimento das mudas, em relação à altura, tanto pela aplicação do Adubo Verde, quanto do Biochar.

Para a Massa Seca da Parte Aérea, a presença do Biochar proporcionou um incremento relativo de 230% enquanto para o B+AV o incremento foi de 317%, comparativamente ao controle, mostrando a alta resposta à presença deste produto (Tabela 3). A aplicação do adubo verde não refletiu em aumentos na massa seca das plantas. Efeitos positivos na massa seca do mamoeiro também foram observados por Vichiato (2005) na cv. ISS 72/12 e vc. Tainung nº 1, testando dosagens de P e Mg.

Em relação ao diâmetro do colo das mudas de mamão, foi possível observar um incremento relativo percentual com a aplicação do Adubo Verde e Biochar de 121% e 90% respectivamente, quando comparadas ao controle.

Vichiato (2005), testando doses de Mg e P obteve resultados positivos na cv. ISS 72/12, enquanto que a cv. Tainung nº 1 apresentou resposta aos 120 dias após o semeio, onde a cv. Tainung nº 1 atingiu o diâmetro máximo de 1,11 cm na dosagem de 600 mg.dm⁻³ de P, enquanto que a cv. ISS 72/12 o maior diâmetro seria de 0,89 cm com doses de P de 500 mg.dm⁻³. No presente trabalho, os diâmetros foram de 12,28 mm, 10,54 mm e 15,77 mm com a aplicação de Adubo Verde, do Biochar e B+AV, respectivamente, valores estes consideravelmente maiores, apesar de serem cultivares diferentes, ou seja, nesse experimento foi testado a cultivar ouro. Os valores dos diâmetros encontrados nesse trabalho também foram superiores aos encontrados por Oliveira e Trindade (2000), que observaram, em média, diâmetros de 6 mm aos 90 dias após a emergência. O efeito positivo do Adubo Verde (Feijão Guandu) foi verificado por Ribeiro (2008) que presenciou resultados positivos no incremento do diâmetro do colo de outras frutíferas como a mangueira, sendo que, nesse caso, houve um incremento de 44% comparando-se ao controle, maior do que o encontrado no presente trabalho, que foi de 12% para o mamão.

De maneira geral, para as avaliações de crescimento, a aplicação do B+AV foi o tratamento que proporcionou os maiores incrementos sendo 224 %, 184 % e 317% para altura, diâmetro do colo e massa seca da parte aérea das plantas, indicando que a aplicação em conjunto desses dois produtos é uma técnica importante nessa fase das plantas de mamão.

Avaliações Nutricionais

Nas avaliações dos teores de nutrientes somente foi observada diferença significativa entre os tratamentos para o P e K, (Tabela 4). onde a aplicação de Adubo Verde, Biochar e B+AV proporcionou maior o teor de K na parte aérea das plantas com incrementos de 74 %, 100% e 125%, respectivamente. O B+AV proporcionou maior teor de P comparativamente à aplicação do biochar e do adubo verde. Nas demais avaliações (teor de N, Ca e Mg) não houve alterações significativas.

As plantas do tratamento B+AV apresentaram aos 90 dias de cultivo sintomas de deficiência nutricional, caracterizados pelo amarelecimento anormal inicialmente das folhas basais que depois eram observadas nas folhas mais jovens.

Dentre os típicos sintomas de deficiências nutricionais para mamoeiro e que são caracterizados pelo amarelecimento das folhas mais velhas, encontra-se o reportado por Costa e Costa (2003) onde, para o N é manifestado inicialmente nas folhas mais velhas na forma de clorose foliar, devido à redução da formação de clorofila. Estas folhas tornam-se verde-clara, principalmente entre as nervuras principais. Para o Mg, os autores informam que os sintomas também iniciam-se em folhas maduras, completamente expandidas, caracterizados pelo aparecimento de manchas amareladas entre as nervuras da folha. No presente, os sintomas assemelharam mais à deficiência de N uma vez que para esse elemento a clorose inicialmente é mais uniforme no limbo foliar, enquanto para a deficiência de Mg é mais localizada entre as nervuras.

De acordo com Serrano et al. (2010), os teores médios para mudas de mamão aos 30 dias após o plantio (época em que, segundo o autor, as mudas estão aptas a irem para o campo) para o Genótipo “Golden” são de 42,0; 3,1; 42,0; 15,0; e 12,0 g kg⁻¹, respectivamente, para os teores de N, P, K, Ca e Mg. No presente experimento, exceto nos teores de Ca e Mg que ficaram próximos aos observados por Serrano, os demais nutrientes apresentam valores menores em até 50% aos observados por esses autores para todos os tratamentos. Os teores de N e o Mg foram menores no tratamento B+AV que nos demais tratamentos, embora essas diferenças não tenham sido estatisticamente significativas.

Vichiato (2005), testando doses de Mg e P, obteve resultados positivos nos teores de nutrientes na cv. ISS 72/12, enquanto que a cv. Tainung n° 1 apresentou resposta positiva somente para o elemento Mg, indicando a diferença entre cultivares nas respostas nutricionais, fato esse, também, verificado por Serrano et al., (2010). Sousa e Figueiredo (2015), avaliando o biochar de lodo de esgoto, através da incorporação de doses crescentes de biochar no solo para o cultivo de rabanete, observaram que quanto maior as doses de biochar, maiores foram os teores de P encontrados, tanto no solo quanto nas folhas. No presente trabalho, os incrementos positivos nas folhas ocorreram com a aplicação de biochar+adubo verde.

Tabela 4. Teor de macronutrientes (g kg^{-1}) em folhas mamoeiro cultivadas em vasos de (4 dm^{-3}) até os 90 dias em presença de biomassa de adubo verde (*Mucuna aterrima* (Piper & Tracy)), de biochar e de biochar+adubo verde (B+AV)

	Con trol e	Adubo verde	Biochar	B+AV	Média Geral	CV (%)
Teor N	28,08 A	32,69 A	26,40 A	26,81 A	28,49	19,89
Teor P	0,94 AB	0,79 C	0,86 BC	1,01 A	0,90	5,56
Teor K	8,21 B	14,31 A	16,45 A	18,48 A	14,36	20,26
Teor Ca	16,15 A	17,92 A	15,41 A	15,75 A	16,31	18,45
Teor Mg	13,83 A	12,67 A	11,23 A	10,73 A	12,12	14,79

Médias seguidas pela mesma letra na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

No conteúdo e na eficiência de utilização de nutrientes (Tabela 5) foram verificados valores significativamente maiores com a aplicação do biochar e do B+AV comparativamente ao controle e à aplicação somente do adubo verde. Os valores dos conteúdos e da eficiência de utilização de nutrientes não diferiram significativamente entre a aplicação do biochar e do B+AV, indicando que nesse caso, assim como ocorreu na massa seca das plantas (Tabela 3), a aplicação somente do biochar no solo ($1 \text{ \% v/v} = 2,76 \text{ g dm}^{-3}$ de solo) já seria o suficiente. O incremento relativo no conteúdo de nutrientes (Tabela 5) observado com a aplicação do biochar quando comparado ao controle foi de 185%, 193%, 439%, 229% e 182 % para o N, P, K, Ca e Mg, respectivamente. Já na eficiência de utilização de nutrientes na parte aérea (Tabela 6), o biochar promoveu incrementos percentuais de 270%, 264%, 33%, 312% e 254% também para o N, P, K, Ca e Mg, respectivamente. A eficiência de utilização de nutrientes refere-se à capacidade da planta em converter o nutriente absorvido em matéria seca. É importante, uma vez que indica a capacidade da planta em utilizar os nutrientes na produção de biomassa.

Tabela 5. Conteúdo de macronutrientes (mg) em folhas mamoeiro cultivadas em vasos de (4 dm⁻³) até os 90 dias em presença de biomassa de adubo verde (*Mucuna aterrima* (Piper & Tracy)), de biochar e de biochar+adubo verde (B+AV)

	Controle	Adubo verde	Biochar	B+AV	Média Geral	CV (%)
Conteúdo N	6,21 B	11,77 B	25,31 A	33,38 A	19,17	36,96
Conteúdo P	0,29 B	0,29 B	0,85 A	1,25 A	0,67	33,04
Conteúdo K	3,08 B	5,56 B	16,61 A	23,16 A	12,10	43,73
Conteúdo Ca	4,63 B	6,35 B	15,23 A	18,75 A	11,24	32,12
Conteúdo Mg	3,90 B	4,58 B	11,01 A	13,07 A	8,14	29,95

Médias seguidas pela mesma letra na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 6. Eficiência de utilização (EU) de nutrientes (g².g⁻¹) em folhas mamoeiro cultivadas em vasos de (4 dm⁻³) até os 90 dias em presença de biomassa de adubo verde (*Mucuna aterrima* (Piper & Tracy)), de biochar e de biochar+adubo verde (B+AV)

	Con trole	Adubo verde	Biochar	B+AV	Média Geral	CV (%)
EU- N	10,98 B	11,94 B	40,59 A	47,26 A	27,69	43,89
EU- P	316,49 B	479,52 B	1153,58 A	1251,58 A	800,29	39,68
EU-K	46,26 AB	25,29 B	59,99 AB	67,43 A	49,74	41,60
EU- Ca	20,63 B	22,28 B	64,63 A	85,63 A	48,29	44,71
EU- Mg	24,04 B	30,58 B	88,92 A	120,63 A	66,06	44,47

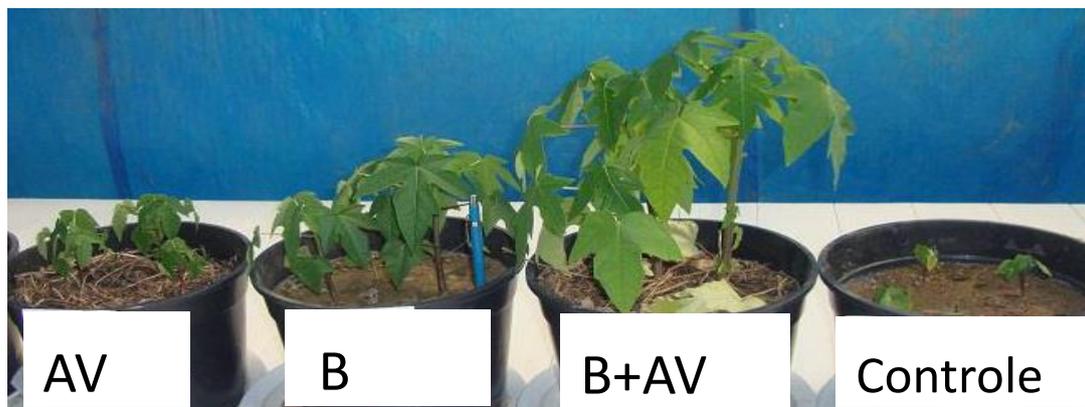
Médias seguidas pela mesma letra na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Apesar de o adubo verde proporcionar quantidades substanciais de N ao solo (CUBILLOS, 2010), isso não repercutiu significativamente no teor, conteúdo e na eficiência de utilização de N no presente experimento. É possível que a mineralização do N proveniente do adubo verde ainda não estivesse totalmente concluída, embora, de acordo com Souza e Rezende (2006), cerca de 50% do N estará disponível entre 15 e 30 dias após a incorporação do adubo verde no solo.

A redução nos teores de nitrogênio na matéria seca da parte aérea do mamoeiro foi verificada por Vichiato (2005) quando aumentaram os teores de P no substrato, sendo que a cv. ISS 72/12 de mamão sinalizou com mais intensidade.

Esses decréscimos ocorreram em virtude do efeito de diluição, devido ao grande aumento na produção de matéria seca da parte aérea. A diminuição na concentração e na quantidade acumulada de um nutriente associada ao aumento na produção de massa seca, em resposta a um fator qualquer, caracteriza-se por efeito diluição (JARREL & BEVERLY, 1981). Esse efeito é verificado no teor, que é g/kg e não no conteúdo, que é g/planta, podendo levar ao aparecimento de sintomas de deficiência do nutriente, embora o conteúdo esteja alto. Esse mesmo efeito foi verificado no presente trabalho com o teor de nutrientes nas plantas cultivadas em presença do B+AV, onde foi verificado o rápido crescimento da planta em função do tempo de cultivo e a alta produção de massa seca, resultando em baixo teor de nutrientes, embora tenha ocorrido alto conteúdo (Figura 2). Essa resposta não foi tão acentuada no tratamento controle onde as plantas, apesar de apresentarem maior coloração verde, apresentaram também menor crescimento em altura e massa seca e, também, menor acúmulo de todos os nutrientes.

A



B

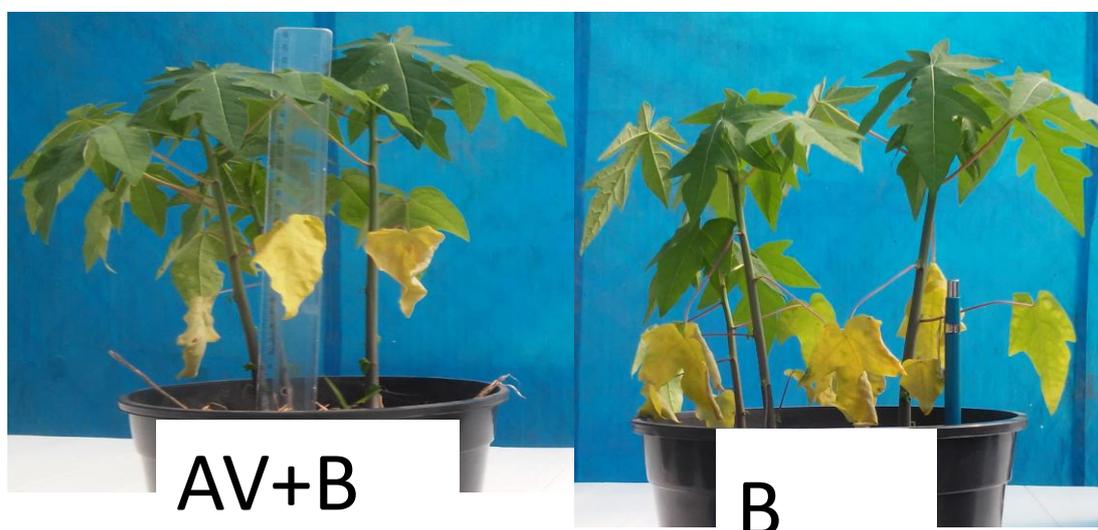


Figura 2. A) Plantas com 90 dias de crescimento e B) Início dos sintomas de deficiência nutricional somente nas plantas do tratamento AV+BC e BC.

De maneira geral, no presente experimento, ficou claro que para as características de crescimento, tanto a aplicação do biochar quanto do adubo verde promovem o crescimento em altura e diâmetro, no entanto, para a altura das plantas (Figura 1) observou-se que já na primeira avaliação, realizada aos 30 dias após o plantio, a aplicação do B+AV já proporcionou maior altura que foi mantida até a última avaliação.

O biochar proporcionou maior conteúdo de todos os macronutrientes avaliados na parte aérea das plantas de mamão, indicando alta disponibilidade de

nutrientes nesse material. Além disso, o biochar proporciona maior conversão dos nutrientes absorvidos em biomassa, o que foi evidenciado pelo aumento na eficiência de utilização desses nutrientes, indicando o potencial desse produto para o mamoeiro nessa fase avaliada.

5.2 Experimento II: Efeito da Autoclavagem do solo, da inoculação de Micorrizas e da aplicação do biochar em mamoeiro

Colonização micorrízica e avaliação de crescimento nas plantas de mamão

Foram observadas diferenças significativas (até 5% de probabilidade) entre os tratamentos para a porcentagem de colonização com o FMA e também nas características de crescimento das plantas de mamão (número de folhas, altura, diâmetro e massa seca das plantas) (Tabela 7).

Tabela 7. Resumo da Análise de Variância com QMR e significância para análises de crescimentos de plantas de mamão aos 120 dias de cultivo sob seis manejos (solo autoclavado controle e com micorrizas; solo não autoclavado controle, com micorriza, com biochar e com biochar+micorriza)

	QMR				
	GL	NF	Alt.	Diam.	MSPA
BL	4	8,22 *	41,48 ^{ns}	6,91*	0,03
MANEJO	5	9,65*	453,83**	47,65**	1,42**
RESÍDUO	20	2,41	17,51	1,67	0,06
CV%		23,81%	22,40%	16,51%	32,27%

**, * e ns= significativo a 1%, 5 % e não significativo pelo teste de F

Na colonização micorrízica foi verificado menor percentual de colonização nos tratamentos controle1-autoclavado (15%), controle2-não-autoclavado (28%), biochar (30%) FMA-não-autoclavado (50%), e os maiores valores foram nos manejos FMA-autoclavado (87,5 %) e biochar+ Micorriza (FMA+B) (90%) (Tabela 8). A diferença observada na porcentagem de colonização micorrízica entre o controle 1 (solo autoclavado) e o controle 2 (solo não autoclavado), indica a possibilidade de presença de inóculos nativos nesse solo não submetido à

esterilização. Estes podem ter contribuído para a menor colonização de FMA no tratamento com inoculação de FMA, uma vez que os FMAs nativos podem concorrer diminuindo a efetividade de colonização do inóculo adicionado ao solo. Trabalhos mostram que as espécies de fungos *Rhizophagus clarum* e *Gigaspora margarita* são eficientes para o mamoeiro, tanto em solo fumigado (com brometo de metila) quanto em solo não fumigado, sinalizando a capacidade de competir com os fungos nativos nas mesmas condições utilizadas (TRINDADE et al., 2001; TRINDADE et al., 2000). Esta capacidade também foi demonstrada em capim forrageiro (LIMA, 2010) e em mudas de gravioleira (CHU et al., 2001).

Na colonização micorrízica os manejos micorriza autoclavado e biochar + micorriza (não autoclavado) proporcionaram resultados superiores aos demais (Tabela 8), enquanto no tratamento micorriza não autoclavado, a colonização foi menor. Isso indica que em condições de campo, se as mudas receberem adição de biochar, elas podem apresentar desempenho igual ou superior às mudas micorrizadas em solos autoclavados e cultivadas em estufas, ou seja, a adição de biochar pode potencializar os efeitos da micorriza a nível de campo.

Tabela 8. Colonização micorrízica, crescimento e nutrição de mudas de mamoeiro *Carica papaya* L. em função do cultivo em solo autoclavado e não autoclavado, associados ou não à presença de micorriza (FMA) e ou biochar (B), aos 120 dias após a semeadura.

	----Autoclavado----		-----Não autoclavado-----				CV (%)
	Controle1	FMA	Controle2	FMA	Biochar	FMA+B	
C Mic (%)	15,0 C	87,5 A	27,6 BC	50,0 B	30,0 BC	90,0 A	15
N Folhas	5,2 AB	8,0 A	6,6 AB	4,5 B	7,6 A	7,2 AB	24
Alt (cm)	7,8 B	28,7 A	11,6 B	10,9 B	26,8 A	26,3 A	22
D C (mm)	4,13 B	10,32 A	5,54 B	5,52 B	10,5 A	10,9 A	17
MSPA (g)	0,05 D	1,32 A	0,30 CD	0,63 BC	0,99 AB	1,33 A	32

Médias (5 repetições) seguidas pela mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. N Folhas = número de folhas, Alt = altura das plantas, MSPA = matéria seca da parte aérea, C Mic = colonização micorrízica, D C = diâmetro do coleto, C N, C P, CK, C Ca e C Mg = conteúdos de Nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

O desenvolvimento das plântulas em função do tempo de cultivo (Figura 3), e a altura e o diâmetro médio final (Tabela 8) das mudas de mamoeiro foram maiores com a inoculação com a micorriza (no solo autoclavado) e, também, pela adição do biochar e do biochar + micorriza, sendo os incrementos percentuais na

altura das plantas respectivamente de 268; 131 e 126%, e no diâmetro foram de 150; 90 e 98%, comparativamente aos seus respectivos controles autoclavados para o tratamento com micorriza e o não-autoclavado para o biochar e micorriza + biochar.

As alturas encontradas para os tratamentos micorriza, biochar e micorriza + Biochar foram próximas das encontradas por Lima (2010), em mamoeiro de mesma idade, quando testou doses de fósforo e micorriza associados ou não com bactérias diazotróficas. O autor obteve médias de 29,5 cm na altura das plantas, no entanto, no presente trabalho, foi realizada somente uma aplicação de 15 mg dm⁻³ de P na forma de Fosfato de Araxá antes da semeadura. Isso comprova a grande eficiência do biochar e também das micorrizas num ambiente com pouca disponibilidade de P.

Trindade et al. (2001) observaram que a inoculação com FMAs aumentou significativamente a altura e o número de folhas da maioria dos genótipos de mamoeiro do Grupo Solo e Formosa. Trindade et al. (2000), inoculando *G. etunicatum* num substrato elaborado com esterco, observaram que as médias das alturas das mudas de mamoeiro da cv. Sunrise Solo variaram de 7 a 19,5 cm aos 45 dias após o transplântio. No presente experimento ficaram constatadas respostas positivas somente com o FMA em solo autoclavado.

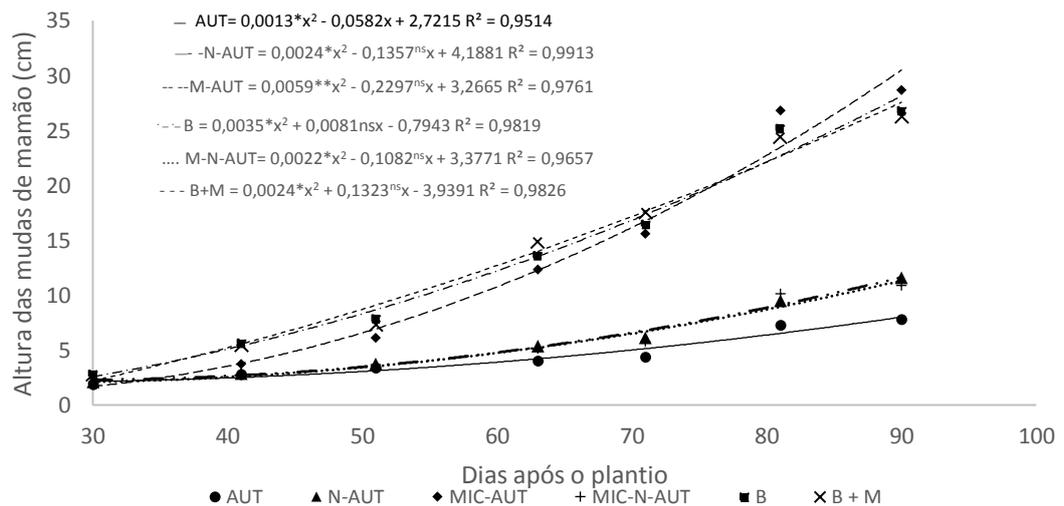
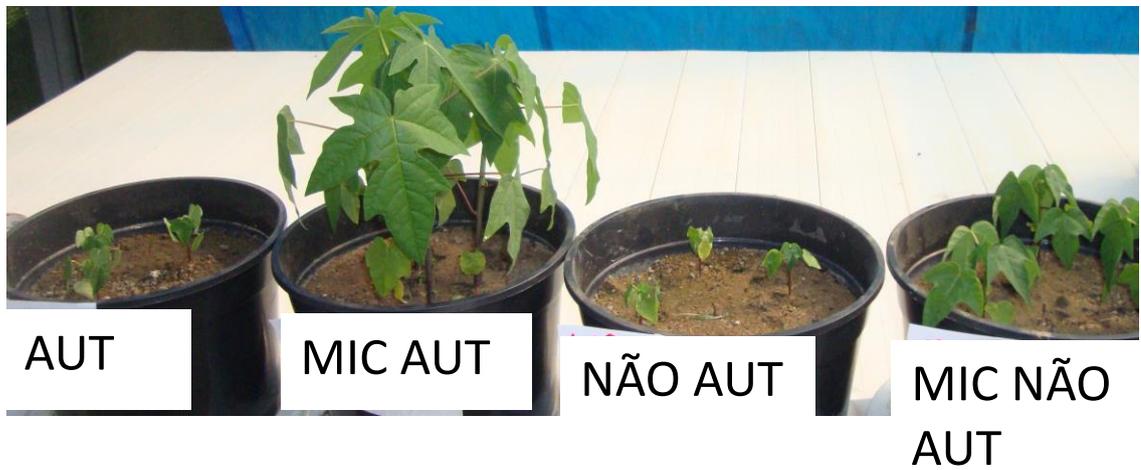


Figura 3. Crescimento em altura das plantas de mamão aos 90 dias após o plantio: autoclavado (EST); não autoclavado (N-AUT); micorriza autoclavado (M-AUT); micorriza não autoclavado (M-N-AUT); biochar (B) e micorriza + biochar (M + B).

A



B



Figura 4. A) Plantas de mamão com 90 dias de cultivo em solo autoclavado (aut), em presença de FMA em solo autoclavado, em solo não autoclavado (controle) e em presença de FMA em solo não autoclavado. B) Plantas de mamão cultivado em presença de FMA + biochar (BC) e Biochar (B) iniciando sintomas de deficiência nutricional.

Para a característica de Massa Seca da Parte Aérea também houve diferença significativa nas médias encontradas, apresentando um incremento relativo bastante satisfatório, sendo de 2475% para o tratamento Micorriza

Autoclavado, se comparado com o solo Controle 1 em solo autoclavado; e de 228% para a aplicação do Biochar e de 340% do com a Micorriza+Biochar, se comparado ao controle 2 em solo não-autoclavado. O incremento na massa seca da parte aérea em função da inoculação com FMA foi verificado para diferentes culturas. Lima (2010) encontrou Incremento Relativo de 2309% e 2082%, usando fungo misto e *G. margarita*, respectivamente. Em solo autoclavado, Silva et al. (2004) observaram em maracujazeiro doce, incrementos de 2138% e 1430% na biomassa fresca e seca da parte aérea, quando colonizadas com *G. margarita*. Pesquisas elaboradas por Leal et al. (2005) em mudas de bananeira, produzidas em blocos prensados, com inoculação *G. clarum* demonstraram incremento positivo na produção de massa seca da parte aérea, em torno de 829%, quando comparadas às não inoculadas.

O mamoeiro apresenta elevada resposta à micorrização, como demonstraram diversos trabalhos já realizados (MINHONI & AULER, 2003; TRINDADE et al., 2001a; MARTINS et al., 2000). Martins et al. (2000) observaram que sem a aplicação de P no solo, a inoculação com *G. clarum* aumentou significativamente a produção de massa seca das mudas de mamoeiro. Lima (2010) identificou que a espécie de fungo *Glomus clarum* foi a que apresentou menores resultados em comparação aos demais fungos, no que se refere ao acúmulo de massa fresca e seca das mudas de mamoeiro da cultivar Golden. Essa espécie de fungo foi a mesma usada no presente trabalho.

A média da Massa Seca da Parte Aérea do tratamento Micorriza + Biochar foi de 1,3 g planta⁻¹, sendo próxima da média obtida por Vichiato et al. (2007) de 1,55 g planta⁻¹ com dosagem de 20 mg dm⁻³ de P em mudas de mamoeiro Improved Sunrise Solo 72/12, aos 120 dias após a semeadura, ou seja, o mesmo período desse trabalho. Isto indica a eficiência dos FMAs associados ao biochar na produção de mudas desta cultura. No solo não-autoclavado, a inoculação da micorriza associada ao biochar (M+B) proporcionou incrementos de 126; 98 e 340% para a altura, diâmetro e massa seca da parte aérea, respectivamente (Tabela 8), quando comparado ao controle 2 (solo não-autoclavado).

Minhoni e Auler (2003), analisando os efeitos das doses da adubação fosfatada, da fumigação do substrato e também da inoculação com FMA *G. macrocarpum*, observaram que o crescimento, em termos de altura, número de folhas e diâmetro do caule nas mudas de mamoeiro inoculadas na ausência de

adubação fosfatada foi equivalente ao de plantas não inoculadas submetidas a doses de 240 mg.dm^{-3} de P no solo. Efeitos positivos também foram verificados por Trindade et al. (2003) ao testarem a inoculação de *G. margarita* e *G. etunicatum* em mudas de mamoeiro em condições de campo, pois perceberam que as mudas que foram inoculadas com *G. etunicatum* obtiveram um maior incremento no seu diâmetro no estágio inicial. O trabalho desses autores é de suma relevância, haja vista o pequeno número de estudos, demonstrando o efeito das micorrizas em condições de campo. Trindade et al. (2000) observaram que o benefício da inoculação com *Glomus clarum* e *Gigaspora margarita* situou-se em 67,7% e 73,1%, respectivamente, sobre o peso de matéria seca da parte aérea das mudas de mamão, mesmo na presença de outros competidores.

Se considerarmos que no campo existem microrganismos competidores, as respostas obtidas pelos autores acima indicam que, ainda assim, a inoculação foi importante no crescimento das plantas. Entretanto, no presente experimento, quando se comparou o tratamento sem micorriza (controle 1) com o tratamento com micorriza em solo autoclavado, observou-se maior incremento nas características de crescimento com a inoculação da micorriza. É importante aqui, considerarmos que o solo autoclavado não se encontrava estéril uma vez que o filtrado do inoculante do FMA foi adicionado em todos os tratamentos sem micorriza (garantindo a presença de outros organismos exceto o FMA em estudo). Isso demonstra que quando o ambiente não oferece outros FMAs que possam representar competição com o FMA inoculado, as respostas dos efeitos da inoculação são bastante pronunciadas em diversas características de crescimento da planta. Trindade et al. (2006), estudando amostras de solos e raízes em plantações comerciais de mamão no Norte do Espírito Santo e Sul e Oeste da Bahia, demonstraram que existe uma alta diversidade de fungo micorrízicos na rizosfera em condições de campo.

Avaliação nutricional

Com cerca de 90 dias após o cultivo, as plantas dos tratamentos com o manejo Micorriza + Biochar apresentavam sintomas de deficiência nutricional (Figura 4B). Os sintomas iniciaram-se pelo amarelecimento anormal das folhas mais velhas indo para as folhas mais jovens. Esses provavelmente são sintomas

de deficiência de N, uma vez que de acordo com Costa e Costa (2003), os sintomas de deficiência de N iniciam-se com as áreas entre as nervuras das folhas mais velhas tornando-se verde-claras, principalmente entre as nervuras principais. Nas folhas jovens, aparecem estádios iniciais de amarelecimento, que com o tempo se expandem para todas as folhas, com a manifestação da cor amarelada. No presente experimento, essa deficiência nos tratamentos com os manejos Biochar, Micorriza autoclavado e Micorriza + Biochar pode estar relacionada ao rápido crescimento inicial da parte aérea das mudas (Tabela 8) desses manejos, exaurindo, assim, os nutrientes em maior quantidade do que as mudas que não acompanharam esse crescimento. O maior crescimento pode ter ocasionado um efeito de diluição do elemento nas plantas, chegando ao nível de deficiência.

Nos conteúdos foram verificadas diferenças significativas entre os manejos para todos os nutrientes avaliados (N, P, K, Ca e Mg) (Tabela 9).

Tabela 9. Resumo da Análise de Variância com QMR e significância para análises de Conteúdo de N, P, K, Ca e Mg de plantas de mamão, aos 120 dias de cultivo sob seis manejos (solo autoclavado controle e com micorrizas; solo não autoclavado controle, com micorriza, com biochar e com biochar+micorriza)

	QMR					
	GL	CN	CP	CK	CCa	CMg
MANEJO	5	621,62**	0,95**	203,49**	175,02**	356,03*
BL	4	27,19 ^{ns}	0,04 ^{ns}	9,90 ^{ns}	5,54 ^{ns}	63,10 ^{ns}
RESÍDUO	14	20,70	0,03	13,82	7,79	117,55
CV%		23,02%	23,58%	42,52%	27,35%	93,78%

** , * e ns= significativo a 1%, 5 % e não significativo pelo teste de F.

No conteúdo de N foi verificado maior valor no manejo micorriza autoclavado e menor conteúdo no tratamento somente com solo autoclavado (Tabela 10). O menor valor médio encontrado no manejo biochar e micorriza + biochar, comparado com a micorriza em solo autoclavado, talvez esteja relacionado à capacidade do biochar em imobilizar N, em solos com altos níveis desse elemento, como constatou Gaur e Adholeya (2000), tornando indisponível para planta. No conteúdo de P, K e Ca os maiores valores foram verificados nos manejos

micorriza autoclavado, biochar e micorriza + biochar, enquanto menores valores foram observados nos controles autoclavado e não autoclavado.

Tabela 10. Nutrição de mudas de mamoeiro *Carica papaya* L. em função do cultivo em solo autoclavado e não autoclavado, associados ou não a presença de micorriza (FMA) e ou biochar (B), aos 120 dias após a semeadura

	---Autoclavado---		-----Não autoclavado-----				CV (%)
	Controle1	FMA	Controle2	FMA	Biochar	FMA+B	
C N (mg)	3,89 C	38,50 A	5,56 C	21,19 B	26,97 B	22,46 B	23
C P (mg)	0,04 E	1,32 A	0,21 DE	0,58 CD	089 BC	1,20 AB	24
C K (mg)	0,38 B	12,8 A	2,18 B	3,84 B	18,34 A	14,93 A	43
C Ca (mg)	0,97 C	15,77 A	3,17 BC	8,20 B	16,38 A	16,76 A	27
C Mg(mg)	0,69 A	25,18 A	2,81 A	8,92 A	11,35 A	20,41 A	94

Médias (5 repetições) seguidas pela mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. C N, C P, CK, C Ca e C Mg = conteúdos de Nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, respectivamente.

A inoculação da micorriza (solo-autoclavado) quando comparada com controle 1 (autoclavado) proporcionou valores significativamente superiores no conteúdo de N, P, K e Ca nas folhas de mamão, sendo os incrementos de 889%, 3456%, 3285% e 1527 % para N, P, K e Ca, respectivamente. Por outro lado, quando em solo não-autoclavado, a inoculação das micorrizas proporcionou menor conteúdo desses elementos nas plantas de mamão, quando comparada à inoculação em solo autoclavado. Esse valor bem mais alto para o tratamento Micorriza, quando o solo foi autoclavado, indica a eficiência do fungo isoladamente, o que possivelmente não ocorrerá no campo. Por outro lado, ao adicionar-se o biochar e o biochar + micorriza, foram verificados resultados superiores também nos conteúdos de P com um Incremento Relativo de 319% e 467%, respectivamente, quando comparado ao controle não-autoclavado. É possível perceber uma potencialização dos efeitos benéficos da associação entre o FMA e o biochar.

Em relação ao CK os valores observados indicaram incrementos relativos de 3285% para a micorriza autoclavada comparado ao controle 1 autoclavado; de 739,9% para o tratamento com Biochar e 583,9% para o tratamento com Micorriza + Biochar, comparados ao manejo controle 2 não-autoclavado. Segundo Kookana et al. (2011) e Yao et al. (2011), quando o biochar é aplicado no solo aumenta a disponibilidade de potássio. Esse incremento advindo do biochar é bastante

importante, uma vez que o K é o nutriente mais requerido pelo mamoeiro, sendo exigido de forma constante e crescente durante todo ciclo da planta. Possui importância particular após o estágio de florescimento e frutificação por proporcionar frutos maiores, com teores mais elevados de açúcares e sólidos solúveis totais (OLIVEIRA et al., 2004).

Resultados positivos foram observados por Lima (2010) nos conteúdos de N, P e K, quando inoculados com FMAs e dosagens de P; Chu et al. (2001), também observaram aumento nos conteúdos de N, P e K na parte aérea de mudas de gravioleira através da inoculação com fungo *G. margarita*. Já Schiavo e Martins (2002) chegaram à conclusão que mudas de goiabeira inoculadas com *G. clarum* promoveram aumentos de 45% e 57% nos conteúdos de N e P da parte aérea, respectivamente, quando cultivadas sob sistema de produção de mudas em blocos prensados.

Aos 120 dias após o semeio, as plantas com maior altura (tratamentos FMA-autoclavado, biochar e FMA+Biochar), apresentavam sintomas de deficiência nutricional, apesar disso, nesses tratamentos foram observados os maiores conteúdos de nutrientes. Essa resposta pode ter ocorrido em função do efeito de diluição nos teores dos nutrientes devido ao rápido crescimento da planta. De acordo com JARREL & BEVERLY (1981), a diminuição na concentração e na quantidade acumulada de um nutriente associada ao aumento na produção de massa seca, em resposta a um fator qualquer, caracteriza-se por efeito de diluição.

Na eficiência de utilização para todos os elementos analisados (N, P, K, Ca e Mg), as mudas de mamoeiro foram influenciadas pelos tratamentos adotados (Tabela 11).

Tabela 11. Resumo da Análise de Variância com QMR e significância para análises de Eficiência de Utilização (EU) dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg em plantas de mamão, aos 120 dias de cultivo sob seis manejos (solo autoclavado controle e com micorrizas; solo não autoclavado controle, com micorriza, com biochar e com biochar+micorriza)

	GL	QMR				
		EU-N	EU-P	EU-K	EU-Ca	EU-Mg
MANEJO	5	2324,63**	1233447**	11758,43**	7840,76**	6847,66**
BL	4	164,79 ^{ns}	26692,73 ^{ns}	709,06 ^{ns}	274,37 ^{ns}	1553,83**
RESÍDUO	14	74,12	59269,60	1055,95	259,84	977,49
CV%		27,16%	29,22%	38,18%	27,36%	49,69%

** , * e ns= significativo a 1%, 5 % e não significativo pelo teste de F.

Comparando-se os tratamentos, com e sem micorriza autoclavado, a inoculação com o fungo proporcionou aumento na eficiência de utilização de nutrientes (Figura 12), sendo de 5413%; 1486%; 1235%; 3178% e 1572% para EUN, EUP, EUK, EUCa e EUMg, respectivamente, indicando o efeito acentuado da micorriza quando em solo sem competidores nativos. Comparando-se o manejo com e sem micorriza em solo não autoclavado, não foi observada diferença significativa para eficiência de utilização de N, P, Ca e Mg, exceto para o K (Tabela 12), indicando que o fungo tem sua eficiência reduzida com outros competidores do solo.

Valores de eficiência de utilização de nutrientes pelos manejos biochar e micorriza + biochar foram verificados, com incrementos relativos de 340% e 568%, respectivamente, para a EUN; de 405% e 392% para EUP, quando comparados ao controle 2 não-autoclavado, indicando o efeito positivo do biochar associado ou não à micorriza.

Já em relação à eficiência de utilização do elemento K, apesar de um sensível incremento, este não foi significativo para os manejos biochar e micorriza + biochar, entretanto, para micorriza autoclavado, o incremento relativo foi de 1235% quando comparado ao controle 2 não-autoclavado (Figura12). A eficiência de utilização de Ca também foi positiva para os manejos micorriza, biochar e micorriza + biochar com incrementos de 3178%, 285% e 400%, enquanto pra Mg foi 1572%, 397% e 413% todos comparados ao controle 2 não-autoclavado.

Trindade et al. (2000) demonstraram que a inoculação de FMAs, incluindo *G. margarita* e *R. clarum*, aumentou a eficiência de utilização do P nas mudas de mamoeiro avaliadas, sendo este efeito proporcionalmente maior nas doses de 20 e 40 mg dm⁻³ de P no solo.

Tabela 12. Eficiência de Utilização de Nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) em mudas de mamoeiro *Carica papaya* L. em função do cultivo em solo autoclavado e não autoclavado, associados ou não à presença de micorriza (FMA) e ou biochar (B), aos 120 dias após a semeadura.

	-Autoclavado-		-----Não autoclavado-----				CV (%)
	Contr 1	FMA	Contr 2	FMA	Biochar	B+FMA	
EUN	0,97 C	53,26 A B	9,62 C	19,53 C	42,39 B	64,39 A	27,16
EUP	98,70 D	1565,41 A	240,45 CD	695,41 BC	1214,96 AB	1184,05AB	29,22
EUK	12,09 C	161,47 A	44,20 BC	136,02A	58,95 BC	97,91 AB	38,18
EUCa	3,99 E	130,69 A	17,14 DE	49,72 CD	66,11 BC	85,79 B	27,36
EUMg	6,66 B	111,36 A	19,09 B	47,57 AB	94,92 A	97,93 A	49,69

Médias seguidas pela mesma letra na Linha, não difere entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade, Contr 1 =Controle 1 (para solo autoclavado) Contr 2 = Controle 2 (para solo não autoclavado); EUN = Eficiência de Utilização de Nitrogênio; EUP = Eficiência de Utilização de P; EUK = Eficiência de Utilização de Potássio; EUCa = Eficiência de Utilização de Ca; EUMg = Eficiência de Utilização de Magnésio.

O aumento nos conteúdos de N, P, K, Ca e Mg, e na eficiência de utilização desses nutrientes na parte aérea das mudas de mamoeiro nos tratamentos com micorrizas (solo autoclavado) e com biochar (solo não-autoclavado) ocorreu, possivelmente, pela capacidade das micorrizas em proporcionar o aumento da absorção desses elementos e, ainda, pela maior disponibilização dos nutrientes pelo biochar, no substrato, uma vez que a adição de biochar pode alterar a disponibilidade de nutrientes no solo, afetando suas propriedades físico-químicas, além de apresentar grande quantidade de nutrientes em sua composição (MATSUBARA et al., 2002; De LUCA et al., 2006; GUNDALE & De LUCA, 2006). O aumento da disponibilidade de nutrientes do solo pode resultar em um melhor desempenho da planta hospedeira e em elevadas concentrações de nutrientes, além de taxas de colonização mais altas das raízes das plantas hospedeiras pelo FMA (ISHII & KADOYA, 1994). Adições de biochar, aliadas à micorriza podem, ainda, tornar as plantas hospedeiras mais resistentes a possíveis infecções de patógenos (MATSUBARA et al., 2002).

A inoculação do FMA em solo autoclavado, quando comparado com a inoculação do FMA em solo não-autoclavado, proporcionou valores significativamente superiores no crescimento e nutrição das plantas. Trindade et al. (2000), entretanto, observaram o benefício da inoculação com FMAs pelo aumento no peso de matéria seca da parte aérea das mudas de mamão, mesmo na presença de outros competidores. No presente experimento ficou evidente que o FMA testado apresenta respostas positivas nas plantas de mamão quando não estão em

presença de outros FMAs nativos. Por outro lado, mesmo em presença de competidores, a adição do biochar aumenta a colonização micorrízica nas plantas de mamão, ocasionando respostas positivas na nutrição e no crescimento dessas plantas. Essas respostas positivas observadas com a utilização do biochar e do biochar+FMAs (realizadas em solo não-autoclavado) indicam que a aplicação desses no solo pode ser uma alternativa de manejo importante na primeira fase de crescimento das plantas quando já estiverem no campo.

6. RESUMO E CONCLUSÕES

O uso do biochar como condicionador e para o aumento da fertilidade do solo vem sendo testado para diferentes culturas agrícolas. A associação do biochar a adubo verde ou micorrizas em plantas de mamão pode ser uma técnica de manejo promissora na primeira fase de cultivo dessa cultura. Foram conduzidos em casa de vegetação dois experimentos. O primeiro com objetivo de avaliar os efeitos do biochar e de adubo verde em mudas de mamoeiro. O experimento foi conduzido em delineamento experimental em blocos casualizados (5 blocos) com quatro tratamentos: com adubo verde, com biochar, com biochar+adubo verde (B+AV) e controle (sem adubo verde ou biochar). O adubo verde utilizado foi a *Mucuna aterrima* (Piper & Tracy), previamente cultivada até o florescimento quando foi cortada e aplicada (37,5 g de matéria fresca dm⁻³) incorporada ao solo nos vasos (4 dm⁻³). As sementes foram semeadas diretamente nos vasos e cultivadas até os 90 dias. O segundo experimento teve como objetivo avaliar o efeito do fungo micorrízico arbuscular (FMA) *Rhizophagus clarum* em solo autoclavado e não autoclavado, e do biochar associado ou não ao FMA, nas características de crescimento e nutrição de mamoeiro e na colonização das raízes. Foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (5 blocos) com seis tratamentos, sendo eles: solo autoclavado controle e com FMA; solo não-autoclavado controle; com FMA, com biochar (em solo não autoclavado) e com FMA + biochar. O solo foi autoclavado por uma hora (2x). Em ambos os experimentos, o biochar utilizado foi produzido a partir de cama de frango de aviário e utilizado a 1 % (v:v) misturado ao solo. As sementes foram semeadas diretamente nos vasos de 4 dm⁻³, contendo como substrato um solo argiloso. No primeiro experimento, para as características de crescimento, o biochar, o adubo verde e o biochar+adubo verde promovem respostas positivas nas plantas. Nas características nutricionais (conteúdo e

eficiência de utilização de macronutrientes), o biochar promoveu as melhores respostas sendo mais indicado no cultivo do mamoeiro do que a mucuna. Não houve diferença nas respostas da planta entre a aplicação do biochar e do biochar mais a mucuna. No segundo experimento observou-se que o biocarvão associado à inoculação com o FMA proporcionou alta colonização nas raízes das plantas com resultados semelhantes à colonização observada no substrato autoclavado. Foi também verificado que os maiores crescimentos (altura e diâmetro) e conteúdos de nutrientes (N, P, Ca e Mg) foram observados em mudas inoculadas com FMA em solo autoclavado, em mudas que receberam a aplicação do Biochar e, ainda, que receberam o B+ FMA. Por outro lado, nesses mesmos tratamentos foram observados sintomas de deficiência de N (amarelecimento anormal das folhas mais velhas). Conclui-se que a aplicação isolada do biochar e conjunta do biochar+ FMA, em solo não-autoclavado, proporciona respostas positivas no crescimento e nutrição das plantas de mamão e semelhantes à inoculação do FMA em solo autoclavado. A aplicação do biochar em solo não-autoclavado mantém a efetiva colonização do FMA inoculado nas raízes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, F. A., FURTINI NETO, A. E., PAULA, M. B., MESQUITA, H. A., MUNIZ, J. A. (2000) Adubação verde na recuperação da fertilidade de um latossolo vermelho-escuro degradado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.35, n.2, p. 277-288.

ALVES, M. C., BOLONHEZI, A.C., RESSUDE, M. A. (1996) Adubação verde em citrus: efeito nas propriedades químicas do solo. *Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas*, 22, Manaus: Universidade do Amazonas, 1996. p.482-483.

ALVES, L. J. *Efeito da fragmentação florestal sobre as comunidades de fungos micorrízicos arbusculares da floresta atlântica do extremo sul da Bahia*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Bahia: Salvador – BA, 2004, 67 p.

ALVES, M. *Impactos da utilização de fino de carvão e extrato pirolenhoso na agricultura*. (2006) Tese (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal) – Jaboticabal – SP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Campus de Jaboticabal, 52 p.

ALVES, M. C., SUZUKI, L.G. A. S., SUZUKI, L. E. A. S. (2007) Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um latossolo vermelho distrófico em recuperação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 617-625.

ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA (2015) Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, 2015. 104 p.

AULER, P.A.M. (1995) *Desenvolvimento inicial do mamoeiro (Carica papaya L.) relacionado à disponibilidade de fósforo no solo e à colonização pelo fungo micorrízico vesículo-arbuscular Glomus macrocarpum*. Tese (Mestrado em agronomia) Botucatu/SP, Universidade Estadual de São Paulo, 94p.

AZCÓN-AGUILAR, C., CANTOS, M., TRONCOSO, A. & BAREA, J.M. (1997) Beneficial effect of arbuscular mycorrhizas in acclimatization of micropropagated cassava plantlets. *Scientia Horticulturae* 72:63–71.

AZEVEDO, I.C., SILVEIRA, A.P.D. (1994) Efeito da adubação fosfática e de fungos micorrízicos arbusculares na produção de muda de mamoeiro. *Congresso brasileiro de fruticultura*, 13, Salvador: SBF, V. 2, p. 685-686.

BAILEY, VANESSA, L., FANSLER, SARAH, J., SMITH, JEFFREY, L., BOLTON JR., Harvey. (2011) Reconciling apparent variability in effects of biochar amendment on soil enzyme activities by assay optimization, *Soil Biology & Biochemistry*, v. 43, p. 296-301.

BALOTA, E.L., LOPES, E.S., HUNGRIA, M., DÖBEREINER, J. (1997) Inoculação de bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos arbusculares na cultura da mandioca. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 32, p. 627-639.

BALOTA, E.L., MACHINESKI, O., STENZEL, N.M.C. (2010) Resposta da acerola à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares em solo com diferentes níveis de fósforo, *Bragantia*, Campinas, v. 70, n. 1, p.166-175.

BARBOSA, Z., SOARES, I., CRISÓSTOMO, L. A. (2003) Crescimento e absorção de nutrientes por mudas de gravioleira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 25, n. 3, p. 519-522.

BARBOSA, A. S., MEDEIROS, M. B. (2007) Potencial de ação elicitora dos biofertilizantes líquidos na indução de resistência sistêmica vegetal. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 02 n. 02, p. 1453-1457,

BARTZ, M.L.C., CARRENHO, R., GOMES-DA-COSTA, S.M., FILHO, C., TORMENA, C.A. (2008) Comparação entre as técnicas de amostragem direta em campo e cultura-armadilha para mensuração de diversidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares. *Hoehnea*, v. 35, p. 159-164.

BEESELEY, L., MORENO-JIMÉNEZ, E., GOMEZ-EYLES, L. JOSE. (2010) Effects of biochar and greenwaste compost amendments on mobility, bioavailability and toxicity of inorganic and organic contaminants in a multi-element polluted soil. *Environmental Pollution*, v. 158, p. 2282-2287.

BEESLEY, L., MARMIROLI, M. (2011) The immobilisation and retention of soluble arsenic, cadmium and zinc by biochar. *Environmental pollution* (Barking, Essex: 1987), v. 159, n. 2, p. 474–480.

BENITES, V. M., TEIXEIRA, W. G., REZENDE, E. M., PIMENTA, A. S. (2009) Utilização de carvão e subprodutos da carbonização vegetal na agricultura: Aprendendo com as terras Pretas de Índio. *In: TEIXEIRA, W. G. (Ed.). As terras pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, p. 285-296.

BENTIVENGA, S.P., MORTON, J.B. (1994) Stability and heritability of fatty acid methyl ester profiles of glomalean endomycorrhizal fungi. *Mycological Research*, v. 98, p. 1419-1426.

BERBARA, R.L.L., SOUZA, F.A., FONSECA, H.M.A.C. (2006) Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. *In: FERNADES, M.S. (ed.). Nutrição mineral de plantas*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 53-88.

BERTOLAZI, A. A., CANTON, G.C., AZEVEDO, I.G., CRUZ, Z. M. A., SOARES, J. M., SANTOS, W. O., RAMOS, A. C. (2010) O papel das ectomicorrizas na biorremediação de metais pesados no solo. *Natureza on line*, v. 8, p. 24-31.

BIEDERMAN, L. A., HARPOLE, W. S. (2013) Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *Global Change Biology Bioenergy*, v. 5, n. 2, p. 202–214.

BIRD, M. I., MOYO, C., VEENEDAAL, E. M., LLOYD, J., FROST, P. (1999) Stability of carbon in savanna soil. *Global Biochemical Cycles*, Washington, v. 13, n. 4, p. 923-932.

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

BORGES, A. J. S., TRINDADE, A. V., MATOS, A. P., PEIXOTO, M. F. S. (2007) Reduction of fusarium wilt of "banana-maçã" by inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n. 01, p. 35-41.

BRANDÃO, Z. N., LIMA, R. de L. S. de, AZEVEDO, D. M. P. de, FREIRE, E. C. (2007) Adubação potássica do algodão por meio de cinza de madeira. *Anais do Congresso brasileiro do algodão*, 6. Uberlândia, p. 1-7.

BRESSAN, W., SIQUEIRA, J.O., VASCONCELLOS, C.A., PURCINO, A.A.C. (2001) Fungos micorrízicos e fósforo, no crescimento, nos teores de nutrientes e na produção do sorgo e soja consorciados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, p.250-260.

BRIDGWATER, A. V. (2003) Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. *Chemical Engineering Journal*, Oxford, v. 91, p. 87-102.

BUCKING, H., SHACHAR-HILL, Y. (2005) Phosphate uptake, transport and transfer by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* is stimulated by increased carbohydrate availability. *New Phytologist*, 165:899-912.

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

CAMPOS, D.V. de; ZONTA, E.; BALIEIRO, F. de C.; GUERRA, J.G.M.; POLIDORO, J.C.; ANJOS, L.H.C dos; FREIRE, L.R.; LEAL, M.A. de A.; PEREIRA, M.G.; FERREIRA, M.B.C. (eds.) (2013) *Manual de calagem e adubação do estado do Rio de Janeiro*. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 430 p.

CANTARELLA, H. (2007) Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F., ALVAREZ V., V. H., BARROS, N. F., FONTES, R. L. F., CANTARUTTI, R. B., NEVES, J. C. L. (Ed.) *Fertilidade do solo*. 2.ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.375-470.

CANTRELL, K. B., HUNT, P.G., UCHIMIYA, M., NOVAK, J.M., RO, K.S. (2012) Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. *Bioresource technology*, v. 107, p. 419–428.

CARAVACA, F., ALGUALCIL, M.M., BAREA, J.M., RÓLDAN, A. (2005) Survival of inocula and native AMF fungi species associated with shrubs in degraded Mediterranean ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 37, p. 227-233.

CARDOSO, E.J.B.N., CARDOSO, I.M., NOGUEIRA, M.A., BARETTA, C.R.D.M., PAULA, M.A. (2010) Micorrizas arbusculares na aquisição de nutrientes pelas plantas. In: Siqueira, J.O., Souza, F.A., Cardoso, E.J.B.N., Tsai, S.M. (eds). *Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil*. Lavras: Editora UFLA.

CARVALHO, A.M. (2010) Adubação verde e qualidade do solo no cerrado. *Embrapa Cerrados*. Planaltina - DF, 4p.

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.

CHU, E.Y., MÖLLER, M.R.F., CARVALHO, J.G. (2001) Efeitos da inoculação micorrízica em mudas de gravioleira em solo fumigado e não fumigado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36 (4):671- 680.

CLAESSEN, M.E.C., BARRETO, W.O. PAULA, J.L., DUARTE, M.N. (eds) (1997) *Manual de Métodos de Análise de Solo*. Rio de Janeiro: Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 212p.

COLEMAN, D. C., CROSSLEY JR., D.A., HENDRIX, P. F. (2004) *Fundamentals of Soil Ecology*. Elsevier Academic Press Inc., Amsterdam, The Netherlands.

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

CORNEJO, P., MEIER, S., BORIE, G., RILLIG, M.C., BORIE, F. (2008) Glomalin-related soil protein in a Mediterranean ecosystem affected by a copper smelter and its contribution to Cu and Zn sequestration. *Science of the Total Environment*, 406:154-160.

COSTA, C.M.C., MAIA, L.C., CAVALCANTE, U.M.T., NOGUEIRA, R.J.M.C. (2001) Influência de fungos micorrízicos arbusculares sobre o crescimento de dois genótipos de aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.). *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36:893-901.

COSTA, A. N. da, COSTA, A. de F.S. da, MARQUES, M.O., SANTANA, R.C. (2001) Estudo de caso : Utilização de lodo de ETE na cultura do mamoeiro no norte do estado do Espírito Santo. In: ANDREOLI, C. V. (Coord.). *Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final*. Rio de Janeiro: Rima, p. 189-213.

COSTA, A. N. da, COSTA, A. de F.S. da. (2003) Nutrição e Adubação. In: MARTINS, D. dos S., COSTA, A. de F. S. da. (eds.) *A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção*. Vitória - ES: Incaper, 497 p.

CUBILLOS, J.G. (2010) *Evaluación bajo condiciones de invernadero de rhizobium sp nativos como fijador de nitrógeno em plantas leguminosas utilizadas como forraje en el centro biotecnológico del caribe*. Ciudad de Panamá; CIPAV, Colombia.

CUNHA, R.J.P. (1979) *Marcha de absorção de nutrientes em condições de campo e sintomatologia de deficiências de macronutrientes e do boro em mamoeiro*. Tese (Doutorado) - Piracicaba – SP, Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 131p.

CUNHA-QUEDA, C., MORAIS, M.C., RIBEIRO, H.M., ALMEIDA, M.H. (2010) Caracterização de compostos e de materiais orgânicos para a formulação de substratos para viveiros. *Revista de Ciências Agrárias*, 33(1): 367-375.

CZERNIK, S., BRIDGWATER, A. V. (2004) Overview of applications of biomass fast pyrolysis oil. *Energy and Fuels*, New Jersey, 18:590-98.

DANTAS, J.L.L., CASTRO NETO, M.T. (2000) Aspectos botânicos e fisiológicos. In: Trindade, A.V. (org) *Mamão, Produção: aspectos técnicos*. (Frutas do Brasil, 3). Cruz das Almas: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, p.11-14.

DANTAS, J.L.L., JUNGHANS, D.T., LIMA, J.F. (2003) *Mamão: O produtor pergunta, a Embrapa responde*. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, DF, p.151.

DANTAS, J.L.L. (2000) Cultivares. In: Trindade, A.V. *Mamão Produção: aspectos técnicos*. Frutas do Brasil 3, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Mandioca e Fruticultura cap. 3. p.15.

DE LUCA, T.H., MACKENXIE, M.D., GUNDALE, M.J., W.E. (2006) Wildfire-produced charcoal directly influences nitrogen cycling in ponderosa pine forests. *Soil Sci Soc Am J*, 70:448–453

DELARMELINDA, E. A., SAMPAIO, F. A. R., DIAS, J. R. M., TAVELLA, L. B., SILVA, J. S. (2010) Adubação verde e alterações nas características químicas de um Cambissolo na região de Ji-Paraná-RO. *Acta Amazonica*, Manaus, 40(3):625-628.

DINIZ, E.R., ALMEIDA, A. R., MATTOS, U. J. B. M. (2010) Efeito de doses de adubo verde no crescimento e produção de brócolis orgânico. *Horticultura Brasileira*, 28:2819-2826

DODD, J.C. (2000) The role of arbuscular mycorrhizal fungi in agro – and natural ecosystems. *Outlook on Agriculture*, London, 29(1): 55- 62.

DOS 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(4): 345-351.

ESPÍNDOLA, J. A. A., GUERRA, J. G. M., ALMEIDA, D. L. (1997) Adubação verde: estratégia para uma agricultura Sustentável. Seropédica: Embrapa-Agrobiologia, 20p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 42).

FACHINELLO, J.C., COUTINHO, E.F., MARODIN, G.A.B., BOTTON, M., DE MIO, L.L.M. (2003) Normas técnicas e documentos de acompanhamento da produção integrada de pêssego. Pelotas: UFPel/FAEM, 92p.

FAGUNDES, G. R., MACHADO FILHO, J. A., VALONE, G. V., YAMANISHI, O. K. (2000) Avaliação de diferentes substratos e duas formas de adubação na produção de mudas de mamoeiro da cultivar “Tainung 1”, em bandejas de poliestileno. In: *Anais do congresso brasileiro de fruticultura*, 16, Fortaleza: SBF, p. 393.

FARIA, C. M. B., SOARES, J. M., LEÃO, P. C. S. (2004) Adubação verde com leguminosas em videira no submédio São Francisco. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 28:641-648.

FERREIRA, L.E., SOUZA, E.P., CHAVES, A.F. (2012) Adubação verde e seu efeito sobre os atributos do solo. *Revista Verde*, 7(1):33-38.

FINLAY, R.D. (2004) Mycorrhizal fungi and their multifunctional roles. *Mycologist*, New York, 18(2):91-96

FITTER, A. H., MOYERSOEN, B. (1997) Evolutionary trends in root–microbe symbioses. In: J. Silvertown, M. Franco, J. L. Harper (eds). *Plant life histories*. Cambridge University Press. p. 265-282.

FOLONI, J.S.S., CALONEGO, J.C., LIMA, S.L. (2003) Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38:947-953.

GADKAR, V., DAVID-SCHWARTZ, R., KUNIK, T., KAPULNIK, Y. (2001) Arbuscular mycorrhizal fungal colonization. Factors involved in host recognition. *Plant Physiology*, 127(4):1493-1499.

GAMA, M.V. (1977) Efeitos do azoto e do potássio na composição mineral do trigo "Impeto" e do tomate "Roma". *Agronomia Lusitana*, 38(2):111-121.

GAUNT, J., COWIE A. (2009) Biochar, greenhouse gas accounting and emissions trading. In: LEHMANN, J., JOSEPH, S. (Eds). *Biochar for environmental management: Science and Technology*. London: Earthscan, p. 317-340.

GAUR, A.; ADHOLEYA, A. (2000) Effects of the particle size of soilless substrates upon AM fungus inoculum production. *Mycorrhiza*, 10:43-48

GEORGE, E., MARSCHNER, H., JAKOBSEN, I. (1995) Role of arbuscular mycorrhizal fungi in uptake of phosphorus and nitrogen from soil. *Crit Rev Biotechnol*, 15:257-270.

GERDEMANN, J. W., NICOLSON, T. H. (1963) Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 46(2):235-244.

GIOVANNETTI, M., MOSSE, B. (1980) Na evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, 84:489-500.

GLASER, B., BALASHOV, E., HAUMAIER, L., GUGGENBERGER, G., ZECH, W. (2000) Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of de Brazilian Amazon region. *Organic Geochemistry*, 31:669-678.

GONZÁLEZ-CHAVÉZ, M.C., CARRILLO-GONZÁLEZ, R., WRIGHT, S.F., NICHOLS, K.A. (2004) The role of glomalin, a protein produced by arbuscular mycorrhizal fungi, in sequestering potentially toxic elements. *Environmental Pollution*, 130:317-323.

GRACE, C., STRIBLEY, D.P. (1991) A safer procedure for routine staining of vesiculararbuscular mycorrhizal fungi. *Mycological Res.*, 95:1160-1162.

GUNDALE, M.J., DeLUCA, T.H. (2006) Temperature and source material influence ecological attributes of Ponderosa pine and Douglas-fir charcoal. *For Ecol Manag*, 231:86-93.

HARLEY, J. L. (1989) The significance of mycorrhiza. *Mycologia*, 92:129-139.

HEIJDEN, H., VERHAGEN, T., CREEMERS, M. (2003) Understanding online purchase intentions: contributions from technology and trust perspectives. *European Journal of Information Systems*, Basingstoke, v.12, n.1, p.41-48, Mar.

HERRMAN, S., OELMMULLER, R., BUSCOT, F. (2004) Manipulation of the onset of ectomycorrhiza formation by indole-3-acetic acid, activated charcoal or relative humidity in the association between oak microcuttings and *Piloderma croceum* influence on plant development and photosynthesis. *Journal Plant Physiology*, 161:509-517.

HILDEBRANDT, U.; OUZIAD, F.; MARNER, F.J.; BOTHE, H. (2006) The bacterium *Paenibacillus validus* stimulates growth of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* up to the formation of fertile spores. *FEMS Microbiology Letters*, v. 254, p. 258–267.

HOSSAIN, M. K.; STREZOV, V.; CHAN, K.Y.; ZIOLKOWSKI, A.; NELSON, P.F. Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. *Journal of environmental management*, v. 92, n. 1, p. 223–228, 2011.

IMHOF, S. (2009) Arbuscular, ecto-related, orchid mycorrhizas-three independent structural lineages towards mycoheterotrophy: implications for classification. *Mycorrhiza* 19: 357-363.

ISHII, T.; KADOYA, K. (1994) Effects of charcoal as a soil conditioner on citrus growth and vesicular–arbuscular mycorrhizal development. *J Jpn Soc Hortic Sci* 63:529–535.

JARREL, W.M.; BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. *Advances in Agronomy*, New York, v. 34, p. 197-224, 1981.

JEFFRIES, P.; GIANINAZZI, S.; PEROTTO, S.; TURNAU, K. & BAREA, J.M. (2003) The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biology and Fertility of Soils* 37: 1-16.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter*, v.48, n.9, p.692, 1964.

KARAMI, N. et al. Efficiency of green waste compost and biochar soil amendments for reducing lead and copper mobility and uptake to ryegrass. *Journal of Hazardous Materials*, v. 191, n. 1-3, p. 41–48, 2011.

KARHU, K.; MATTILA, T.; BERGSTRÖM, I.; REGINA, K. Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity – Results from a short-term pilot field study, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 140, 2011, pp. 309-313.

KENDRICK, P. & CRANE, P. R. The origin and early evolution of plants on land. *Nature*, v. 389, p. 33-39, 1997.

KHADE, S. W.; BERNARD RODRIGUES, F. B. F. (2009) *Studies on Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Mineral Nutrition of Carica papaya Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, v. 37, p. 183-186.

KITAMURA, A. E.; ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; GONZALEZ, A. P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.405-416, 2004.

KOOKANA, R.S.; SARMAH, A.K.; VAN ZWIETEN, L.; KRULL, E.; SINGH, B. (2011): *Biochar Application to Soil: Agronomic and Advances in Agronomy* 112, 103-143

KÖPPEN, W. (1948) *Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra*. Fondo de Cultura Econômica. México. 479p.

KRATZ, D.; WENDLING, I.; NOGUEIRA, A.C.; SOUZA, P.V.D. Propriedades físicas e químicas de substrato renováveis. *Revista árvore* 2013. Viçosa-MG, v.37, n.6, p.1103-1113.

KUZYAKOV, Y.; SUBBOTINA, I.; CHEN, H.Q.; BOGOLOMOVA, I.; XU, XINGLIANG. Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by ¹⁴C labeling. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 41, 2009, pp. 210-219.

LAL, R. Challenges and opportunities in soil organic matter research, *European Journal of Soil Science*, vol. 60, 2009, pp. 158-169.

LEAL, P.L.; MARTINS, M.A.; RODRIGUES, L. A.; SCHIAVO, J. A. (2005) Crescimento de mudas micro propagadas de bananeira micorrizadas em diferentes recipientes. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 27:84-87.

LEAL, A.J.F.; TOSTA, F. da S.; ANSELMO, J.L.; FURLANI JÚNIOR, E. Comportamento de algodoeiro cultivado em região de Cerrado com diferentes espaçamentos e densidades de plantas. In: Congresso Brasileiro de Algodão, 7.,

2009, Foz do Iguaçu. *Anais... Campina Grande*: Embrapa Algodão, 2009. 1 CD-ROM.

LEHMANN, J. Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment*, Washington, v. 5, n. 7, p. 381-387, 2007.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S., *Biochar for Environmental Management- Science and Technology*, Earthscan, London, 2009.

LEHMANN, J.; SILVA, J.P. DA; STEINER, C.; NEHLS, T. et al. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*, The Hague, v.249, n.2, p. 343-357, 2003.

LIMA, K.B. *Fungos Micorrízicos Arbusculares, Bactérias Diazotróficas e Adubação Fosfatada em Mudas de Mamoeiro*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense- Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, p.98, 2010.

LOVELOCK, C.E.; WRIGHT, S.F.; CLARK, D.A.; RUESS, R.W. Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungal across a tropical rain forest landscape. *Journal of Ecology*, v. 92, p. 278-287, 2004.

LYRA, G. B. *Estimativa dos níveis ótimos econômicos de irrigação e de adubação nitrogenada nos mamoeiros (Carica papaya L.) cultivar golden e do híbrido UENF Caliman 01*. 2007. 160f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2007.

MADARI, B. E.; BENITES, V. M.; CUNHA, T. J. F. The effect of management on the fertility of Amazonian dark earths. In LEHMANN, J., KERN, D. C., GLASER, B., Woods, W. I. (eds) *Amazonian dark earths. Origin, properties, management*. Kluwer: Dordrecht. 2003. p. 407-432.

MADARI, B. E.; COSTA, A. R.; CASTRO, L. M.; SANTOS, J. L.; BENITES, V. M.; ROCHA, A. O.; MACHADO, P. L. O. A. *Comunicado Técnico 125*. Goiânia, GO. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. 2006. 4 p.

MAIA, A. J.; INNECCO, R. Substrato para a produção de mudas de cajueiro-anão-precoce (*Anacardium occidentale* L.) em tubetes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 16., 2000, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: SBF, 2000. p. 173.

MALAVOLTA, E. *Manual de nutrição mineral de plantas*. Piracicaba: CERES, 2006. 631p.

MANGRICH, A.S.; MAIA, C.M.B.F.; NOVOTNY, E.H. Biocarvão – As Terras Pretas de Índios e o Sequestro de Carbono. *Ciência hoje*, vol. 47, p. 48-52, 2011.

MANICA, I. (1982) *Fruticultura tropical 3: mamão*. São Paulo: Agronômica Ceres, 265p.

MARIN, S. L. D.; GOMES, J. A.; SALGADO, J. S.; MARTINS, D. S.; FULLIN, E. A (1995) *Recomendações para a cultura do mamoeiro dos grupos Solo e Formosa no Estado do Espírito Santo*. 4 ed., Vitória: EMBRAPA Circular técnica, 57.

MARSCHNER, H.; DELL, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.159, p.89-102, 1994.

MARTINS, D. dos S.; COSTA, A. de F. S. da. (eds.). *A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção*. Vitória, ES: Incaper, 2003. 497 p.

MARTINS, M. A.; GONÇALVES, G. F.; SOARES, A. C. F. (2000) Efeito de fungos micorrízicos arbusculares associados a compostos fenólicos, no crescimento de mudas de mamoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 35, n. 7, p. 1465-1471.

MATSUBARA, Y.I.; HASEGAWA, N.; FUKUI, H. (2002) Incidence of Fusarium root rot in asparagus seedlings infected with arbuscular mycorrhizal fungus as affected by several soil amendments. *J Jpn Soc Hortic Sci* 71:370–374

MEDEIROS, E. V.; CARVALHO NETO, R. A.; MENDONÇA, V.; JESUS, D. D.; MELO, J. K. H.; ARAÚJO, F. A. R. de (2009) Superfosfato triplo e substrato alternativo na produção de mudas de mamoeiro. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 25, n. 2, p. 55-62.

MENDONÇA, V.; ABREU, N. A. A. de; GURGEL, R. L. da S.; FERREIRA, E. A.; ORBES, M. Y.; TOSTA, M. da S. (2006) Doses de nitrogênio e superfosfato simples no crescimento de mudas de mamoeiro 'Formosa'. *Revista Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 30, n.6, p. 1065-1070.

MILLER, R.M.; JASTROW, J.D. The role of mycorrhizal fungi in soil conservation. In: *Mycorrhizae in sustainable agriculture*. Madison: American Society of Agronomy, p. 29- 44, 1992.

MILLER, R. M.; KLING, M. The importance of integration and scale in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*, v.226, p.295-309, 2000.

MINATEL, A. L. G.; ANDRIOLI, I.; CENTURION J. F.; WILLIAM, N. Efeitos da subsolagem e da adubação verde nas propriedades físicas do solo em pomar de citros. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.26, n.1, p.86-95, 2006.

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*, Viçosa, v.27, n.5, p. 841-847.

MIYAUCHI, M.Y.H.; LIMA, D.S.; NOGUEIRA, M.A.; LOVATO, G.M.; MURATE, L.S.; CRUZ, M.F.; FERREIRA, J.M.; ZANGARO, W.; ANDRADE, G. (2008) Interactions between diazotrophic bacteria and mycorrhizal fungus in maize genotypes. *Scientia Agrícola*. (Piracicaba, Brasil), v. 65, n. 5, p. 525-531.

MOREIRA, F. M. S. & SIQUEIRA, J. O. (2002) *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: Universidade Federal de Lavras.

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

MORTON, J.B, BENTINVENGA, S.P.; BEVER, J.D. (1995) Discovery, measurement, and interpretation of diversity in symbiotic endomycorrhizal fungi (Glomales, Zygomycetes). *Canadian Journal of Botany*, 73 (suppl. 1): S25-S32.

MORTON, J.B.; REDECKER, D. Two new families of Glomales, Archaeosporaceae and Paraglomaceae, with two new genera Archaeosporaceae and Paraglomus, based on concordant molecular and morphological characters. *Mycologia*, Lawrence, v. 93, p. 181-195, 2001.

MUKHERJEE, A.; ZIMMERMAN, A. R. Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar–soil mixtures. *Geoderma*, v. 193-194, p. 122– 130, 2013.

NASCIMENTO, J. T.; SILVA, I. F.; SANTIAGO, R. D.; SILVA NETO, L. F. Efeito de leguminosas nas características químicas e matéria orgânica de um solo degradado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.7, n.3, p.457-462, 2003.

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

NICHOLS, K.A.; WRIGHT, S.F. Carbon and nitrogen in operationally defined soil organic matter pools. *Biol. Fert. Soils*, 43:215–220, 2006.

NÓBREGA, I.P.C. *Efeitos do biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: Sequestro de Carbono no solo*. Lisboa. Instituto Superior de Agronomia – Universidade Técnica de Lisboa, 2011. 46 p. (Tese de Mestrado).

OEHL, F.; SIEVERDING, E. *Pacispora*, a new vesicular-arbuscular mycorrhizal fungal genus in the *Glomeromycetes*. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, Gottigen, v. 78, p. 72-82, 2004.

OEHL, F. SIEVERDING, E.; PALENZUELA, J.; INEICHEN, K.; SILVA, G.A. Advances in Glomeromycota taxonomy and classification. *IMA Fungus*, London, v. 2, p. 191-199, 2011.

OLIVEIRA, J. B.; VIEIRA FILHO, A.; MENDES, M. G.; GOMES, P. A. Produção de carvão vegetal: aspectos técnicos. In: Oliveira, J.B. (Ed.) *Produção e utilização de carvão vegetal*. CETEC, Belo Horizonte. p. 59-74, 1982.

OLIVEIRA, J. A. de; SILVA, R. P. da; PEIXOTO, J. R.; JUNQUEIRA, N. T. V.; SANZONOWICZ, C. Influência de diversos substratos no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deneger). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 16., 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBF, 2000a. p. 485.

OLIVEIRA, J.R.P.; TRINDADE, A.V. *Mamão – Produção – Aspectos Técnicos. Propagação e Formação do Pomar*. Embrapa, 2000.

OLIVEIRA, T.K.de; CARVALHO, G.J.de & MORAES, R.N. de S., (2002) Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. *Pesq. Agrop. Bras.* 37: 1079-1087.

OLIVEIRA, A.M.G. (2002) Mamão. p. 114-112. In: A.L. BORGES, E.F. Coelho, and A.V. TRINDADE (org.) *Fertirrigação em fruteiras tropicais. 1. Embrapa Mandioca e Fruticultura*. Cruz das Almas, BA.

OLIVEIRA, A. M. G.; SOUZA, L. F. S.; RAIJ, B. V.; MAGALHÃES, A. F. J.; BERNARDI, A. C. C. *Nutrição, Calagem e Adubação do Mamoeiro Irrigado*. Cruz da Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. 10p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Circular Técnica, 69).

PAULA, M. A.; REIS, V. M.; DÖBEREINER, J. (1991) Interactions of *Glomus clarum* with *A. dizotrophicus* in infection of sweet potato, sugar cane, sweet sorghum. *Biology and Fertility of Soils*, v.11, p. 111-115.

PEIXOTO, J. R. *Efeito da matéria orgânica, do superfosfato simples e do cloreto de potássio na formação de mudas de maracujazeiro-azedo (Passiflora edulis f. flavicarpa)*. (1986) 101f. Dissertação (mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1986.

PEREIRA, M. G., MARIN, S. L. D., VIANA, A. P., PEREIRA, T. N. S., FERREGUETTI, G.A., MARTELLETO, L.A.P., IDE, C. D., CATANEO, L.F., SILVIA, F.F.; DAMASCENO, P. C., VITÓRIA, A.P., DAHER, R.F. (2004) Melhoramento genético do mamoeiro (*Carica papaya* L.): Desenvolvimento e recomendação de híbridos. In: *II Reunião de Pesquisa do Frutimamão*. Campos dos Goytacazes. p 21- 28.

PESSENDA, L. C. R.; GOUVEIA, S. E. M.; ARAVENA, R.; BOULET, R.; VALENCIA, E. P. E. Holocene fire and vegetation changes in southeastern Brazil as deduced from fossil charcoal and soil carbon isotopes. *Quaternary International*, Oxford, v. 114, n. 1, p. 35-43, 2004.

PETTER, F. A. *Biomassa carbonizada como condicionador de solo: aspectos agrônômicos e ambientais do seu uso em solos de cerrado*. 2010. 130p. Tese Doutorado (Doutorado em Produção Vegetal), Curso de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

PETTER, F. A.; MADARI, B. E. Biochar: Agronomic and environmental potential in Brazilian savannah soils. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n.7, p. 761-768, 2012.

PFEFFER, P.E.; DOUDS, D.D.; BE´CARD, G.; SHACHAR-HILL, Y. (1999) Carbon uptake and the metabolism and transport of lipids in and arbuscular mycorrhiza. *Plant Physiol* 120: 587–598

PONOMARENKO, E. V.; ANDERSON D. W. Importance of charred organic matter in Black Chernozem Soils Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science*. V. 81, p. 285-297, 2001.

PURIN, S.; RILLING, M.C. The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalina: limitations, progress, and a new hypothesis for its function. *Pedobiologia*, v. 51, p. 123-130, 2007.

QUEIROZ, J. A.; MELÉM JÚNIOR, N. J. Efeito do tamanho do recipiente sobre o desenvolvimento de mudas de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 21, n. 1, p. 460-462, agosto, 2001.

RIBEIRO, T.S. *Influência da adubação verde sobre o crescimento e nutrição de gravioleira e mangueira e sobre a atividade microbiana do solo*. Campos dos

Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2008. 70 p. Dissertação (mestrado) - Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2008.

RILLIG, M.C.; WRIGHT, S.F.; NICHOLS, K.A.; SCHMIDT, W.F.; TORN, M.S. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. *Plant and Soil*, v.233, p.167-177, 2001.

RILLIG, M.C.; RAMSEY, P.; MORRIS, S.; PAUL, E. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to soil-use change. *Plant and Soil*, v. 253, n.2, p.293-299. 2003.

RILLIG, M.C.; STEINBERG, P.D. Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: a mechanism of habitat modification? *Soil Biology & Biochemistry*, v. 34, p. 1371– 1374, 2002.

RODRIGUES, L.A.; MARTINS, M.A.; SALOMÃO, M.S.M.B. Uso de Micorrizas e rizóbio em cultivo consorciado de Eucalipto e Sesbânia. I – Crescimento, Absorção e Transferência de Nitrogênio entre Plantas. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:583-591, 2003.

SAGGIN JÚNIOR, O.J.; SILVA, E.M.R. Micorriza arbuscular – papel, funcionamento e aplicação da simbiose. In: AQUINO, A.M.; ASSIS, R.L. *Processos biológicos no sistema solo-planta*. Embrapa Agrobiologia – Brasília – DF, p. 101-149, 2005.

SAGRILO, E.; LEITE, L. F. C.; GALVÃO, S. R. S. et al. *Manejo Agroecológico do Solo: os Benefícios da Adubação Verde*. Embrapa Meio Norte, 2009. Documento 193.

SALA, V. M. R.; FREITAS, S. S.; SILVEIRA, A. P. D. (2007) Interação de fungos micorrízicos arbusculares e bactérias diazotróficas em trigo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, p. 1593-1600.

SANTOS, L. C. *Efeito do cobre na população de bactérias e fungos do solo, associação ectomicorrízica e no desenvolvimento de mudas de Eucalipto e Canafístula*. Dissertação de Mestrado. Mestrado em Ciências do Solo, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS. 2006.

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; BALBINO, L. C. Macrofauna edáfica associada a plantas de cobertura em plantio direto em

um Latossolo Vermelho do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.43, n.1, p.115-122, 2008.

SCHIAVO, J.A.; MARTINS, M..A. Produção de mudas de goiabeira (*Psidium guajava* L.), inoculadas com o fungo micorrízico arbuscular *Glomus clarum*, em substrato agroindustrial. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 24, p. 519-523, 2002.

SCHMIDT, M. W. I.; SKJEMSTAD, J. O. Carbon isotope geochemistry and nanomorphology of soil black carbon: black chernozemic soils in central Europe originate from ancient biomass burning. *Global Biogeochemistry Cycles*, Mainz, v. 16, p. 1123, 2002.

SCHÜßLER A.; SCHWARZOTT D.; WALKER C. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research*, v. 105, p. 1413-1421, 2001.

SIEVERDING, E.; OEHL, F. Revision of *Entrophospora* and description of *Kuklospora* and *Intraspora*, two new genera in the arbuscular mycorrhizal Glomeromycetes. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, v. 80, p. 69-81, 2006.

SILBER, A.; LEVKOVITCH, I.; GRABER, R.E., pH-Dependent mineral release and surface properties of cornstraw biochar: Agronomic implications, *Environmental Sciences Technologies*, vol. 44, 2010, pp. 9318-9323.

SILVA, R. P. da.; PEIXOTO, J. R.; JUNQUEIRA, N. T. V. Influência de diversos substratos no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro-azedo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* DEG). *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal-SP, v.23, n.2, p.377-381, agosto, 2001.

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

SILVA, D. M. E. *Influência dos sistemas de exploração agrícola convencional e orgânico em cana-de-açúcar*. 2007. Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do grau de Doutor em Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia. 78 p.

SILVA, C.F.; PEREIRA, M.G.; SILVA, E.M.R.; CORREIA, M.E.F.; SAGGIN-JUNIOR, O.J. Fungos micorrízicos arbusculares em áreas no entorno do parque estadual da Serra do Mar em Ubatuba (SP). *Caatinga*, v. 19, p. 01-10, 2006.

SILVA, L. F. C.; SIQUEIRA, J. O. Crescimento e teores de nutrientes de mudas de abacateiro, mangueira e mamoeiro sob influência de diferentes espécies de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 15, n. 3, p. 283-288, 1991.

SILVEIRA, S. V.; SOUZA, P. V. D.; KOLLER, O. C. Efeito de fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento do abacateiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, n. 11, p. 1597-1604, 2002.

SIMÃO, S. (1971) Manual de fruticultura. São Paulo: *Agronômica Ceres*, 530p.

SIMÃO, S. *Tratado de fruticultura*. Piracicaba: FEALQ, 1998. 760p.

SINGH, B. P. HALTON, B.J.; BALWANT, S.; COWIE, A.L.; KATHURIA, A. Influence of Biochars on Nitrous Oxide Emission and Nitrogen Leaching from Two Contrasting Soils. *Journal of Environment Quality*, v. 39, n. 4, p. 1224, 2010.

SIQUEIRA, J.O., COLOZZI-FILHO, A. & SAGGIN-JÚNIOR, O.J. Efeitos da infecção de plântulas de cafeeiro com quantidades crescentes de esporos do fungo endomicorrízico *Gigaspora margarita*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 29:875-883, 1994.

SIQUEIRA, J.O.; LAMABAIS, M.R.; STURMER, S.L. Fungos micorrízicos arbusculares. *Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento*, Brasília, n. 25, p. 12-21, mar./abr., 2002.

SMITH, S.E; READ, D.J. (2008) *Mycorrhizal Symbiosis*. London, Academic Press.

SMITH, JEFFREY, L.; COLLINS, HAROLD, P.; BAILEY, VANESSA, L.. The effect of young biochar on soil respiration, *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 42, 2010, pp. 2345-2347.

SOARES, N. B. Mamão *Carica papaya* L. In: FAHL, J. I et al. (Ed.). *Instruções agrícolas para as principais culturas econômica*. Campinas-SP: IAC, 1998. p. 137-138. (Boletim, 200).

SOLAIMAN M.D.; SAITO, M. (1997) Use of sugars by intraradical hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi revealed by radiorespirometry. *New Phytol* 136, p. 533- 538.

SOUSA, C.S. *Diversidade e Atividade de Fungos Micorrízicos Arbusculares em Agroecossistemas do semi-árido Paraibano*. Dezembro, 2009. 136f. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Energia Nuclear. Recife, 2009.

SOUZA, L. F. S.; TRINDADE, A. V.; OLIVEIRA, A. M. G. (2000) Calagem, exigências nutricionais e adubação. In: *Trindade, A.V. Mamão. Produção: Aspectos técnicos*. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, p. 26-34.

SOUSA, A. A. T. C.; FIGUEIREDO, C.C. Sewage sludge biochar: effects on soil fertility and growth of radish. *Biological Agriculture & Horticulture*, v. 32, n. 2, p. 127-138, 2015.

STEENWERTH, L.K.; JACKSON, E.L.; CALDERÓN, J. FRANCISCO; SCOW, M. KATE; ROLSTON, E. DENNIS. Response of microbial community composition and activity in agricultural and grassland soils after a simulated rainfall, *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 37, 2005, pp. 2249-2262.

STEFFEN, R. S.; ANTONIOLLI, Z. I.; KIST, G. P. Avaliação de substratos para reprodução de colêmbolos nativos em condições de laboratório. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 17, n. 3, p. 265-269, 2007.

STEINER, C.; BLUM, W.E.H.; ZECH, W.; DE MACEDO, J.L.V.; TEIXEIRA, W.G.; LEHMANN, J.; NEHLS, T. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant Soil*. v. 291, p. 275-290, 2007.

STEWART, C. E.; ZHENG, J.; BOTE, J.; COTRUFO, M.F. Co-generated fast pyrolysis biochar mitigates green-house gas emissions and increases carbon sequestration in temperate soils. *Global Change Biology Bioenergy*, v. 5, n. 2, p. 153–164, 2013.

TANG, J.; ZHU, W.; KOOKANA, R.; KATAYAMA, A. Characteristics of biochar and its application in remediation of contaminated soil. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, v. 116, n. 6, p. 653–659, 2013.

THIES, J.E.; RILLIG, M.C. Characteristics of biochar: biological properties. In: LEHMANN, J. JOSEPH, S. (Ed.). *Biochar for environmental management: Science and technology*. Oxford: Taylor & Francis, 2009. Chap. 6.

TIAGO, P.V.; MELZ, E.M.; SCHIEDECK, G. Comunidade de bactérias e fungos de esterco antes após a vermicompostagem e no substrato hortícola após o uso

de vermicomposto. *Rev. Ciên. Agron.*, Fortaleza, v. 39, n. 02, p. 187-192, Abr.-Jun, 2008.

TRESEDER, K.K.; TURNER, K.M. Glomalin in ecosystems. *Soil Science Society of America Journal*, v.71, p. 1257-1266, 2007.

TRINDADE, A. V.; OLIVEIRA, J. R. P. Propagação e plantio. In: SANCHES, N.F.; DANTAS, J.L.L. *O Cultivo do mamão*. Cruz das Almas: EMBRAPA, 1999. p. 17-26.

TRINDADE, A.V.; OLIVEIRA, A.A.R.; NASCIMENTO, A.S.; OLIVEIRA, A.M.G.; RTZINGER, C.H.S.P.; BARBOSA, C.J.; COSTA, D.C.; COELHO, E. F.; SANTOS FILHO, H.P.; OLIVEIRA, J.R.P. (2000) *Mamão. Produção: aspectos técnicos. Embrapa mandioca e fruticultura*. Brasília: Embrapa, Frutas do Brasil 3. 77p

TRINDADE, A. V.; DANTAS, J. L. L.; ALMEIDA, F.P.; MAIA, I. C. S. (2001a). Estimativa do coeficiente de determinação genotípica em mamoeiros (*Carica papaya* L.) inoculados com fungo micorrízico arbuscular. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 23., n.3, p. 607-612.

TRINDADE, A. V. SIQUEIRA, J. O.; ALMEIDA, F. P. (2001b) Dependência micorrízica de variedades comerciais de mamoeiro. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v.36, n. 12, p. 1485-1494.

TRINDADE, A. V.; OLIVEIRA, J. R. P. (2000) Propagação e Formação do Pomar. In: *Mamão produção: aspectos técnicos. Frutas do Brasil*. Brasília: Embrapa, v. 3, p. 77.

TRINDADE, A.V; SALQUEIRO, J. L. L. ; SANTOS, T. M. C. dos. (2003) Crescimento e produtividade do mamoeiro a partir de mudas micorrizadas, sob diferentes esquemas de adubação. *Papaya Brasil*. Vitória, Incaper, p. 454-457.

UCHIMIYA, M., LIMA, I.M., KLASSON, K.T., CHANG, S., WARTELLE, L.H., RODGERS, J.E., (2010) Immobilization of heavy metal ions (Cu^{II}, Cd^{II}, Ni^{II}, and Pb^{II}) by broiler litter-derived biochars in water and soil. *J. Agr. Food Chem.* 58, 5538–5544.

VAN ZWIETEN, L.; KIMBER, S.; MORRIS, S.; CHAN, K.; DOWNIE, A.; RUST, J.; JOSEPH, S.; COWIE, A. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and soil*, v. 327, n. 1-2, p. 235-246, 2010.

VICHIATO, M. *Nutrição mineral e crescimento de mudas de mamoeiro em função de fósforo e magnésio*. Universidade Federal de Lavras, 2005. 90 p. (Tese de doutorado).

VICHIATO, M.; VICHIATO, M. R. de M.; CASTRO, D. M. de; JÚNIOR, W. M.; LIMA, C. D. F.; CARVALHO, J. G. de (2007) Silício e Fósforo no desenvolvimento e anatomia foliar de mudas do mamoeiro 'Improved Sunrise Solo 72/12'. *Papaya Brasil*, p. 397-400.

VODNIK, D.; GRČMAN, H.; MACEK, I.; ELTEREN VAN, J.T.; KOVACENIC, M. The contribution of glomalin-related soil protein to Pb and Zn sequestration in polluted soil. *Science of the Total Environment*, v.392, p. 130-136, 2008.

VON OSTERROHT, M. O que é uma adubação verde: princípios e ações. *Agroecologia Hoje*, Botucatu, n.14, p.9 -11, maio/jun 2002.

WALKER, C.; SCHUBLER, A. Nomenclatural clarifications and new taxa in the Glomeromycota. *Mycological Research*, v. 108, p. 979-982, 2004.

WALKER, C.; BLASZKOWSKI, J.; SCHWARZOTT, D.; SCHUBLER, A. *Gerdemannia* gen. nov., a genus separated from *Glomus*, and Gerdemanniaceae fam. Nov., a new family in the Glomeromycota. *Mycological Research*, v. 108, p. 707-718, 2004.

WARDLE, D.A. *Communities and ecosystems: Linking the aboveground and belowground components*. Princeton, Princeton University Press, 2002. p.457.

WARNOCK, D.D.; LEHMANN, J.; KUYPER, T.W.; RILLIG, M.C. Mycorrhizal responses to biochar in soil – concepts and mechanisms. *Plant Soil* (2007) 300:9–20.

WEBER, O. B.; SOUZA, C. C. M.; GONDIN, D. M. F.; OLIVEIRA, F. N. S.; CRISÓSTOMO, L. A.; CAPRONI, A. L.; SAGGIN JÚNIOR, O. Inoculação de fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada em mudas de cajueiro-anão-precoce. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 5, p. 477-483, 2004.

WOICIECHOWSKI, T. *Avaliação dos Atributos de um cambissolo Háplico e crescimento inicial de Eucalyptus benthamii após aplicação de Biocarvão na região de Irati-PR*. Irati: Universidade Estadual do Centro Oeste – PR, 2011. 64f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Estadual do Centro Oeste, Irati-PR, 2011.

WOODS, W. I.; MCCANN, J, M. El origen y persistencia de la tierras negras de la Amazonía. In: Hiarooka, M.; Mora, S (eds.) *Desarrollo Sostenible en la Amazonía*. Abya-Yala: Quito, pp. 23-30, 2001.

WRIGHT, S.F.; UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Science*, v.161, p. 575-586, 1996.

WRIGHT, S.F.; GREEN, V.S.; CAVIGELLI, M.A. Glomalin in aggregate size classes from three different farming systems. *Soil & Tillage Research*, v. 94, p. 546-549, 2007.

WUTKE, E.B.; TRANI, P.E.; AMBROSIANO, E.J.; DRUGOWICH, M.I. *Adubação verde no estado de São Paulo*. Campinas: CATI, 2009. 89p. (Boletim Técnico, 249).

YAO, Y.; GAO, B.; INYANG, M.; ZIMMERMAN, A.R.; CAO, X.; PULLAMMANAPPALLIL, P.; YANG, L. Biochar derived from anaerobically digested sugar beet tailings characterization and phosphate removal potential. *Bioresource Technology*, Oxford, v. 102, p. 6273-6278, 2011.

ZECH, W.; HAUMAIER, L.; HEMPFLING, R. Ecological aspects of soil organic matter in tropical land use. In: McCarthy, P., Clapp, C.E., Malcolm, R.L., Bloom, P.R. (eds.) *Humic substances in soil and crop sciences: Selected readings*. ASA/SSSA: Madison, WI, pp. 187-202, 1990.

ZINGORE, S.; MAFONGOYA, P.; NYAMUGAFATA P & GILLER, K.E. (2003) Nitrogen mineralization and maize yields following application of tree prunings to a sandy soil in Zimbabwe. *Agroforestry Systems*, 57:199-211.