

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPIRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

PAULO HENRIQUE RIBEIRO

**USO DE FINOS DE CARVÃO E ESTERCO DE GALINHA EM SOLO
CULTIVADO COM MILHO E NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE CAFÉ**

ALEGRE-ES

2016

PAULO HENRIQUE RIBEIRO

**USO DE FINOS DE CARVÃO E ESTERCO DE GALINHA EM SOLO CULTIVADO
COM MILHO E NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE CAFÉ**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Produção Vegetal na Área de Concentração Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. D.Sc.. Renato Ribeiro Passos
Coorientador: Prof. D.Sc. Felipe Vaz Andrade
Coorientador: Prof. Ph.D. Eduardo de Sá Mendonça

ALEGRE-ES

2016

R484u Ribeiro, Paulo Henrique, 1986-
Uso de finos de carvão e esterco de galinha em solo cultivado com milho e na produção de mudas de café / Paulo Henrique Ribeiro. – 2016.
71 f. : il.

Orientador: Renato Ribeiro Passos.
Coorientadores: Felipe Vaz Andrade; Eduardo de Sá Mendonça.
Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Biochar. 2. Nitrogênio. 3. Solo – Uso. 4. Alcalinidade. 5. Condicionador de solo. 6. Crescimento (Plantas). I. Passos, Renato Ribeiro. II. Andrade, Felipe Vaz. III. Mendonça, Eduardo de Sá. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. V. Título.

PAULO HENRIQUE RIBEIRO

**USO DE FINOS DE CARVÃO E ESTERCO DE GALINHA EM SOLO CULTIVADO
COM MILHO E NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE CAFÉ**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal na área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovada em 30 de março de 2016

Prof. D. Sc. Renato Ribeiro Passos
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Ph. D. Eduardo de Sá Mendonça
Universidade Federal do Espírito
Santo
Coorientador

Prof. D. Sc. Otacílio José Passos Rangel
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Espírito Santo – Campus
de Alegre

Prof. D. Sc. Diego Lang Burak
Universidade Federal do Espírito
Santo

Prof. D. Sc. Wallace Luís de Lima
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Espírito Santo – Campus de Alegre

A Deus, que derrama sobre nós os dons e as graças;

Ao amor, carinho e compreensão de minha esposa, Andressa;

Aos meus pais e demais familiares;

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, pela vida, pela inspiração e pelo amor;

À Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), pelas oportunidades que me levaram à essa formação acadêmica;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES), pelo auxílio financeiro à pesquisa;

Ao orientador Renato Ribeiro Passos que acompanhou a minha formação desde o período do mestrado, teve paciência comigo e deu liberdade de desenvolver minhas ideias;

Ao professor Eduardo e Felipe, pelas dicas profissionais e acompanhamento de minha formação;

Ao professor Otacílio e Wallace, pelo apoio na condução dos experimentos no Campus do Ifes;

Aos amigos e aos companheiros de república: Victor, Filipe, Rafael, Paulo Rocha, Namara, Tony, Elias, Amílton, Stéfanie, Daniel, pelas alegrias e dificuldades compartilhadas;

À Andressa Catharina, minha esposa querida, pelo carinho, compreensão, incentivo e sonhos compartilhados nessa fase;

Aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PPGPV), pela contribuição na minha vida acadêmica e pessoal;

Ao Gerry Adriani, que gentilmente prestou todo o apoio necessário na condução do experimento de mudas;

A todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte desta conquista;

SUMÁRIO

RESUMO GERAL.....	8
GENERAL ABSTRACT.....	9
INTRODUÇÃO GERAL.....	10
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	12
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
CAPÍTULO I – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICAS DE FINOS DE CARVÃO DE EUCALIPTO INCUBADOS COM ESTERCO DE GALINHA.....	13
RESUMO.....	13
ABSTRACT.....	14
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
2.1. MATÉRIAS-PRIMAS PARA INCUBAÇÃO.....	16
2.2. MONTAGEM E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	16
2.3. ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICAS.....	17
2.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	17
3. RESULTADOS.....	18
4. DISCUSSÃO.....	23
5. CONCLUSÕES.....	26
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26
CAPÍTULO II – PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO, PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E NUTRIÇÃO DE MILHO PARA SILAGEM EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE MATERIAIS ORGÂNICOS À BASE DE ESTERCO DE GALINHA E FINOS DE CARVÃO.....	30
RESUMO.....	30

ABSTRACT.....	31
1. INTRODUÇÃO.....	32
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	33
2.1. EXPERIMENTO DE CASA DE VEGETAÇÃO.....	33
2.2. EXPERIMENTO DE CAMPO.....	35
2.3. ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	37
3. RESULTADOS	37
3.1. EXPERIMENTO DE CASA DE VEGETAÇÃO.....	37
3.2. EXPERIMENTO DE CAMPO.....	39
4. DISCUSSÃO.....	41
4.1. EXPERIMENTO DE CASA DE VEGETAÇÃO.....	41
4.2. EXPERIMENTO DE CAMPO.....	43
5. CONCLUSÕES.....	46
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
CAPÍTULO III – SUBSTRATOS À BASE DE FINO DE CARVÃO DE EUCALIPTO E ESTERCO DE GALINHA PARA PRODUÇÃO DE MUDAS CLONAIIS DE CAFÉ CONILON.....	51
RESUMO.....	51
ABSTRACT.....	52
1. INTRODUÇÃO.....	53
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	54
3. RESULTADOS	57
4. DISCUSSÃO.....	61
4.1. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICAS DOS SUBSTRATOS.....	61
4.2. PARÂMETROS DE CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DAS MUDAS CLONAIIS DE CAFÉ CONILON.....	63

5. CONCLUSÕES.....	66
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

RESUMO GERAL

RIBEIRO, Paulo Henrique, **Uso de finos de carvão e esterco de galinha em solo cultivado com milho e na produção de mudas de café**, 2016. 71f. (Tese – Doutorado em Produção Vegetal) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2016.

O composto orgânico formado por finos de carvão vegetal e esterco de galinha pode melhorar a fertilidade do solo e a produção vegetal. O objetivo dessa tese foi avaliar as características químicas e físicas de finos de carvão de eucalipto incubados com esterco de galinha, a produção de mudas de café e a resposta da cultura do milho à aplicação dos materiais orgânicos produzidos. Quatro granulometrias de fino de carvão (4-2, 2-1, 1-0,29 e <0,29 mm) foram incubadas na proporção de 1:1 (volume) com esterco de galinha, procedendo cinco coletas para análise (0, 45, 90, 135 e 180 dias de incubação). Os materiais foram aplicados em solo de vasos para cultivo de milho (30 dias) em casa de vegetação, em sulcos na linha de cultivo de milho em campo (ponto de silagem) e nos substratos para produção de mudas clonais de café conilon. As misturas incubadas e o esterco puro apresentaram como características em destaque: alto pH (8,0 a 9,1), que acarretou baixos teores de N (1,2-1,7%); teores altos de cinzas (40,4-67,9%) e P total (18,4-50 g kg⁻¹). O esterco puro foi o tratamento que proporcionou o melhor crescimento do milho cultivado em vasos e campo, e melhor desenvolvimento das mudas de café. A aplicação de finos de carvão no solo deve ser limitada à dose para correção de acidez, devido à sua alcalinidade. Essa dose ainda aportará P, K, Ca e Mg, promovendo economia na aplicação de fertilizantes.

Palavras-chave: biochar, nitrogênio, condicionador de solo, alcalinidade.

GENERAL ABSTRACT

RIBEIRO, Paulo Henrique. **Use of fine charcoal and chicken manure in a soil cultivated with corn and the coffee seedlings production**, 2016. 71f. (Tese – Doutorado em Produção Vegetal) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2016.

The organic composts based on charcoal fines and chicken manure can improve soil fertility and plant production. The aim of this thesis was to evaluate the chemical and physical characteristics of eucalyptus fine charcoal incubated with chicken manure, the production of coffee seedlings and maize response to the application of organic materials produced. Four particle size of eucalyptus fine charcoal (4-2, 2-1, 1 to 0.29 and <0.29 mm) were incubated in a 1:1 ratio (v:v) with chicken manure, proceeding five sampling for analysis (0 45, 90, 135 and 180 days of incubation). The materials were applied in soil pots for growing corn (30 days) in the greenhouse, in furrows in corn cultivation line field (silage point) and substrates for production of clonal seedlings conilon coffee. The incubated mixtures and pure manure presented as featured characteristics: high pH (8.0 to 9.1), which led to low levels of N (1.2-1.7%); high ash content (40.4 to 67.9%) and total phosphorus (18.4 to 50 g kg⁻¹). Pure manure was the treatment provided the best growth of the corn in pots and field, and best development of coffee seedlings. The application of charcoal fines in the soil should be limited to the dose acidity correction, due to their alkalinity. This dose also will invest P, K, Ca and Mg, promoting savings in fertilizer application.

Keywords: biochar, nitrogen, soil amendment, alkalinity.

INTRODUÇÃO GERAL

A crescente demanda mundial por produtos de origem agropecuária provocou a expansão das áreas de cultivo e geração de variados resíduos. Parte dessa expansão ocorre através de supressão da vegetação natural em diferentes biomas. Quando a adoção de práticas agrícolas não corresponde à capacidade de suporte desses ambientes, a degradação das terras passa a tomar proporção, os teores de matéria orgânica diminuem, os solos são desestruturados e perdem a fertilidade.

Diante do desgaste dos solos, provocado pela intensa exploração, torna-se necessário o emprego de técnicas de recuperação da fertilidade do solo para a produção vegetal. O retorno dos resíduos orgânicos oriundo das atividades agropecuárias e florestais é uma prática que deve ser estimulada, uma vez que dá destino aos subprodutos ao mesmo tempo em que é capaz de elevar os teores de matéria orgânica e nutrientes dos solos.

A pirólise ou carbonização é o principal processo de conversão termoquímica anaeróbica da biomassa, levando a três fases de produtos: gases não condensáveis; vapores condensáveis em líquidos (bio-óleo e alcatrão); e sólidos (carvão ou cinza). Destinado à produção de carvão, a pirólise lenta é uma técnica que utiliza as faixas de temperatura de 350-700 ° C, taxas de aquecimento lento de 1-100 °C min⁻¹, tempos de residência de longa duração (minutos-horas) (SPOKAS et al, 2011). Quando a pirólise é direcionada para obter um produto que será aplicado nos solos com a intenção de melhorar a fertilidade, este é chamado de biochar ou biocarvão (LEHMANN; JOSEPH, 2009; SPOKAS et al., 2011).

A produção de carvão vegetal é um exemplo de atividade geradora de resíduos. Em 2014, o Brasil produziu 7.240.387 t de carvão vegetal, sendo 85,9% proveniente da silvicultura e 14,1% da extração vegetal. O estado maior produtor é Minas Gerais com 5.268.170 t produzidas, sendo 98,7% vindo da silvicultura. Nesse mesmo ano, o Espírito Santo produziu 40.539 t do produto, originado da silvicultura (IBGE, 2014). O fino de carvão é subproduto obtido após o peneiramento na classificação do carvão vegetal, representando cerca de 15% do total de carvão produzido (BENITES et al., 2009). Estima-se portanto, uma geração de 1.277.715 t de fino de carvão vegetal no Brasil e 7.154 t no Espírito Santo.

No Espírito Santo, no ano de 2014/2015, foi produzido mensalmente 753.987 caixas com 30 dúzias de ovos de galinha, 72.824 caixas com 50 dúzias de ovos de codorna e 5.363.167 cabeças de frango (AVES, 2016). Estima-se que essa produção corresponda à geração de mais de 36 mil toneladas de esterco de aves por mês.

A serragem de madeira é o principal material orgânico empregado na compostagem do esterco de aves para promover o equilíbrio na relação carbono/nitrogênio (C/N). A compostagem desses materiais é um destino correto para os resíduos orgânicos e melhora as características químicas e físicas dos solos. Os finos de carvão podem ser utilizados alternativamente à serragem na compostagem dos estercos, com a vantagem de produzir um composto orgânico com alta estabilidade da matéria orgânica e, portanto, persistência de seus efeitos benéficos no solo e aumento na produção das culturas.

Baseado no exposto, tem-se como hipóteses: o tempo de incubação e a granulometria dos carvões modificam as características químicas e físicas das misturas de finos de carvão de eucalipto e esterco de galinha; a mistura de fino de carvão ao esterco para incubação proporciona efeito semelhante ao esterco de galinha puro na produção de matéria seca da parte aérea e nutrição do milho quando aplicados no solo de cultivo e; os finos de carvão podem substituir parcialmente o esterco de galinha adicionado ao substrato na produção de mudas clonais de café conilon. O objetivo dessa tese foi avaliar as características químicas e físicas de finos de carvão de eucalipto incubados com esterco de galinha, bem como a produção de matéria seca e nutrição do milho, e a produção de mudas de café sob aplicação dos materiais orgânicos produzidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVES. **Perfil da Avicultura do Capixaba 2014/2015**. Disponível em: http://www.associacoes.org.br/images/pdf/Perfil_Aves2014.pdf Acesso em: 23 mar 2016.

BENITES, V.M.; TEIXEIRA, W.G.; REZENDE, M.E.; PIMENTA, A.S. Utilização de carvão e subprodutos da carbonização vegetal na agricultura: aprendendo com as Terras Pretas de Índio. In: TEIXEIRA, W.G.; KERN, D.C.; MADARI, B.E.; LIMA, H.N.; WOODS, W.I. (eds.). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia**: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p.285-296.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**, 2014. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. Disponível em: http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs_2014_v29.pdf. Acesso em: 8 jan 2016.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for environmental management: An introduction. In: Lehmann, J.; Joseph, S. (ed). **Biochar for environmental management: Science and Technology**. 1.ed. Londres: Earthscan, p. 4-18, 2009.

SPOKAS, K.A.; CANTRELL, K.B.; NOVAK, J.M.; ARCHER, D.W.; IPPOLITO, J.A.; COLLINS, H.P.; BOATENG, A.A.; LIMA, I.M.; LAMB, M.C.; MCALOON, A.J.; LENTZ, R.D.; NICHOLS, K.A. Biochar: A synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration. **Journal of Environmental Quality**, v. 41, n .4, p. 973-989, 2011.

CAPÍTULO I – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICAS DE FINOS DE CARVÃO DE EUCALIPTO INCUBADOS COM ESTERCO DE GALINHA

RESUMO

Finos de carvão e esterco são resíduos orgânicos com características diferentes que, quando associadas em uma compostagem, podem se complementar para gerar um material mais adequado para condicionamento de solos. Este trabalho visou avaliar as características químicas e físicas do esterco de galinha puro e do esterco de galinha incubado com finos de carvão ao longo do tempo. Quatro classes granulométricas de finos de carvão de eucalipto (4-2, 2-1, 1-0,29 e <0,29 mm) foram misturadas na proporção de 1:1 em volume com esterco de galinha e incubadas por 180 dias nos baldes plásticos em casa de vegetação, além da avaliação do esterco puro. As misturas foram revolvidas semanalmente, a umidade foi mantida em 50% (base em massa), e a cada 45 dias foram retirados baldes com os materiais para análises. Os resultados mostraram que não houve ajuste para os teores de N, P, K, Ca e Mg ao longo do tempo, no entanto, os teores de N (1,2-1,7%) foram menores e P (18,4-50 g kg⁻¹), K (8,6-16,3 g kg⁻¹), Ca (107,8-220 g kg⁻¹), Mg (4,7-12,1 g kg⁻¹) e cinzas (40,4-67,8%) foram maiores aos 180 dias de incubação. O esterco apresentou os maiores teores de nutrientes, nitrogênio solúvel em água (NSA) (2,1-3,4 g kg⁻¹), densidade aparente (0,57-0,73 kg dm⁻³) e pH (8,3-9,1). A formação de substâncias mais estáveis no decorrer da incubação fizeram diminuir os teores de NSA (1,5 a 3,4 g kg⁻¹ aos 0 dias e 0,3 a 2,1 g kg⁻¹ aos 180 dias de incubação), com maior taxa de redução do teor na mistura esterco + fino de carvão de 4-2 mm (4-2EST) (79%), onde provavelmente houve maior proteção do NSA dentro da partícula de carvão. A decomposição dos materiais fez a densidade aparente aumentar e a capacidade de retenção de água diminuir (0,63-0,92 g kg⁻¹ a 0,42-0,72 g kg⁻¹), sendo que aos 180 dias o maior valor foi encontrado no 4-2EST (0,72 g kg⁻¹). A incubação com o esterco de galinha foi uma forma promissora de otimizar o uso de finos de carvão como corretivo de acidez dos solos e fornecimento de nutrientes para as plantas.

Palavras-chave: biochar, composto orgânico, nutrientes, alcalinidade.

ABSTRACT

Charcoal fines and chicken manure are organic waste with different characteristics that, when combined in a compost, can generate a more suitable material for soil conditioning. This work aimed to evaluate the chemical and physical characteristics of pure chicken manure and chicken manure incubated with charcoal fines over time. Four particle sizes of eucalyptus charcoal fines (4-2, 2-1, 1 to 0.29 and <0.29 mm) were mixed at a 1:1 ratio (v/v) with chicken manure and incubated for 180 days in plastic pots in a greenhouse, besides the evaluation of pure manure. The mixtures were turned weekly, the humidity was maintained at 50% (mass basis), and every 45 days pots were taken for analysis. The results showed that there was no adjustment for the contents of N, P, K, Ca and Mg over time, however, the N content (1.2-1.7%) were smaller and P (18,4 -50 g kg⁻¹), K (8.6 to 16.3 g kg⁻¹), Ca (107.8 to 220 g kg⁻¹) Mg (4.7 to 12.1 g kg⁻¹) and ash (from 40.4 to 67.8%) were higher after 180 days of incubation. The manure had the highest nutrient content, water-soluble nitrogen (NSA) (2.5 to 3.4 g kg⁻¹), bulk density (0.57 to 0.73 kg dm⁻³) and pH (8, 3 to 9.1). The formation of more stable substances during incubation detracted from NSA levels (1.5 to 3.4 g kg⁻¹ in 0 days and 0.3 to 2.1 g kg⁻¹ at 180 days of incubation) with higher rate of reduction in content in 4-2EST (manure + charcoal 4-2 mm) (79%), where there was probably greater protection within the charcoal particle. The bulk density increased with the decomposition of the material and the water retention capacity decrease (0.63 to 0.92 g kg⁻¹ to 0.42-0.72 g kg⁻¹), and at 180 days the biggest value was found in 4-2EST (0.72 g kg⁻¹). The incubation with chicken manure was a promising way to optimize the use of charcoal fines and soil acidity correction and supply of nutrients for the plants.

Keywords: biochar, organic compost, nutrients, alkalinity.

1. INTRODUÇÃO

O biocarvão é um produto da decomposição térmica de materiais orgânicos sob baixa disponibilidade de oxigênio. No entanto, distingue-se do carvão vegetal ou materiais similares pelo fato de ser produzido com a intenção de aplicação como condicionador de solos (LEHMANN; JOSEPH, 2009).

Algumas matérias-primas para a produção do biocarvão apresentam, naturalmente, boas quantidades de nutrientes, como é o caso dos resíduos de processamento do café, ricos em K ($38,9 \text{ g kg}^{-1}$) (ZOCA et al., 2014) e os esterco de galinha, ricos em N ($68,9 \text{ g kg}^{-1}$), P ($36,26 \text{ g kg}^{-1}$) e Ca (67 g kg^{-1}) (FIGUEROA et al., 2012). Outras biomassas originam biocarvões com maior capacidade de troca catiônica (CTC), como os resíduos culturais de milho, soja, amendoim (YUAN et al., 2011) e o bagaço de cana-de-açúcar (CARRIER et al., 2012). Resíduos lignocelulósicos como serragem, maravalha e casca de eucalipto, por sua vez, resultam na produção de biocarvões com maior teor de C para sequestro no solo (ENDERS et al., 2012) e com boa capacidade de retenção de água disponível (BASSO et al., 2013; PEREIRA et al., 2012).

Com o decorrer da carbonização, desprende-se seletivamente H, O, N e S das matérias-primas em detrimento do C. Com isso, a estrutura da molécula orgânica é reorganizada através de ligações entre carbonos, permanecendo ainda assim alguns grupamentos funcionais (LEHMAN; JOSEPH, 2009). Os principais grupos funcionais que compõem a CTC da matéria orgânica são os carboxílicos e fenólicos. A elevação de temperatura na carbonização destrói esses grupos funcionais e diminui os pontos de troca catiônica.

Os finos de carvão são resíduos do processamento de carvão vegetal. Por não possuírem granulometria comercial, acumulam-se em grandes quantidades nos locais de produção, tornando-se um passivo ambiental. São materiais orgânicos que, apesar de não terem sido produzidos para aplicação no solo, apresentam potencial de aproveitamento como condicionador de solos. Para isso, a compostagem dos carvões com resíduos orgânicos frescos, como os esterco, pode ser um método promissor, uma vez que enriquece o composto com nutrientes, principalmente o nitrogênio.

Baseado no exposto, este trabalho objetivou avaliar as características químicas e físicas do esterco de galinha puro e do esterco de galinha incubado com esterco de galinha ao longo do tempo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. MATÉRIAS-PRIMAS PARA INCUBAÇÃO

O fino de carvão de eucalipto foi coletado em carvoaria cujos fornos de alvenaria são rudimentares (tipo “rabo-quente”), no município de Conceição do Castelo, ES. O material foi passado em peneiras de diferentes granulometrias, obtendo-se quatro classes granulométricas: 4-2, 2-1, 1-0,29 e <0,29 mm. O esterco fresco de galinha poedeiras foi coletado em granja do município de Venda Nova do Imigrante, ES. Após secagem ao ar dentro de galpão, o esterco atingiu umidade de 24% e foi passado em peneira de 6 mm.

2.2. MONTAGEM E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Os finos de carvão e o esterco de galinha foram misturados na proporção de 1:1 (v/v) em uma bacia plástica, adicionando-se água a fim de atingir 50% de umidade (base em massa). Após, foram transferidos para baldes plásticos de 13 L com 10,2 L das misturas, que foram dispostos em bancadas de casa de vegetação do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES) em Alegre, ES. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com três repetições, em um esquema fatorial. Os cinco tratamentos consistiram em esterco de galinha puro e fino de carvão de quatro classes granulométricas (4-2, 2-1, 1-0,29 e <0,29 mm) incubados com o esterco de galinha (EP, 4-2EST, 2-1EST, 1-0,29EST e <0,29EST, respectivamente). Foram retirados baldes para amostragem aos 0, 45, 90, 135 e 180 dias de incubação, num total de 60 baldes plásticos. Os materiais foram revolvidos uma vez por semana e a umidade foi mantida em 50%. Decorrido os tempos, os materiais contidos nos baldes foram secos ao ar para realização de análises.

2.3. ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICAS

As amostras foram passadas em peneira de 4 mm de abertura para desagregação e secas em estufa a 65°C até massa constante para proceder às análises de nitrogênio solúvel em água (NSA), cinzas, densidade aparente (DA) e pH em água. Para a análise de C e N, as amostras foram trituradas em almofariz de ágata e passadas em peneira de 0,2 mm de abertura.

Para a determinação do NSA foi adicionado 20 mL de água deionizada em 1 g de material orgânico contido em erlenmeyer de 125 mL, o conteúdo foi agitado por uma hora a 200 rpm em agitador horizontal, filtrado e guardado em frasco plástico de 50 mL. O N foi determinado pelo método Kjeldahl, usando 5 mL de extrato (TEDESCO et al., 1995).

Foram feitas as determinações dos teores de C e N em analisador elementar, e dos teores de P, K, Ca e Mg pela incineração das amostras (1 g) em forno tipo mufla (550 °C; 4 h), com a solubilização das cinzas em HCl 0,5 mol L⁻¹ e dosagem por espectrofotometria de absorção atômica (Ca e Mg), fotometria de chama (K) e fotocolorimetria (P). Para a determinação do pH em água das amostras, misturou-se 1 g de amostra em 20 mL de água, e após 2 h de contato foi feita a leitura em potenciômetro (SIEBENEICHLER, 2011).

A determinação da densidade aparente (DA) dos finos de carvão e do esterco foi realizada com a mesma metodologia para solos (EMBRAPA, 1997). Para avaliação da capacidade de retenção de água (CRA), as amostras foram dispostas em anéis de borracha, saturadas e submetidas à tensão de 33 kPa em extrator de placa porosa (MÉNDEZ et al., 2013)

2.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Foram realizadas análises de regressão para os fatores quantitativos. Os modelos foram escolhidos com base na soma dos quadrados dos modelos completos, pelo coeficiente de determinação (R^2) e significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste t de Student. As análises estatísticas foram processadas no software Assistat 7,7 Beta (SILVA, 2016).

3. RESULTADOS

Os finos de carvão de diferentes classes granulométricas e o esterco utilizados como matérias-primas para a incubação variaram quanto a sua composição química e física (Tabela 1). O esterco de galinha (EP) foi a matéria-prima que apresentou os maiores teores de N, P, K e Ca, além do maior teor de cinzas, DA, CRA e o menor valor de pH. Dentre as classes granulométricas de finos de carvão, <0,29 mm apresentou os maiores teores de nutrientes, cinzas, pH e DA e o menor teor de C. Todas as classes granulométricas de fino de carvão apresentaram baixo teor de C, variando de 16,1 a 25,7%.

Tabela 1. Caracterização química e física das quatro classes granulométricas de fino de carvão de eucalipto e do esterco de galinha utilizadas para a incubação

Amostra	C --- % ---	N	P	K	Ca	Mg	¹ NSA	Cinzas	pH	² DA kg dm ⁻³	³ CRA kg kg ⁻¹
					g	kg ⁻¹					
4-2mm	23,6	1,4	0,8	5,2	41,2	5,6	-	27,2	8,4	0,28	0,70
2-1mm	25,7	1,5	0,5	4,1	30,4	3,9	-	21,2	8,4	0,34	0,51
1-0,29mm	16,3	1,7	0,7	5,5	34,6	4,7	-	36,0	8,6	0,45	0,39
<0,29mm	16,1	1,7	2,2	6,7	54,9	10,1	-	53,9	8,9	0,55	0,38
Esterco	16,4	1,7	47,1	14,3	220	7,3	3,4	57,0	8,3	0,57	0,92

¹NSA: nitrogênio solúvel em água. ²DA: densidade aparente. ³CRA: capacidade de retenção de água a -33 kpa.

O NSA variou de 3,4 g kg⁻¹ a 0,4 g kg⁻¹, respectivamente, para o EP no tempo zero e para o 4-2EST e 1-0,29 EST aos 180 dias de incubação (Figura 1). As taxas de redução do teor de NSA ao final do experimento foram de 79, 73, 73, 67 e 24% para 4-2EST, 2-1EST, 1-0,29EST, <0,29EST e EP, respectivamente. Verificou-se que quanto maior a partícula do carvão na mistura, maior foi a taxa de redução de NSA. Aos 180 dias de incubação, as misturas apresentaram teores similares de NSA, entre 0,4 g kg⁻¹(4-2EST e 1-0,29EST) e 0,5 g kg⁻¹(2-1EST e <0,29EST), e o esterco de galinha apresentou 2,1 g kg⁻¹.

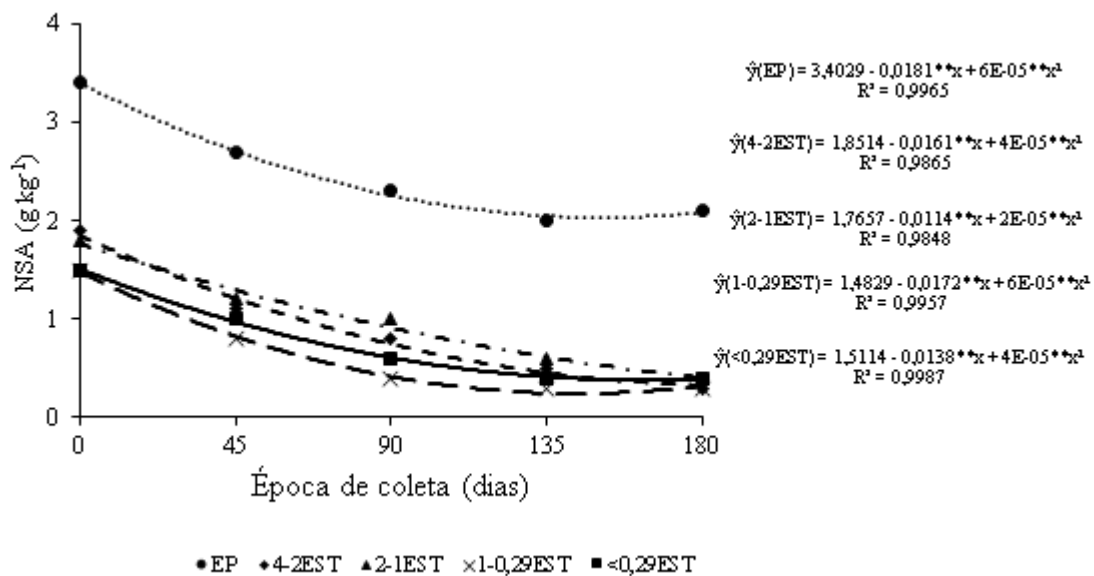


Figura 1. Teores de nitrogênio solúvel em água (NSA) em esterco de galinha puro (EP) e misturas incubadas de esterco com quatro classes granulométricas de fino de carvão de eucalipto: 4-2, 2-1, 1-0,29 e <0,29 mm; 4-2EST, 2-1EST, 1-0,29EST e <0,29EST, respectivamente, em diferentes épocas de coleta.

Os teores de N do EP e das misturas variaram de 1,2 a 1,7% (Tabela 2), considerados baixos para um esterco de galinha puro cuja ração das aves é composta de até 23% de proteína bruta (~3,7% de N) (LIMA NETO et al., 2008). Não houve ajuste de modelos matemáticos dos teores de P, K, Ca e Mg ao longo do tempo de incubação (Tabela 2). O EP foi o material orgânico que apresentou os maiores teores de P, K e Ca na média entre as épocas de amostragem (48,0, 14,3 e 211,5 g kg⁻¹) e o teor de Mg (8,1 g kg⁻¹) só foi superado pela mistura <0,29EST (9,5 g kg⁻¹). Dentre as misturas, 4-2EST foi o que apresentou maiores valores de P e K (31,8 e 11,1 g kg⁻¹) na média entre as épocas. A mistura <0,29EST superou as demais quanto ao Ca e Mg (158,5 e 9,5 g kg⁻¹).

Tabela 2. Caracterização química e física das misturas de quatro classes granulométricas de fino de carvão de eucalipto incubados com esterco de galinha e do esterco puro em diferentes épocas de coleta

Amostra ¹	N	P	K	Ca	Mg	Cinzas
	%	----- g kg ⁻¹ -----				%
0 dias						
4-2EST	1,6	26,7	10,3	141,1	6,5	43,9
2-1EST	1,6	25,4	9,6	131,9	5,7	40,4
1-0,29EST	1,7	21,7	9,5	118,5	5,9	45,5
<0,29EST	1,7	22,1	10,1	128,4	9	55,8
EP	1,7	47,1	14,3	220,0	7,3	57,0
45 dias						
4-2EST	1,2	34,6	12,4	170,4	6,5	43,3
2-1EST	1,3	30,6	11,5	143,9	5,8	49,5
1-0,29EST	1,5	18,4	9,6	107,8	4,7	57,8
<0,29EST	1,3	26	10,4	182,5	10,7	58,5
EP	1,3	50	15,3	206,7	7,9	60,3
90 dias						
4-2EST	1,4	32,6	10	145,3	6,2	45,5
2-1EST	1,7	31,6	10,3	136,6	5,5	49,1
1-0,29EST	1,6	25,4	8,9	129,5	5,1	53,2
<0,29EST	1,6	23,2	8,6	143,8	7,2	60,5
EP	1,5	48,3	12,1	217,3	6,4	70,3
135 dias						
4-2EST	1,5	33,6	9,3	141,4	5,7	40,8
2-1EST	1,7	32	11,5	138,9	5,7	45,9
1-0,29EST	1,7	31,6	11	122,2	5,6	52,6
<0,29EST	1,5	28,4	12,3	169,5	8,6	60
EP	1,5	47,3	16,3	207	9,7	68,9
180 dias						
4-2EST	1,5	31,6	13,7	165,2	5,9	49,7
2-1EST	1,7	31,2	12,5	192,2	6	59,5
1-0,29EST	1,5	28,4	11,1	135,5	5,8	58,6
<0,29EST	1,5	34,6	13,1	168,3	12,1	60,4
EP	1,4	47,1	13,5	206,4	9	67,8

¹4-2EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 4-2 mm; 2-1EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 2-1 mm; 01-0,29EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 1-0,29 mm; <0,29EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica <0,29 mm; e EP: esterco de galinha puro.

Nas matérias-primas, os teores de cinzas variaram de 21,2%, para o fino de carvão da classe 2-1 mm a 57% no esterco (Tabela 1) e, no final do experimento, foram de 49,7% para a mistura 4-2EST a 67,8% para o EP (Tabela 3). Houve aumento na concentração de cinzas (Tabela 3) e DA (Figura 2a) no decorrer do tempo e à medida que diminuiu a granulometria do fino de carvão. A mistura 4-2EST apresentou ao final dos 180 dias $0,44 \text{ g cm}^{-3}$ de DA, já no <0,29EST esse valor foi de $0,68 \text{ g cm}^{-3}$ e no EP $0,71 \text{ g cm}^{-3}$.

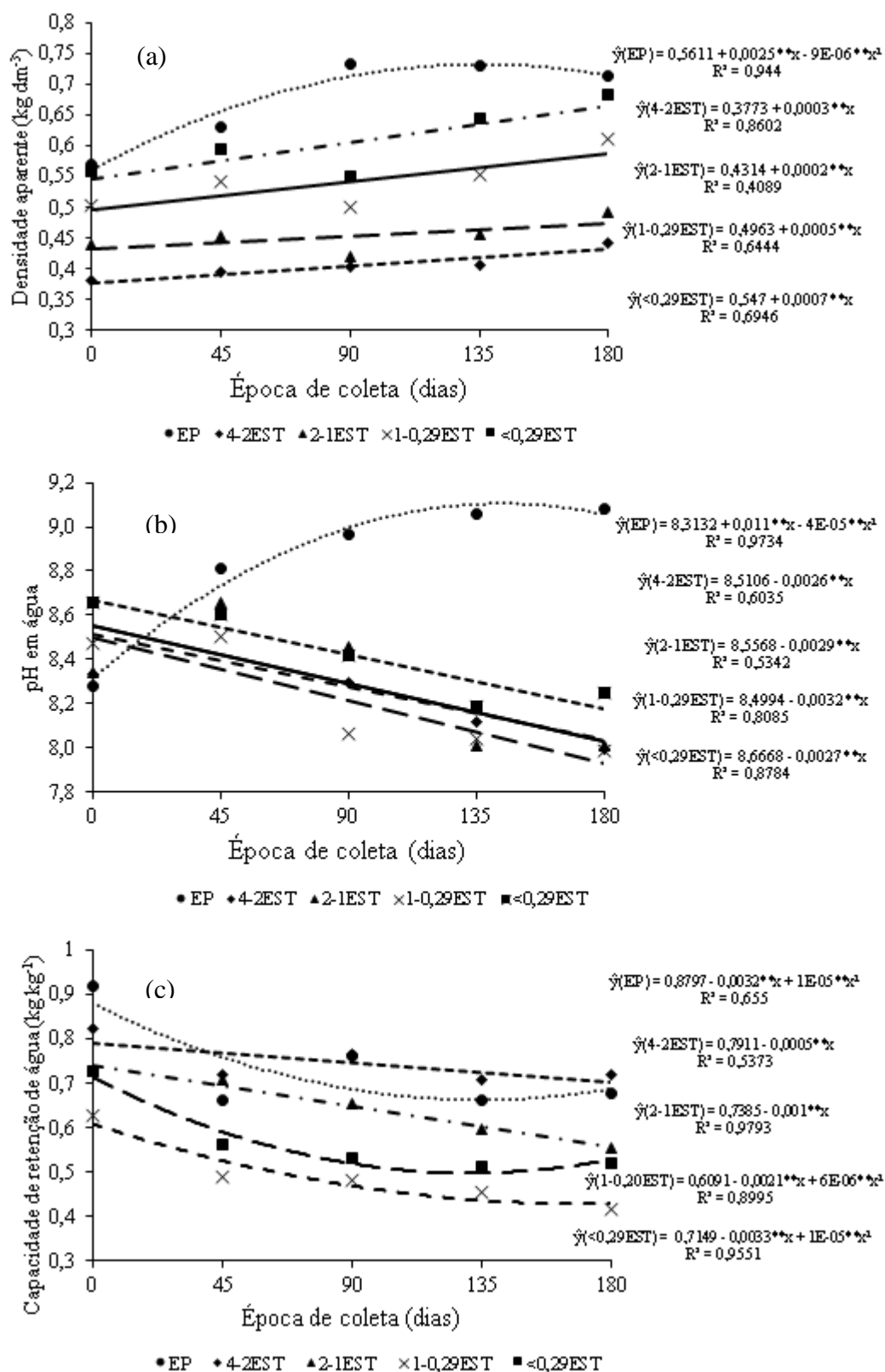


Figura 2. Valores médios de densidade aparente (a), pH em água (b) e capacidade de retenção de água a -33 kPa (c) de esterco de galinha puro (EP) e de misturas de esterco com quatro classes granulométricas de fino de carvão de eucalipto: 4-2, 2-1, 1-0,29 e $<0,29$ mm; 4-2EST, 2-1EST, 1-0,29EST e $<0,29$ EST, respectivamente, em diferentes épocas de coleta.

Dentre as matérias-primas antes da incubação (Tabela 1), o EP foi o material orgânico com o menor valor de pH, que, nos finos de carvão, foi maior quanto menor a granulometria do material. Com o decorrer do tempo de incubação, os valores de pH diminuíram nas misturas (Figura 2b), mas permaneceram na faixa alcalina. Em contraste, o pH aumentou com a evolução da incubação no EP. A capacidade de retenção de água (CRA) dos materiais orgânicos diminuiu ao longo do tempo de incubação (Figura 2c). No tempo zero, o EP foi o material que apresentou maior CRA, sendo superado, ao final, somente por 4-2EST.

4. DISCUSSÃO

A variação da composição química e física das matérias-primas usadas no experimento (Tabela 1) explica parte da variação entre os tratamentos após os diferentes períodos de amostragem dos materiais. Finos de carvão são tipicamente ricos em cinzas, pois recebem partículas de solo e outros contaminantes durante o processo de carbonização em fornos rudimentares. Barroso (2007) encontrou teores de cinzas de 2 a 24,3% em fino de carvão retido nas peneiras de 12,7 mm de abertura a <0,25 mm. No trabalho de Lucena et al. (2008), os teores de cinzas foram ainda maiores, 25,4% em média na fração de fino que passou na peneira de malha 6,35 mm, no entanto, menores do que os teores de cinzas dos finos do presente trabalho. Outros trabalhos encontraram teores de cinzas de 32,7%(XU; CHEN, 2013) e 27% (DAS et al., 2009) para o esterco de galinha, valor menor do que os das Tabelas 1 e 2.

Além da contribuição da argila, durante a carbonização, parte da madeira é convertida em cinzas (fração mais concentrada em nutrientes), que por ser material particulado fino, irá participar em maior proporção da classe granulométrica de menor tamanho (<0,29 mm), a qual apresentará maior teor de nutrientes.

Com a decomposição da matéria orgânica das misturas e do EP, aumentou-se o teor de cinzas (Tabela 2) e a DA (Figura 2a), e diminuiu-se CRA (Figura 2c), uma vez que a fração orgânica possui densidade menor e maior CRA que a fração mineral. A DA aumentou também com a diminuição da granulometria do agente estruturante, pois o arranjo das partículas menores tornam a mistura mais compactada. Reddy et al. (2013) verificaram que a CRA aumentou com o tempo de compostagem de resíduos verdes devido ao aumento de partículas pequenas e mais

reativas no composto. Por outro lado, no decorrer da compostagem de resíduos ricos em cinzas como os biossólidos, os mesmos autores observaram diminuição de CRA consequente da decomposição da matéria orgânica e concentração de matéria mineral. A maior CRA em 4-2EST pode ser devido à maior capacidade das partículas de carvão dessa granulometria em reter água na porosidade interna.

A concentração de nutrientes no presente trabalho é bem diferente de quando o caule de eucalipto é carbonizado em condições de laboratório, onde há maior controle do processo, portanto, menor queima em detrimento da carbonização. Fungo et al. (2014) encontraram em biochar de eucalipto carbonizado na temperatura de 550°C, 0,21, 3,44, 6,03 e 1,88 g kg⁻¹ de P, K, Ca e Mg, respectivamente, valores bem inferiores aos apresentados nesse trabalho. Já Siebeneichler (2011), ao carbonizar madeira de eucalipto em diferentes temperaturas e taxas de aquecimento, encontrou valores máximos de P, K, Ca e Mg de 0,17, 7,5, 0,8, 0,3 g kg⁻¹.

No experimento de compostagem de Wei et al. (2014), o teor de P (31,5 g kg⁻¹) no esterco de galinha foi inferior ao encontrado no presente trabalho e o de K (32,3 g kg⁻¹), superior. O mesmo ocorreu com os teores de P e K (20,2 g kg⁻¹ e 26,9 g kg⁻¹) no trabalho de Khan et al. (2014). O Ca (67,5 g kg⁻¹) do esterco de galinha no trabalho de Amadji et al. (2013) foi bem inferior aos apresentados para o esterco na Tabela 1 (206,4 a 220 g kg⁻¹), já o Mg (13,7 g kg⁻¹) foi superior (6,4 a 9,7 g kg⁻¹).

Estercos de aves são considerados materiais orgânicos ricos em N, podendo chegar a 6,9% na matéria seca (FIGUEROA et al., 2012). Justificam-se os baixos teores de N do presente trabalho pelo pH alto dos materiais, que promove a remoção do H⁺ do íon amônio (NH₄⁺) acarretando volatilização da amônia (NH₃), intensificadas pela temperatura de 65°C empregada na secagem das amostras para a análise de N e o grande intervalo entre a coleta e a análise dos materiais. Temperaturas acima de 45°C potencializam volatilizações de NH₃, devido ao aumento na taxa de várias reações e na atividade da urease (TISDALE et al., 1985).

A diminuição do pH ocorrida nas misturas no decorrer do tempo pode ter sido causada pela volatilização de amônia, a liberação de H⁺ na nitrificação, a decomposição da matéria orgânica e produção de ácidos orgânicos e inorgânicos, e o desprendimento de CO₂ durante a compostagem (EKLIND; KIRCHMANN, 2000). Inversamente, no aumento de pH do esterco puro (EP), parece ter prevalecido o efeito corretivo de acidez causado pelo carbonato de cálcio adicionado à ração

(COUTO et al., 2008; FARIA et al., 2000) e que vai para o esterco e aquele proveniente das cascas de ovos quebrados que caem nas fezes ao longo da criação das aves. Os teores de Ca no EP (206, 4 a 220 g kg⁻¹) dão uma noção dos teores de carbonato de cálcio presentes nesse material orgânico.

Como o pH dos finos de carvão e do esterco é alcalino, e esterco de galinha apresenta, quando fresco, alto teor de N, maior aproveitamento do N do esterco pode vir do emprego de aditivos químicos, que tem a finalidade de diminuir o pH e melhorar a retenção de NH₃ no composto. O esterco deve ser tratado para diminuir a volatilização de amônia tão logo seja produzido nas granjas, pois o NH₃ perde-se rapidamente.

A acidificação da cama de frango e, conseqüente estabilização do amônio por Medeiros et al. (2008), promoveu redução da volatilização de amônia em cama de frango com todas as doses de superfosfato simples empregadas (0, 5, 10, 15, 20 e 25%), atingindo redução máxima de volatilização de 97,1% com a maior dose. Verificou-se, ainda, variação do pH da cama de 8,4 na testemunha a 5,8 na dose de 25%. Em experimento com uso de aditivos com diferentes níveis de acidez residual em mistura de esterco de Prochnow et al. (2001), o superfosfato simples com maior acidez residual promoveu maior controle da volatilização e o superfosfato triplo controlou a volatilização pelo efeito da decomposição do fosfato monocálcico (Ca(H₂PO₄)₂), através das reações: $\text{H}_2\text{PO}_4^- = \text{HPO}_4^{2-} + \text{H}^+$ e $2 \text{NH}_4^+ + \text{HPO}_4^{2-} = (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$.

Os valores de C aqui apresentados para os finos de carvão estão bem abaixo dos teores de C de carvão de eucalipto encontrados por Soares et al. (2014), que variaram de 79,81 a 81,60 % e; de 53,4 a 79,7% no trabalho de McBeath e Smernik, (2009). Até mesmo a madeira de eucalipto antes da carbonização possui maior teor de C do que os finos de carvão do presente trabalho. Neste caso, Dallagnol et al. (2011) encontraram 42,61% de C e Soares et al. (2014), verificaram 43,97 a 45,60% de C na madeira de eucalipto.

A matéria orgânica dissolvida absorvida pelas partículas de fino de carvão (principalmente as maiores partículas) torna menos disponível as moléculas orgânicas que contribuem para o NSA, por estarem mais protegidas no interior dessas partículas. Jindo et al. (2012) apontaram que os principais efeitos da adição de 2% (v/v) de biochar na compostagem de resíduos orgânicos com cama de frango, foram o aumento de 10% na captura de C pela extração de substâncias húmicas e

30% de diminuição do carbono solúvel em água (CSA), devido ao aumento na taxa de degradação e/ou absorção desses compostos lábeis pelo biochar.

A queda de NSA com o tempo ocorre pela decomposição de moléculas orgânicas mais lábeis. Um composto maduro é caracterizado pela presença de substâncias mais estáveis de alta massa molecular e baixa solubilidade em água (ZBYTNIIEWSKI; BUSZEWSKI, 2005). Grigatti et al. (2004) verificaram diminuição dos teores de NSA de dois compostos orgânicos à base de lodo de esgoto, em um composto foi de 280 para 180 mg L⁻¹ e no outro de 200 para 98 mg L⁻¹, obtendo-se boa correlação com o tempo de maturação. Desse modo, o teor de NSA pode ser utilizado como um parâmetro de maturação de compostos orgânicos.

5. CONCLUSÕES

- Os finos de carvão promoveram diminuição nos teores de nutrientes nas misturas em relação ao esterco de galinha puro;
- No esterco de galinha puro verificou-se os maiores teores de NSA, indicando maior labilidade do N nesse material;
- Os finos de carvão promoveram diminuição no pH (que permaneceu na faixa alcalina em todos os tratamentos) e CRA, e aumento na DA das misturas;
- A incubação até 45 dias mostrou-se a mais viável por ser suficiente para estabilização dos materiais e preservação de menores DA e maiores CRA, características físicas importantes para um condicionador de solos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADJI, G. L. et al. Municipal household waste used as complement material for composting chicken manure and crop residues. **Italian Journal of Agronomy**, v. 8, n. 2, p. 102–107, 2013.

BASSO, A. S. et al. Assessing potential of biochar for increasing water-holding capacity of sandy soils. **GCB Bioenergy**, v. 5, n. 2, p. 132–143, 2013.

CARRIER, M. et al. Production of char from vacuum pyrolysis of South-African sugar cane bagasse and its characterization as activated carbon and biochar. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 96, p. 24–32, 2012.

COUTO, H. P.; NERY, V. L. H.; FONSECA, J. B.; et al. Fontes alternativas de cálcio e fósforo para poedeiras comerciais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 8, p.

1419–1423, 2008.

DALLAGNOL, F. S. et al. Teores de carbono de cinco espécies florestais e seus compartimentos. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 410–416, 2011.

DAS, D. D. et al. Chemical composition of acid-base fractions separated from biooil derived by fast pyrolysis of chicken manure. **Bioresource technology**, v. 100, n. 24, p. 6524–32, dez. 2009.

EKLIND, Y.; KIRCHMANN, H. Composting and storage of organic household waste with different litter amendments . I: carbon turnover. **Bioresource Technology**, v. 74, p. 125–133, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

ENDERS, A. et al. Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. **Bioresource technology**, v. 114, p. 644–53, jun. 2012.

FARIA, D. E. DE; JUNQUEIRA, O. M.; SAKOMURA, N. K.; SANTANA, Á. E. Sistemas de alimentação e suplementação de farinha de casca de ostras sobre o desempenho e a qualidade da casca dos ovos de poedeiras comerciais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 5, p. 1394–1401, 2000.

FIGUEROA, E. A.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; WIETHÖLTER, S. Dose de esterco de ave poedeira e suprimento de nitrogênio à cultura do trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 7, p. 714–720, jul. 2012.

FUNGO, B. et al. N₂O and CH₄ emission from soil amended with steam-activated biochar. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 177, n. 1, p. 34–38, 2014.

GRIGATTI, M.; CIAVATTA, C.; GESSA, C. Evolution of organic matter from sewage sludge and garden trimming during composting. **Bioresource Technology**, v. 91, n. 2, p. 163–169, 2004.

JINDO, K. et al. Chemical and biochemical characterisation of biochar-blended composts prepared from poultry manure. **Bioresource Technology**, v. 110, p. 396–404, 2012.

KHAN, N. et al. Maturity indices in co-composting of chicken manure and sawdust with biochar. **Bioresource Technology**, v. 168, p. 245–251, 2014.

LEHMAN, J.; JOSEPH, S. Biochar for environmental management: An introduction. In: Lehman, J.; Joseph, S. (ed). **Biochar for environmental management: Science and Technology**. 1.ed. Londres: Earthscan, p.4-18, 2009.

LIMA NETO, R. DA C. et al. Níveis de proteína bruta e de energia metabolizável para frangas de postura semipesadas de 1 a 18 semanas de idade. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 1, p. 258–266, fev. 2008.

LUCENA, D. A. et al. AGLOMERAÇÃO DE MOINHA DE CARVÃO VEGETAL E SUA POSSÍVEL APLICAÇÃO EM ALTO-FORNO E GERAÇÃO DE ENERGIA. **Tecnologia em Metalurgia e Materiais**, v. 4, n. 4, p. 1–6, 15 mar. 2008.

McBEATH, A.V.; SMERNIK, R.J. Variation in the degree of aromatic condensation of chars. **Organic Geochemistry**, v. 40, p. 1161-1168, 2009.

MEDEIROS, R. et al. A adição de diferentes produtos químicos e o efeito da umidade na volatilização de amônia em cama de frango. **Ciência Rural**, v. 38, n. 8, p. 2321–2326, 2008.

MÉNDEZ, A.; TERRADILLOS, M.; GASCÓ, G. Physicochemical and agronomic properties of biochar from sewage sludge pyrolysed at different temperatures. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 102, p. 124–130, jul. 2013.

PEREIRA, R. G. et al. Transpiration response of upland rice to water deficit changed by different levels of eucalyptus biochar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 5, p. 716–721, maio 2012.

RAMBABU, N. et al. Evaluation and comparison of enrichment efficiency of physical/chemical activations and functionalized activated carbons derived from fluid petroleum coke for environmental applications. **Fuel Processing Technology**, v. 106, p. 501–510, fev. 2013.

REDDY, N. et al. Characterizing Water Holding Capacity and Runoff during Composting of Greenwaste and Biosolids. **Compost Science & Utilization**, v. 21, p. 164–176, 2013.

SILVA, F.A.S. **Sistema de Assistência Estatística** - ASSISTAT versão 7.7 beta. Departamento de Engenharia Agrícola (DEAG) do CTRN da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande - PB, 2016. Disponível em : <http://www.assistat.com/> . Acesso em: 09 mar. 2016.

SOARES, V. C. et al. Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 38, n. 3, p. 543–549, jun. 2014.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147p. (Boletim Técnico, 5)

UCHIMIYA, M.; BANNON, D. I.; WARTELLE, L. H. Retention of heavy metals by carboxyl functional groups of biochars in small arms range soil. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 60, n. 7, p. 1798–809, 22 fev. 2012.

WEI, L. et al. Biochar influences the microbial community structure during tomato stalk composting with chicken manure. **Bioresource Technology**, v. 154, p. 148–154, 2014.

WIEDNER, K. et al. Acceleration of Biochar Surface Oxidation during Composting?

Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 63, n. 15, p. 3830–3837, 2015.

XU, Y.; CHEN, B. Investigation of thermodynamic parameters in the pyrolysis conversion of biomass and manure to biochars using thermogravimetric analysis. **Bioresource Technology**, v. 146, p. 485–493, 2013.

XUE, Y. et al. Hydrogen peroxide modification enhances the ability of biochar (hydrochar) produced from hydrothermal carbonization of peanut hull to remove aqueous heavy metals: Batch and column tests. **Chemical Engineering Journal**, v. 200-202, p. 673–680, ago. 2012.

YUAN, J.-H.; XU, R.-K.; ZHANG, H. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. **Bioresource technology**, v. 102, n. 3, p. 3488–97, fev. 2011.

ZBYTNIEWSKI, R.; BUSZEWSKI, B. Characterization of natural organic matter (NOM) derived from sewage sludge compost. Part 1: chemical and spectroscopic properties. **Bioresource technology**, v. 96, n. 4, p. 471–8, mar. 2005.

ZHANG, T. et al. Preparation of activated carbon from forest and agricultural residues through CO activation. **Chemical Engineering Journal**, v. 105, n. 1-2, p. 53–59, 15 dez. 2004.

ZOCA, S. M. et al. Coffee processing residues as a soil potassium amendment. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 3, n. 4, p. 155–165, 2014.

CAPÍTULO II – PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO, PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E NUTRIÇÃO DE MILHO PARA SILAGEM EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE MATERIAIS ORGÂNICOS À BASE DE ESTERCO DE GALINHA E FINOS DE CARVÃO

RESUMO

A combinação de biocarvão com compostagem tem demonstrado ser uma forma promissora de melhorar as características do solo para aumento de produção das culturas. Este trabalho objetivou avaliar a aplicação de misturas incubadas à base de esterco de galinha e finos de carvão nas características químicas do solo e produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) de milho em casa de vegetação e campo. Quatro granulometrias de fino de carvão de eucalipto (4-2, 2-1, 1-0,29 e <0,29mm) foram incubadas com esterco de galinha. A aplicação dos quatro misturas e do esterco puro visou atender à dose de 200 kg ha⁻¹ de N para a cultura do milho. Em casa de vegetação, os materiais orgânicos foram homogeneizados com o solo dos vasos e o milho foi cultivado por 30 dias. Em campo, foram aplicados os materiais orgânicos nos sulcos para o cultivo do milho até o ponto de ensilagem. Os resultados apontaram melhoria das propriedades do solo com a aplicação dos materiais. A maior labilidade da matéria orgânica do esterco puro, e consequente disponibilidade do nutriente mais exigido pela cultura do milho (N), determinou a maior produção de MSPA de milho nesse tratamento em condições de casa de vegetação e campo, além do maior teor de P disponível no solo dos vasos. Por outro lado, as misturas provocaram maiores níveis de matéria orgânica e menor densidade do solo. Quanto maior a granulometria do carvão nas misturas, maior foi a produção de MSPA de milho em casa de vegetação, devido a maior disponibilidade de N. O inverso ocorreu em campo, decorrente da menor disponibilidade de água no solo com o aumento de granulometria do carvão na mistura. A incorporação de fino de carvão é capaz de produzir um condicionador com potencial de melhorar as propriedades do solo e a produção vegetal, devendo passar por ajustes a fim de aumentar a disponibilidade de N da mistura.

Palavras-chave: biochar, fertilidade do solo, matéria orgânica, água.

ABSTRACT

The biochar composting has been shown to be a promising way to improve the soil characteristics to increase crop production. This study aimed to evaluate the application of chicken manure incubated with charcoal fines in the chemical characteristics of the soil and dry matter production of shoot (MSPA) maize in the greenhouse and field. Four particle sizes of eucalyptus fine charcoal (4-2, 2-1, 1-0,29 and <0,29mm) were incubated with chicken manure. The application of the four mixtures and pure manure aimed to meet the dose of 200 kg ha⁻¹ of N for corn. In the greenhouse, organic materials were mixed with the soil from pots and corn was grown for 30 days. In the field, the organic materials in the furrows for maize cultivation to the point of silage were applied. The results showed improvement of soil properties with the application materials. Most lability of organic matter of pure manure, and consequent availability of the nutrient most required by corn (N), led to the greater production of MSPA corn in this treatment in greenhouse and field conditions. On the other hand, the mixtures caused higher levels of organic matter and lower bulk density. The larger charcoal particle size in the mixtures, lead the greater production of MSPA corn in greenhouse conditions, due to increased availability of N. The opposite occurred in the field, due to the lower availability of soil water with charcoal particle size increase in the mixtures. The fine charcoal incorporation is capable of producing an amendment with potential to improve soil properties and plant production, should undergo adjustments in order to increase the availability of N of the mixture.

Keywords: biochar, soil fertility, organic matter, water.

1. INTRODUÇÃO

Os solos das regiões tropicais são ácidos, apresentam baixa fertilidade natural e capacidade de troca catiônica (CTC). A matéria orgânica do solo (MOS) representa de 20 a 90% da CTC das camadas superficiais desses solos minerais (SILVA; MENDONÇA, 2007), é fonte primária e reserva de nutrientes para as plantas, fonte de carbono para os organismos do solo e promove a estruturação do solo. Em vista disso, o manejo da MOS torna-se essencial para a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, necessários para o adequado desenvolvimento vegetal. No entanto, a MOS precisa permanecer no solo a fim de exercer sua função de condicionador por um período maior. Isso é possível com o aporte constante de material orgânico, cultivo mínimo do solo e aplicação de fontes orgânicas mais estáveis, como o biocarvão.

O uso de biochar ou biocarvão como condicionador de solos tem relação com os estudos das Terras Pretas de Índio (TPI) na Amazônia. TPI's são solos antropogênicos escuros com o horizonte superficial enriquecido com materiais orgânicos (muitos deles carbonizados) provenientes de atividades humanas (KAMPF et al., 2003). A riqueza em carbono desses solos é da ordem de 150 g kg^{-1} , comparado a 20 a 30 g kg^{-1} de solos adjacentes (NOVOTNY et al., 2009). Uma das causas da alta fertilidade das TPI's é atribuída à presença de material carbonizado resistente à degradação (LEHMANN et al., 2003).

Biocarvões podem melhorar a fertilidade dos solos de forma direta, pelo fornecimento de nutrientes, e de forma indireta, evitando que estes nutrientes sejam indisponibilizados no solo por lixiviação (LAIRD et al., 2010; TROY et al., 2014; YAO et al., 2012), volatilização (MANDAL et al., 2016; NELISSEN et al., 2014; SUN et al., 2016) ou adsorção (JUNG et al., 2016; MORALES et al., 2013; YAO et al., 2012).

As propriedades físicas e químicas do biocarvão dependem da matéria-prima orgânica, sistema de carbonização usado e parâmetros de produção selecionados (ENDERS et al., 2012). Fornos de carbonização rudimentares respondem por mais de 60% da produção de carvão vegetal no Brasil, com rendimento de 20-25% da madeira e baixa recuperação de resíduos (VITAL; PINTO, 2009). Portanto, a produção do carvão é conduzida sem controle dos parâmetros de produção. Como não foi produzido para a aplicação como biocarvão, os resíduos da

produção de carvão (finos de carvão) devem passar por adequações para aplicação mais eficiente desse material carbonizado como condicionador de solos.

A aplicação de compostos orgânicos para condicionamento do solo já é uma prática bastante utilizada. No entanto, a matéria orgânica dos compostos decompõe-se rapidamente. Dessa forma, o uso de materiais orgânicos carbonizados como ingrediente na compostagem pode ser uma via promissora para utilização de finos de carvão como condicionador de solos. Estudos anteriores constataram que a adição de composto orgânico com biocarvão ao solo melhoraram os níveis de nutrientes no solo (BASS et al., 2016; LIU et al., 2012) e produção das culturas (AGEGNEHU et al., 2016; LUO et al., 2016; SCHULZ et al., 2013). Em outros estudos, porém, compostos com biocarvão não interferiram significativamente no rendimento das culturas (BASS et al., 2016; SCHMIDT et al., 2014).

São necessários muito mais estudos que avaliem a influência de compostos orgânicos contendo biocarvão na fertilidade do solo e produção das culturas. No Brasil, esses estudos são ainda escassos, tanto na avaliação da aplicação de biocarvão somente, como o biocarvão compostado. Baseado no exposto, o presente trabalho propõe avaliar a aplicação de esterco de galinha puro e misturas incubadas à base de fino de carvão e esterco de galinha nas propriedades químicas do solo e produção de matéria seca de milho em condições de casa de vegetação e campo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. EXPERIMENTO DE CASA DE VEGETAÇÃO

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES), localizada em Rive, Alegre, ES. O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho Amarelo, coletado na profundidade de 0-20 cm em área de produção de culturas anuais do Ifes Campus de Alegre, Rive, Alegre, ES, o qual foi seco, destorroado e passado em peneira de 2 mm de abertura da malha para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Retirou-se uma amostra de TFSA para caracterização química e física, cujos resultados foram: 9 e 0,9 g kg⁻¹ de C e N total, 5,6 e 106 mg dm⁻³ de P e K, 3,89 e 0,69 cmol_c dm⁻³ de Ca e Mg, pH em água de 5,7, 1,25 kg dm⁻³ de densidade aparente (Ds) e 377, 199, 49 e 375 g kg⁻¹ de areia grossa, areia fina, silte e argila.

As sementes de milho utilizadas foram do híbrido LG 6038 própria para grãos e silagem. Os materiais orgânicos aplicados foram passados em peneira de 4 mm de abertura da malha e a caracterização destes encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas e físicas de esterco de galinha puro (EP) e de misturas incubadas de esterco e fino de carvão de eucalipto aplicados no solo dos vasos para cultivo de milho

Tratamento ¹	C --- %	N ---	P -----	K -----	Ca g kg ⁻¹	Mg -----	NSA ²	Cinzas %	pH	CRA ³ kg kg ⁻¹	DA ⁴ kg dm ⁻³
EP	25,2	1,4	47,6	14,0	210,2	8,4	2,6	69,0	9,0	0,70	0,72
<0,29EST	28,2	1,5	28,7	11,3	160,5	9,3	0,6	60,3	8,3	0,52	0,62
1-0,29EST	31,1	1,6	28,5	10,3	129,1	5,5	0,4	54,8	8,0	0,45	0,55
2-1EST	22,3	1,7	31,6	11,4	155,9	5,7	0,9	51,5	8,2	0,60	0,46
4-2EST	21,8	1,5	32,6	11,0	150,6	5,9	0,7	45,3	8,1	0,73	0,42

¹Ep: esterco de galinha puro; <0,29EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica <0,29 mm; 1-0,29EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 1-0,29 mm; 2-1EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 2-1 mm e 4-2EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 4-2 mm.

²Nitrogênio solúvel em água. ³Capacidade de retenção de água. ⁴Densidade aparente

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com quatro repetições. Os tratamentos consistiram da aplicação de cinco materiais orgânicos: esterco de galinha puro curtido (EP) e misturas incubadas na proporção de 1:1 em volume de esterco de galinha e finos de carvão das classes granulométricas 4-2, 2-1, 1-0,29 e <0,29 mm (4-2EST, 2-1EST, 1-0,29EST e <0,29EST). Como foi empregada adubação orgânica exclusiva, a dose dos materiais orgânicos foram baseadas na exigência do N, que é exigido em maiores quantidades para produção de biomassa. Para tanto, foi aplicada uma dose correspondente à 200 kg ha⁻¹ de N (4 g de N por planta), para atender à expectativa de produção de 16 t ha⁻¹ de matéria seca de silagem (COELHO; FRANÇA, 1995). Os vasos com capacidade de 8 dm³ foram preenchidos com 5,2 kg de solo e dispostos em bancadas. Foram semeadas três sementes de milho por vaso, que após desbaste, permaneceu somente com uma planta por vaso. Manteve-se a umidade gravimétrica do solo equivalente à 70% da capacidade de campo.

Aos 30 dias após a semeadura, as plantas foram cortadas no nível do solo, lavadas com água deionizada, colocadas em sacos de papel e secas em estufa a 65°C até massa constante. Após a secagem, o material vegetal foi pesado para obtenção da massa seca da parte aérea do milho (MSPA), triturado em moinho tipo Willey e, após isso, feitas as determinações dos teores de N, P e K dos tecidos

vegetais, conforme Malavolta et al. (1997). A quantidade dos nutrientes acumulada nos tecidos da parte aérea do milho foi calculada com base no teor desses no tecido e na produção de matéria seca.

Separou-se o solo das raízes, homogeneizou-se o solo e coletou-se amostra para determinação dos atributos de fertilidade do solo (P, K, Ca, Mg, pH em água) e o efeito persistente dos materiais orgânicos na densidade do solo (Ds) pelo método da proveta, (EMBRAPA, 1997). Para isso, o solo foi passado cuidadosamente em peneira de 2 mm de modo a não danificar as partículas de carvão maiores que 2 mm, que foram preservadas sem passar na peneira. Os teores de C e N total foram determinados em analisador elementar utilizando amostras moídas em almofariz de ágata e passadas em peneira de 0,2 mm de abertura da malha.

2.2. EXPERIMENTO DE CAMPO

O experimento em condições de campo foi conduzido em área cedida pelo Ifes – Campus de Alegre, nas coordenadas 20°45'52" S e 41°27'25" W. O solo (vide tópico 2.1) foi preparado com uma aração e uma gradagem. A precipitação pluviométrica no período de condução do experimento, que foi de 2 de março a 19 de maio de 2015, foi de 314 mm (102 mm em março, 141 mm em abril e 71 mm de 1 a 19 de maio) (INMET, 2016) e a temperatura média nos meses de março, abril e maio foi de 26,7, 24,3 e 21,5°C, respectivamente (INCAPER, 2016).

Os materiais orgânicos empregados na adubação e o híbrido de milho foram descritos no tópico 2.1. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos consistiram da aplicação de cinco materiais orgânicos: esterco de galinha puro curtido (EP) e misturas incubadas na proporção de 1:1 em volume de esterco de galinha e finos de carvão das classes granulométricas 4-2, 2-1, 1-0,29 e <0,29 mm (4-2EST, 2-1EST, 1-0,29EST e <0,29EST). Como foi empregada adubação orgânica exclusiva, a dose dos materiais orgânicos foram baseadas na exigência do N, que é exigido em maiores quantidades para produção de biomassa. Para tanto, foi aplicada uma dose correspondente à 200 kg ha⁻¹ de N (20 g de N por metro de sulco), para atender à expectativa de produção de 16 t ha⁻¹ de matéria seca de silagem (COELHO; FRANÇA, 1995). Cada parcela experimental foi composta por três linhas de 1 m de

comprimento, 1 m entre linhas, 20 cm entre plantas na linha e 2 m de distância entre as parcelas.

A semeadura do milho foi realizada no dia 2 de março de 2015. Os sulcos foram abertos manualmente, logo após, aplicou-se os materiais orgânicos em dose única, cobriu-se com uma camada de solo de 1 cm e realizou-se uma irrigação. Em seguida, colocou-se três sementes a cada 20 cm de sulco, cobrindo-as com 3 cm de solo e irrigou-se novamente. Após emergência, desbastaram-se as plântulas deixando somente uma a cada 20 cm. Mantiveram-se as parcelas livres da interferência de plantas espontâneas durante todo o período de condução, mediante capina manual com enxada. Foi feita uma pulverização para controle preventivo de lagarta do cartucho aos 26 dias após a semeadura. Foram feitas irrigações por aspersão complementares às chuvas.

Devido ao princípio de incidência de *Erwinia* spp., a colheita da biomassa da parte aérea de milho foi antecipada, sendo realizada aos 77 dias após a semeadura, próximo das condições ideais para ensilagem. Todas as plantas da parcela foram cortadas na altura de 10 cm do solo, colocadas em sacos de rafia e pesadas. Posteriormente, a parte aérea das plantas de milho foi triturada em máquina ensiladeira, de modo a obter amostra mais representativa.

Aproximadamente 500 g de amostra triturada de parte aérea de milho de cada parcela foi acondicionada em sacos de papel e levadas à estufa a 65°C até massa constante para determinação do teor de matéria seca (g kg^{-1}). A produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) em kg de cada parcela foi obtida multiplicando-se a massa de matéria fresca da parte aérea pelo teor de matéria seca. Para as determinações de N, P e K (MALAVOLTA ET AL., 1997), as amostras secas foram trituradas em moinho tipo Wiley. A produção de MSPA por parcela foi transformada em t ha^{-1} . A quantidade dos nutrientes acumulada nos tecidos da parte aérea do milho foi calculada com base no teor desses no tecido e na produção de matéria seca.

Foi coletada uma amostra de solo de cada linha de plantio da parcela, aos 30 e aos 77 dias após a semeadura (colheita), na profundidade de 0-20 cm, com auxílio de sonda, perfazendo três amostras simples para compor uma amostra composta da parcela. O solo foi processado e analisado quanto ao pH em água e teores de C, N, P, K, Ca e Mg, conforme mencionado no tópico 2.1.

2.3. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As médias de produção e acúmulo de nutrientes na parte aérea do milho e os atributos de solo foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade processadas no software Assistat 7.7 Beta (SILVA, 2016).

3. RESULTADOS

3.1. EXPERIMENTO DE CASA DE VEGETAÇÃO

Após 30 dias de cultivo do milho em casa de vegetação, notaram-se que as misturas <0,29EST, 1-0,29EST e 2-1EST foram as que promoveram maiores teores de C e N no solo. Os tratamentos sob as misturas não diferiram entre si quanto à relação C/N, porém superaram o tratamento sob EP. Neste último ocorreu os menores teores de C e N. Dentre os materiais que contém carvão, o 4-2EST promoveu os menores teores de C e N no solo. Este tratamento apresentou, ainda, os menores teores de P, K, Ca, Mg no solo, o inverso do que ocorreu no solo sob <0,29EST. Os teores de P e K no solo sob EP não diferiram de <0,29EST e 1-0,29EST.

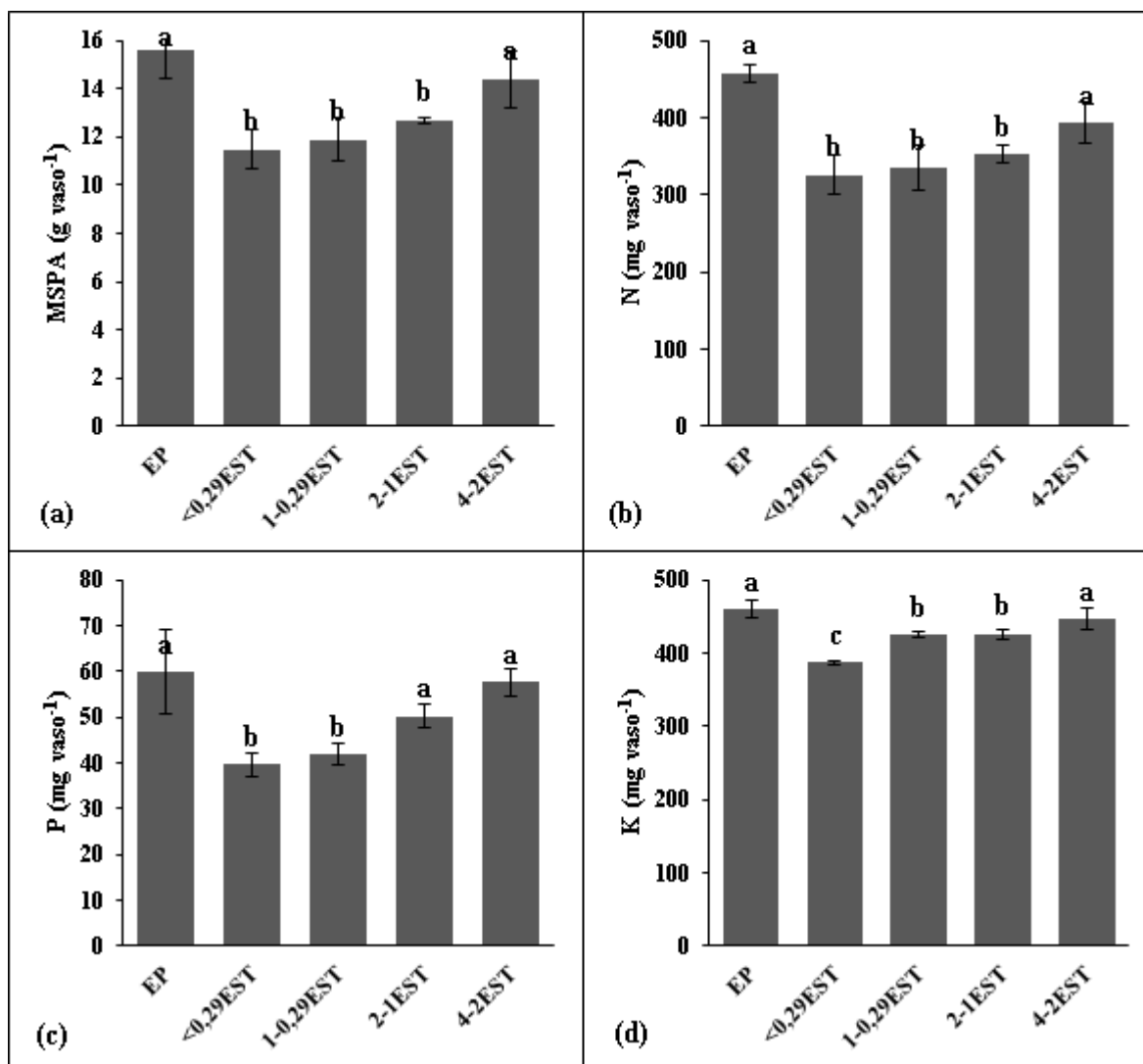
Tabela 2. Teores de carbono (C), e nitrogênio total do solo (N), relação C/N, fertilidade do solo (P, K, Ca, Mg e pH) e densidade do solo (Ds) dos vasos após 30 dias de cultivo com milho em casa de vegetação sob aplicação de esterco de galinha puro e diferentes misturas à base de fino de carvão de eucalipto e esterco de galinha

Tratamento ¹	C g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	C/N	P --mg dm ⁻³ --	K --mg dm ⁻³ --	Ca cmol _c dm ⁻³	Mg cmol _c dm ⁻³	pH	Ds kg dm ⁻³
EP	11,8 c	1,1 b	11 b	8,4 a	627 a	4,39 b	1,99 b	7,6 b	1,24 a
<0,29EST	21,2 a	1,3 a	16 a	8,1 a	659 a	5,75 a	2,65 a	7,9 a	1,23 a
1-0,29EST	22,1 a	1,3 a	16 a	7,5 a	659 a	5,83 a	2,00 b	7,6 b	1,19 b
2-1EST	20,9 a	1,2 a	16 a	7,1 b	647 a	5,11 b	2,03 b	7,5 c	1,19 b
4-2EST	16,8 b	1,0 b	16 a	6,5 b	524 b	4,87 b	1,74 b	7,5 c	1,19 b

¹Ep: esterco puro; <0,29EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica <0,29 mm; 1-0,29EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 1-0,29 mm; 2-1EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 2-1 mm e 4-2EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 4-2 mm. **Coefficiente de variação:** C = 5,24%; N = 6,57%; C/N = 4,83%; P = 12,74%; K = 6,45%; Ca = 10,18%; Mg = 8,96%; pH = 0,95%; Ds = 1,08%.

O pH do solo foi maior em <0,29EST (7,9), tratamento cujo material orgânico aplicado era mais rico em cinzas (Tabela 1). O menor valor de pH ocorreu em 2-1EST e 4-2EST (7,5). Verificou-se maiores valores de densidade do solo (Ds) em EP e <0,29EST, sendo valores próximos ao encontrado no solo antes da aplicação dos tratamentos ($1,25 \text{ kg dm}^{-3}$). Isso demonstra que somente 1-,29EST, 2-1EST e 4-2EST tiveram efetividade na diminuição da Ds desse solo.

Verificou-se que a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) pelo milho cortado aos 30 dias após a semeadura foi maior nos tratamentos EP (15,6 g) e 4-2EST (14,4 g) (Figura 1), não diferindo estatisticamente entre si. O mesmo comportamento foi observado para o acúmulo de nutrientes (N, P e K). O tratamento EP acumulou 458 mg de N, 59,9 mg de P e 460 mg de K por vaso, e o acúmulo em 4-2EST foi de 394,3 mg de N, 57,6 mg de P e 426 mg de K. A média de MSPA em EP e 4-2EST foi 24% superior à média dos demais tratamentos. Quanto menor a granulometria do carvão, menor foi a produção de MSPA e acúmulo de nutrientes.



EP: esterco puro; <0,29EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica <0,29 mm; 1-0,29EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 1-0,29 mm; 2-1EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 2-1 mm e 4-2EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 4-2 mm. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. **Coefficiente de variação:** MSPA = 13,94%; N = 11,85%; P = 18,84%; K = 4,57%.

Figura 1. Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA)(a), acúmulo de N (b), P (c) e K (d) por plantas de milho cultivadas em casa de vegetação sob aplicação no solo de esterco de galinha e diferentes misturas à base de fino de carvão de eucalipto e esterco de galinha.

3.2. EXPERIMENTO DE CAMPO

No experimento em condições de campo, os teores de C e N do solo coletado na linha de cultivo de milho aumentaram dos 30 aos 77 dias após a semeadura (Tabela 3). Devido à alta recalcitrância do C do carvão, os maiores teores de C e relação C/N foram encontrados nos solos tratados com esse material. A relação C/N não foi afetada pela época de coleta. Os valores de K, Mg e t diminuíram aos 77 dias. O pH diminuiu dos 30 aos 77 dias, exceto em 1-0,29EST.

Granulometrias menores do fino de carvão das misturas, promoveram maior elevação do pH do solo sob sua aplicação.

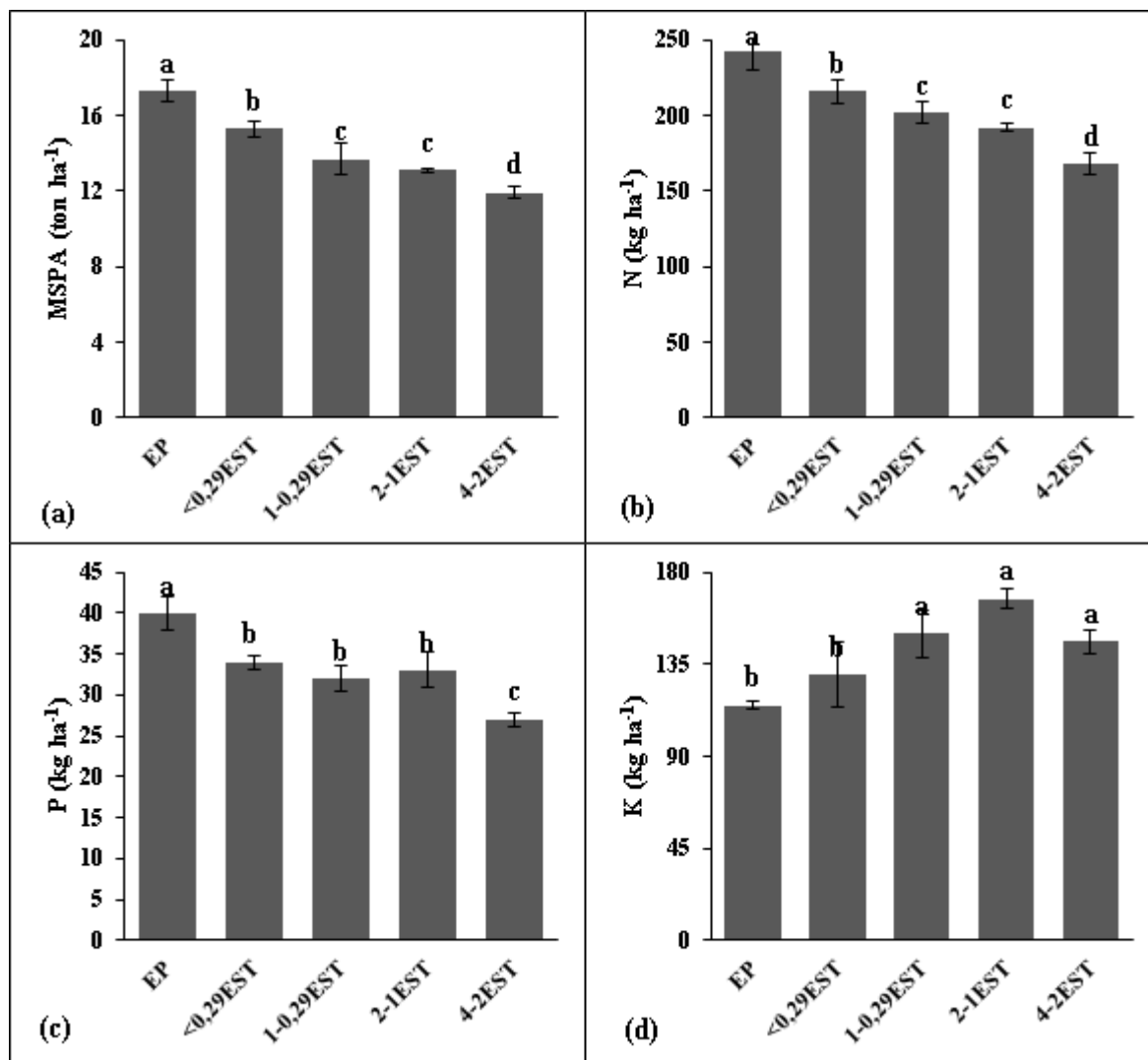
Tabela 3. Teores de carbono e nitrogênio total do solo (C e N), relação C/N e fertilidade (K, Ca, Mg, pH e CTC efetiva) do solo cultivado com milho em condições de campo sob aplicação de esterco de galinha puro e diferentes misturas à base de fino de carvão de eucalipto e esterco de galinha

Tratamento	*C g kg ⁻¹	*N	C/N	*K mg dm ⁻³	Ca	*Mg cmol _c dm ⁻³	*t	*pH
30 dias								
EP	11,8 b	1,05	11 b	1356 a	3,7 b	1,7 a	8,9 b	7,7 b
<0,29EST	22,7 a	1,27	18 a	1389 a	4,6 a	2,2 a	10,3 a	8,1 a
1-0,29EST	16,9 a	1,12	15 a	1092 b	4,1 a	1,4 b	8,4 b	7,3 b
2-1EST	16,4 a	1,10	15 a	652 c	3,8 b	1,4 b	6,8 c	7,3 b
4-2EST	20,6 a	1,17	17 a	599 c	3,6 b	1,3 b	6,4 c	7,2 b
77 dias								
EP	13,6 b	1,22	11 b	368 a	3,9 b	1,4 a	6,2 a	7,3 b
<0,29EST	22,8 a	1,32	17 a	208 b	4,8 a	1,4 a	6,7 a	7,7 a
1-0,29EST	24,5 a	1,35	18 a	358 a	3,9 b	1,1 b	5,9 b	7,6 a
2-1EST	22,1 a	1,32	16 a	274 b	3,9 b	1,2 b	5,8 b	7,2 b
4-2EST	19,9 a	1,17	16 a	226 b	3,7 b	0,9 b	5,2 c	7,1 b

¹Ep: esterco puro; <0,29EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica <0,29 mm; 1-0,29EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 1-0,29 mm; 2-1EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 2-1 mm e 4-2EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 4-2 mm.

*Houve diferença estatística entre épocas a 5% de probabilidade pela análise de variância. **Coefficiente de variação:** C 30 dias = 23,37%; C 77 dias = 21,76%; N 30 dias = 14,68%; N 77 dias = 14,12%; C/N 30 dias = 14,65%; C/N 77 dias = 8,69%; P 30 dias = 24,11%; P 77 dias = 8,34%; K 30 dias = 16,33%; K 77 dias = 19,10%; Ca 30 dias = 7,32%; Mg 30 dias = 21,57%; Mg 77 dias = 16,48%; t 30 dias = 9,34%; t 77 dias = 6,38%; pH 30 dias = 4,27%; pH 77 dias = 1,92%.

A aplicação de EP possibilitou a maior produção de MSPA (17,3 t ha⁻¹) (Figura 2a), 13% superior ao <0,29EST, sendo o tratamento com maior acúmulo de N e P na matéria seca (Figuras 2b e 2c). Os tratamentos EP e <0,29EST foram os que acumularam menos K na parte aérea do milho (Figura 2d).



Ep: esterco de galinha puro; <math><0,29\text{EST}</math>: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica <math><0,29\text{ mm}</math>; $1-0,29\text{EST}$: Mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica $1-0,29\text{ mm}$; $2-1\text{EST}$: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica $2-1\text{ mm}$ e $4-2\text{EST}$: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica $4-2\text{ mm}$. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. **Coefficiente de variação:** MSPA = 5,54%; N = 6,72%; P = 8,15%; K = 11,91%.

Figura 2. Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) (a) e acúmulo de N (b), P (c) e K (d) por plantas de milho cultivadas em condições de campo sob aplicação de esterco de galinha e diferentes misturas à base de fino de carvão de eucalipto e esterco de galinha na linha de cultivo

4. DISCUSSÃO

4.1. EXPERIMENTO DE CASA DE VEGETAÇÃO

Para explicar os teores de C e N encontrados no solo, deve-se considerar as seguintes premissas: as misturas foram incubadas à partir de uma relação 1:1 em volume de esterco de galinha e fino de carvão; o esterco de galinha apresenta maior densidade aparente (DA) do que os finos de carvão (Tabela 1); quanto maior o

tamanho da partícula de carvão, menor será a densidade aparente dos finos de carvão e, conseqüentemente, maior é a proporção em massa de esterco na mistura resultante; o esterco de galinha apresenta grande proporção de estruturas alifáticas facilmente degradáveis (XU; CHEN, 2013), por outro lado, o carvão possui estrutura aromática altamente condensada e resistente à degradação (BENITES et al., 2009).

Baseado no exposto acima, depreende-se que o esterco puro e a mistura 4-2EST, que apresentaram maior proporção de suas massas na forma mais lábil, estão mais passíveis de decomposição do que os demais materiais orgânicos. Portanto, maior decomposição de matéria orgânica no solo sob EP e 4-2EST, pode ter acarretado menores teores de C e N no solo sob estes tratamentos. Além disso, a decomposição da matéria orgânica disponibiliza mais N para a absorção pelas plantas, fazendo diminuir seu teor no solo. A relação C/N no solo sob aplicação das misturas foi maior do que no solo inicial e no solo sob aplicação de esterco puro. Como o C dos carvões é mais recalcitrante, haverá menor decomposição, ampliando a relação C/N do solo.

Constatou-se uma relação entre extração de nutrientes pelas plantas de milho e diminuição destes no solo. Os teores de N, P, K, Ca, Mg no solo foram menores no tratamento 4-2EST, tratamento com maior acúmulo de nutrientes nas plantas de milho. No entanto, o solo sob EP, mesmo com a maior extração de nutrientes ao lado de 4-2EST, manteve os maiores teores de P e K no solo em decorrência do maior aporte desses nutrientes pelo esterco puro (Tabela 1).

Apesar do material orgânico EP possuir o maior teor de Ca dentre os materiais empregados na adubação, o solo sob esse tratamento não apresentou o maior teor do nutriente. Isso pode ser reflexo da maior absorção pelas plantas de milho (dados não apresentados) associado à menor taxa de liberação de Ca desse material.

O pH do solo foi reflexo do pH dos materiais aplicados, exceto para EP. Quanto menor a granulometria do carvão empregado nas misturas, maior o teor de cinzas e pH da mistura. A dissolução dos óxidos de minerais e carbonatos das cinzas provocam reação de alcalinização do solo (JOSEPH et al., 2010). O maior teor de cinzas (69%) e o maior pH (9) foi encontrado no material orgânico EP (Tabela 1). No entanto, o solo que recebeu esse tratamento não apresentou o maior valor de pH. Há probabilidade de ocorrer maior taxa de nitrificação no solo sob EP,

devido à maior disponibilidade do amônio, dessa forma, há maior liberação de prótons H^+ no solo.

Houve pouca modificação na Ds em EP, em decorrência da maior decomposição da matéria orgânica nesse tratamento (menor teor de C). O arranjo mais compacto das partículas de menor granulometria do carvão em <0,29EST também fez manter uma Ds similar à do solo inicial.

Percebeu-se relação entre a quantidade de esterco adicionada nos vasos (EP>4-2EST>2-1EST>1-0,29EST><0,29EST) e a produção de MSPA e acúmulo de nutrientes. O esterco de galinha demonstrou maior capacidade de fornecer nutrientes, principalmente N disponível da mineralização.

Quando uma mesma quantidade de adubo orgânico não carbonizado (esterços, compostos orgânicos) é fixado para aplicação em todos os tratamentos, a aplicação adicional de carvões pode exercer efeito sinérgico. Ch'ng et al. (2015) verificaram maior teor de nutrientes disponíveis no solo, produção de matéria seca total e acúmulo de nutrientes do milho cultivado em vasos, quando estes receberam composto orgânico (folhas de abacaxi + esterco de galinha) acrescido de biocarvão de cama de frango, do que o composto orgânico somente. Tal sinergismo entre composto orgânico e biocarvão também foi confirmado em outros trabalhos (DOAN et al., 2015; LIU et al., 2012). Por outro lado, a substituição parcial de composto orgânico de turfa e folhas frescas por carvão comercial diminuiu a produção de matéria seca de parte aérea e sementes de aveia e a disponibilidade de nutrientes no solo de recipientes plásticos em casa de vegetação (SCHULZ; GLASER, 2012), tal como ocorreu no presente experimento.

4.2. EXPERIMENTO DE CAMPO

Dos 30 aos 77 dias os teores de C e N aumentaram, sugerindo que, apesar da decomposição da matéria orgânica aplicada, as raízes de milho podem ter contribuído pelo aporte de tecidos mortos ou por exsudação de substâncias orgânicas no meio (FARIAS et al., 2005; LIMA, 2014; MENICHETTI et al., 2015).

Para explicar os teores de bases no solo, parte-se do fato que a diminuição da granulometria do carvão promoveu aumento de densidade das misturas (Tabela 1) e que essas foram aplicadas no sulco de plantio do milho sem incorporação. Sendo assim, quanto menor a densidade do solo na linha de cultivo, menor foi o teor

de K, Ca e Mg aos 30 dias, e Ca e Mg aos 77 dias, uma vez que os teores dos nutrientes são expressos com base em volume de solo (mg dm^{-3}). Sugere-se que a diminuição dos teores de K e Mg aos 77 dias pode ser devido à lixiviação e absorção de nutrientes pelas plantas de milho.

A diminuição do pH do solo aos 77 dias se deve à nitrificação, que libera prótons H^+ no solo. Granulometrias menores do fino de carvão da mistura, promoveram maior elevação do pH do solo sob sua aplicação, devido ao maior teor de cinzas e menor teor de N disponível para nitrificação. O material orgânico EP, apesar de apresentar o maior teor de cinzas, não promoveu maior valor de pH do solo. Esse é o tratamento onde há maior decomposição de matéria orgânica para liberação de amônio passível de ser oxidado a nitrato, liberando prótons H^+ no meio.

O nitrogênio é um dos nutrientes mais limitantes para a obtenção de altas produtividades, sendo exigido em maiores quantidades pela cultura do milho (BREDA et al., 2016; MARTINS et al., 2014). Por haver mais matéria orgânica lábil para fornecer N às plantas de milho, a aplicação de EP possibilitou a maior produção de MSPA de milho e acúmulo desse nutriente na matéria seca.

Como a dose de 200 kg ha^{-1} de N foi baseada no teor total de N dos materiais orgânicos, e o esterco possui a maior disponibilidade deste nutriente, esse fator foi o principal na determinação da produtividade. Mais estudos são necessários para estabelecer proporções mais adequadas de matéria orgânica carbonizada e não carbonizada na compostagem, a fim de obter um composto cuja aplicação no solo proporcione maior produção vegetal e persistência dos efeitos benéficos das alterações orgânicas no solo.

Para otimizar a adubação nitrogenada do milho com compostos orgânicos à base de carvão, deve-se proceder a recomendação de N com base no seu teor potencialmente lábil. Wang et al. (2012) demonstraram que o N extraído pelo método de hidrólise ácida com $\text{HCl } 6 \text{ mol L}^{-1}$ representou o reservatório de N lábil de biocarvões produzidos à partir de esterco bovino (EB) e biossólidos (BS). Os autores verificaram teores de 69,8% de N hidrolisável em EB e 82,6% em BS. Após a pirólise, foram de 40,1% e 44,4% na temperatura de 250°C a 9,3% e 4,6% na temperatura de 550°C , respectivamente para EB e BS.

No experimento de campo ocorreu um resultado inverso daquele obtido em casa de vegetação. Quanto maior a granulometria do fino de carvão da mistura aplicada em campo, menor foi a produtividade de MSPA de milho. Por um lado, em

casa de vegetação, houve maior produtividade de MSPA de milho no tratamento 4-2EST, devido à maior disponibilização de N, portanto, um efeito nutricional. Por outro lado, em campo, como os materiais orgânicos não foram incorporados no sulco de plantio, a menor densidade aparente do 4-2EST promoveu a menor retenção de água por volume de solo, limitando o suprimento de água, principalmente no início do desenvolvimento do milho. Tal fato foi confirmado por Carvalho (2015), que verificaram redução na produção de arroz de sequeiro com o aumento da dose de fino de carvão de eucalipto em solo argiloso. Os autores afirmaram que a diminuição da densidade provocou redução da capacidade de retenção de água disponível e absorção de N pelo arroz.

Observações visuais das parcelas no campo aos sete dias após a semeadura dão conta de que no tratamento 4-2EST as plântulas de milho emergiram por último. Na ocasião da semeadura, as sementes de milho localizavam-se em contato direto com o solo que cobria os materiais orgânicos aplicados no sulco. Entretanto, no decorrer da germinação, a radícula emitida passa a explorar o volume de partículas dos materiais orgânicos subjacentes. A mistura 4-2EST apresentou agregados grandes, formados pela agregação de esterco em torno das partículas de carvão. Isso prejudicou a superfície de contato das radículas das plântulas de milho com a umidade do solo, diminuindo a velocidade de emergência. Verificou-se ainda, no capítulo 3, menor capacidade de retenção de água disponível do substrato quando este recebeu 4-2EST como condicionador orgânico.

Parece ter ocorrido competição entre Ca, Mg e K pelo mesmos sítios de absorção na raiz (DIEM; GODBOLD, 1993). Os materiais orgânicos EP e <0,29EST, que possuíram os maiores teores de Ca, podem ter feito aumentar o teor deste no solo, promovendo maior absorção de Ca em detrimento do K. Andreotti et al. (2000) observaram que a calagem para elevar a saturação por bases de um Latossolo Vermelho-Escuro de 40 para 70%, fez reduzir o teor de K das folhas de milho colhidas aos 60 dias de 20,31 g kg⁻¹ para 16 g kg⁻¹.

A produtividade máxima de MSPA de milho, 17,3 t ha⁻¹ no presente experimento, obtida aos 77 dias, foi inferior àquela encontrada por Oliveira et al. (2010) (21 t ha⁻¹), no ponto ideal para ensilagem sob adubação recomendada para a cultura. Entretanto, foi superior às produtividades de 12,2 e 15,5 t ha⁻¹, de duas safras agrícolas, médias de seis híbridos, sob adubação recomendada para a cultura, e na mesma época de corte da biomassa referente ao presente trabalho

(ZOPOLLATTO et al., 2009). A produtividade apresentada no presente experimento poderia ter sido maior não fosse a antecipação da colheita, que foi realizada aos 77 dias, no estágio R3 (grão leitoso), por motivo de princípio de incidência de *Erwinia* spp. e, não fosse a semeadura ter sido realizada no fim do verão (março). O teor de matéria seca recomendado para a produção de silagem de milho é de 33-37% (estádio R5 ou formação de dente) (MAGALHÃES; DURÃES, 2006) e neste trabalho os teores variaram entre 18,8-20,1% (Tabela 5).

5. CONCLUSÕES

EXPERIMENTO DE CASA DE VEGETAÇÃO

- As misturas incubadas e o esterco de galinha puro diferiram entre si quanto às alterações nas características do solo e produção de matéria seca da parte aérea de milho;

- A mistura 4-2EST mostrou-se viável na substituição do esterco de galinha puro para a produção de matéria seca da parte aérea de milho;

- A maior produção de matéria seca da parte aérea de milho esteve relacionada à quantidade de esterco de galinha aplicado através dos materiais orgânicos.

EXPERIMENTO DE CAMPO

- Houve diferença entre as misturas incubadas e o esterco de galinha puro quanto às alterações nas características do solo e produção de matéria seca da parte aérea de milho;

- A maior produção de matéria seca da parte aérea de milho foi encontrada com a aplicação de esterco puro;

- De forma inversa ao experimento de casa de vegetação, no experimento de campo as misturas com as maiores granulometrias prejudicaram a disponibilidade de água para as plântulas de milho;

- A incorporação de carvão ao esterco de galinha para incubação apresentou potencial de melhoria das propriedades do solo e produção de matéria seca da parte aérea de milho, devendo ser ajustadas as proporções e doses de carvão e esterco.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGEGNEHU, G. et al. Benefits of biochar, compost and biochar-compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. **Science of the Total Environment**, v. 543, p. 295–306, 2016.

ANDREOTTI, M. et al. Produção de matéria seca e absorção de nutrientes pelo milho em razão da saturação por bases e da adubação potássica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 12, p. 2437–2446, dez. 2000.

BASS, A. M. et al. Soil properties, greenhouse gas emissions and crop yield under compost, biochar and co-composted biochar in two tropical agronomic systems. **Science of The Total Environment**, v. 550, p. 459–470, abr. 2016.

BENITES, V.M.; TEIXEIRA, W.G.; REZENDE, M.E.; PIMENTA, A.S. Utilização de carvão e subprodutos da carbonização vegetal na agricultura: aprendendo com as Terras Pretas de Índio. In: TEIXEIRA, W.G.; KERN, D.C.; MADARI, B.E.; LIMA, H.N.; WOODS, W.I. (eds.). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p.285-296.

BREDA, F. A. DA F.; ALVES, G. C.; REIS, V. M. Produtividade de milho na presença de doses de N e de inoculação de *Herbaspirillum seropedicae*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 1, p. 45–52, jan. 2016.

CH'NG, H. Y.; AHMED, O. H.; MAJID, N. M. A. Improving Phosphorus Availability, Nutrient Uptake and Dry Matter Production of Zea Mays L. on a Tropical Acid Soil Using Poultry Manure Biochar and Pineapple Leaves Compost. **Experimental Agriculture**, p. 1–19, 2015.

DE OLIVEIRA, L. B. et al. Produtividade, composição química e características agrônômicas de diferentes forrageiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 12, p. 2604–2610, 2010.

DIEM, B.; GODBOLD, D. L. Potassium , calcium and magnesium antagonism in clones of *Populus trichocarpa* Ca Mg Ca Mg. **Plant and Soil**, v. 54, p. 411–414, 1993.

DOAN, T. T. et al. Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: A three year mesocosm experiment. **Science of the Total Environment**, v. 514, p. 147–154, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

ENDERS, A. et al. Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. **Bioresource technology**, v. 114, p. 644–53, jun. 2012.

FARIAS, E. P. et al. Aporte de carbono solúvel pelo sistema radicular de arroz e sua

influência nos teores de substâncias húmicas de um latossolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 875–882, 2005.

INCAPER (INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL). **Boletim Agroclimático**. Disponível em: <http://hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/?pagina=alegre_bol>. Acesso em: mar. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em mar. 2016.

JOSEPH, S. D. et al. An investigation into the reactions of biochar in soil. **Australian Journal of Soil Research**, v. 48, n. 7, p. 501, 28 set. 2010.

JUNG, K. W. et al. Influence of pyrolysis temperature on characteristics and phosphate adsorption capability of biochar derived from waste-marine macroalgae (*Undaria pinnatifida* roots). **Bioresource Technology**, v. 200, p. 1024–1028, 2016.

KÄMPF, N.; WOODS, W.I.; SOMBROEK, W.; KERN, D.C. & CUNHA, T.J.F. Classification of Amazonian Dark Earths in the Brazilian Amazon. In: Lehmann, J.; Kern, D.C.; Glaser, B. & Woods, W.I. **Amazonian Dark Earths: Origin, properties, management**. Dordrecht, Kluwer, 2003. p.77-102.

LAIRD, D. et al. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. **Geoderma**, v. 158, n. 3-4, p. 436–442, 2010.

LEHMANN, J. et al. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and an Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, v. 249, p. 343–357, 2003.

LIU, J. et al. Short-term effect of biochar and compost on soil fertility and water status of a Dystric Cambisol in NE Germany under field conditions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 175, n. 5, p. 698–707, 2012.

LUO, X. et al. Use of biochar-compost to improve properties and productivity of the degraded coastal soil in the Yellow River Delta, China. **Journal of Soils and Sediments**, p. 1–10, 2016.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da produção do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10p. Circular Técnica n.76.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MANDAL, S. et al. Biochar-induced concomitant decrease in ammonia volatilization and increase in nitrogen use efficiency by wheat. **Chemosphere**, v. 142, p. 120–127, 2016.

MARTINS, I. S.; CAZETTA, J. O.; FUKUDA, A. J. F. Condições, modos de aplicação

e doses de ureia revestida por polímeros na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 3, p. 271–279, set. 2014.

MENICHETTI, L.; EKBLAD, A.; KÄTTERER, T. Contribution of roots and amendments to soil carbon accumulation within the soil profile in a long-term field experiment in Sweden. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 200, p. 79–87, 2015.

MORALES, M. M. et al. Sorption and desorption of phosphate on biochar and biochar-soil mixtures. **Soil Use and Management**, v. 29, n. 3, p. 306–314, 2013.

NELISSEN, V. et al. Effect of different biochar and fertilizer types on N₂O and NO emissions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 70, p. 244–255, 2014.

NOVOTNY, Etelvino H. et al. Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon region for the utilisation of charcoal for soil amendment. *Journal of Brazilian Chemical Society*.v.20, p. 1003-1010, 2009.

SCHMIDT, H. P. et al. Biochar and biochar-compost as soil amendments to a vineyard soil: Influences on plant growth, nutrient uptake, plant health and grape quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 191, p. 117–123, 2014.

SCHULZ, H.; DUNST, G.; GLASER, B. Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, n. 4, p. 817–827, 2013.

SCHULZ, H.; GLASER, B. Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 175, n. 3, p. 410–422, 2012.

SILVA, F.A.S. **Sistema de Assistência Estatística** - ASSISTAT versão 7.7 beta. Departamento de Engenharia Agrícola (DEAG) do CTRN da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande - PB, 2016. Disponível em : <http://www.assistat.com/> . Acesso em: 09 mar. 2016.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (eds.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.

SILVA, T. R. da et al. Cultivo do milho e disponibilidade de P sob adubação com cama-de-frango. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n.9, p.903-910, 2011.

SUN, H. et al. Controlled-release fertilizer, floating duckweed, and biochar affect ammonia volatilization and nitrous oxide emission from rice paddy fields irrigated with nitrogen-rich wastewater. **Paddy and Water Environment**, v. 14, n. 1, p. 105–111, 2016.

TROY, S. M. et al. The impact of biochar addition on nutrient leaching and soil

properties from tillage soil amended with pig manure. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 225, n. 3, 2014.

WANG, T. et al. Chemical and bioassay characterisation of nitrogen availability in biochar produced from dairy manure and biosolids. **Organic Geochemistry**, v. 51, p. 45–54, 2012.

XU, Y.; CHEN, B. Investigation of thermodynamic parameters in the pyrolysis conversion of biomass and manure to biochars using thermogravimetric analysis. **Bioresource Technology**, v. 146, p. 485–493, 2013.

YAO, Y. et al. Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. **Chemosphere**, v. 89, n. 11, p. 1467–1471, 2012.

ZOPOLLATTO, M. et al. Relações biométricas entre o estágio de maturação e a produtividade de híbridos de milho para produção de silagem Biometric relations between maturity stage and productivity of corn cultivars for silage production. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 2, p. 256–264, 2009.

CAPÍTULO III – SUBSTRATOS À BASE DE FINO DE CARVÃO DE EUCALIPTO E ESTERCO DE GALINHA PARA PRODUÇÃO DE MUDAS CLONAIIS DE CAFÉ CONILON

RESUMO

Finos de carvão vegetal podem melhorar as características químicas e físicas dos substratos para a produção de mudas. Este trabalho objetivou avaliar a aplicação de materiais orgânicos à base de fino de carvão de eucalipto e esterco de galinha no crescimento e absorção de nutrientes por mudas de café conilon. Os substratos complementados com 2 kg m⁻³ de calcário dolomítico, 4 kg m⁻³ de superfosfato simples e 0,5 kg m⁻³ de cloreto de potássio, foram compostos por 80 % em volume de solo e 20% de nove materiais orgânicos que compunham os tratamentos: fino de carvão de eucalipto em quatro granulometrias de (4-2, 2-1, 1-0,29 e <0,29mm) incubado com esterco de galinha ou aplicados puro, em comparação com o esterco de galinha puro. As sacolas de polietileno, com volume de 770 cm⁻³, preenchidas com os substratos, receberam as estacas de café conilon para o cultivo por 160 dias. Avaliaram-se os parâmetros de crescimento e a absorção de nutrientes pelas mudas e as características químicas e físicas dos substratos. Os resultados experimentais mostraram que o esterco puro proporcionou o maior crescimento (10,8 cm de altura, 4,5 cm de diâmetro do coleto, 1,89 g de matéria seca total) e absorção de nutrientes (12 mg de N e 25 mg de K) pelas mudas clonais de café conilon. Houve maior capacidade de retenção de água disponível nos substratos com finos de carvão puro (0,11-0,13 kg kg⁻¹), em relação aos substratos que continham esterco (0,05-0,07 kg kg⁻¹), por outro lado, aqueles não foram capazes de disponibilizar nitrogênio diretamente e aumentaram excessivamente o pH do substrato (8,05-8,5), sendo portanto, prejudicial às mudas na forma como foram inseridos no experimento, mesmo havendo suprimento de N via adubação de cobertura com ureia. A viabilidade de aplicação de finos de carvão em substratos depende de complementação com N proveniente de outros materiais orgânicos, adequação da dose de N via adubação de cobertura das mudas e calibração de pH do substrato.

Palavras-chave: biochar, pH, matéria orgânica, nitrogênio.

ABSTRACT

Charcoal fines can improve the physical and chemical characteristics of substrates for the seedlings production. This study aimed to evaluate the application of fine charcoal and chicken manure on growth and nutrient uptake by conilon coffee seedlings. The substrate supplemented with 2 kg m⁻³ dolomitic limestone, 4 kg m⁻³ superphosphate and 0.5 kg m⁻³ of potassium chloride were composed of 80% by volume of soil and 20% of organic material: four particle size of eucalyptus charcoal fine (4-2, 2-1, 1 to .29 and <0,29mm), pure or incubated with chicken manure, compared with pure chicken manure. The polyethylene bags, with a volume of 770 cm³, filled with the substrates, received the conilon coffee stakes for cultivation for 160 days. We assessed the growth parameters and nutrient uptake by the plants and chemical and physical characteristics of the substrate. The experimental results showed that the pure manure gave the highest growth (10.8 cm height, 4.5 cm stem diameter, 1.89 g of total dry matter) and nutrients uptake (12 mg of N and 25 mg of K) by clonal seedlings conilon coffee. There was a greater available water retention capacity in the substrates with pure charcoal (0.11 to 0.13 kg kg⁻¹) compared to substrates containing manure (0.05-0.07 kg kg⁻¹), on the other hand, those have not been able to provide nitrogen directly, and excessively increased the pH of the substrate (8.05 to 8.5), and therefore harmful to plants in the way were inserted in the experiment, even with supply N via fertilization cover with urea. The charcoal fines application feasibility substrates depends on complementation with N from other organic materials, adequacy of dose of N via topdressing seedlings and pH calibration substrate.

Keywords: biochar, pH, organic matter, nitrogen.

1. INTRODUÇÃO

O Estado do Espírito Santo apresentou em 2015 um parque cafeeiro de 433.242 ha, o qual produziu 10,7 milhões de sacas (CONAB, 2016). O INCAPER (Instituto de Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural) possui programas que visam a renovação do parque cafeeiro do Espírito Santo, dentre eles, o programa Renova Sul Conilon que tem como meta a renovação e/ou revigoração de 6.000 ha/ano do parque de café conilon (INCAPER, 2016). Considerando que para a implantação de um ha de café conilon seja necessário 3.000 plantas, estima-se uma demanda potencial de 18 milhões de mudas por ano.

Ultimamente, aumentou-se o interesse na pesquisa com produção de mudas de café em tubetes a fim de evitar a disseminação e multiplicação de nematoides e aumentar a produtividade do trabalho (CUNHA et al., 2015; ESPÍNDULA et al., 2015; PISSINATI et al., 2015). Apesar disso, sacolas de polietileno pretas preenchidas com substratos à base de solo e materiais orgânicos ainda são muito utilizadas (ALVES et al., 2013; MOREIRA et al., 2013; FERREIRA et al., 2015; MARTINELLI et al., 2015) devido ao baixo custo de investimento em viveiros e baixo custo de produção.

O uso de materiais orgânicos carbonizados em substratos para produção de mudas tem sido estudado (MAKOTO et al., 2011; SOUCHIE et al., 2011; FREITAS et al., 2014; LIMA et al., 2015). Dentre esses materiais pesquisados, destaca-se a casca de arroz carbonizada (OLIVEIRA et al., 2008; VALLONE et al., 2004; SILVA et al., 2009; STEFFEN et al., 2010) e o fino de carvão vegetal (GOMES et al., 2002; MENDONÇA et al., 2003; ZANETTI et al., 2003).

A grande vantagem da aplicação de carvões no solo do substrato para o cultivo de mudas, em detrimento dos compostos orgânicos e esterco, é sua resistência à degradação, devido à estrutura policíclica aromática altamente condensada (BENITES et al., 2009). Seus efeitos no substrato são capazes de perpetuar durante todo o período de cultivo das mudas. Os carvões melhoram a fertilidade do solo pelo fornecimento de nutrientes, elevação do pH do solo (ENDERS et al., 2012; PRAKONGKEP et al., 2015) e aumento na CTC (LEE et al., 2010; LIANG et al., 2006; MAO et al., 2012), melhorando ainda a capacidade de retenção de água disponível para as plantas (BASSO et al., 2013; EYKELBOSH et

al., 2014; PEAKE et al., 2014) e diminui a densidade do solo (PEAKE et al., 2014; ZHANG et al., 2012).

Diferentemente da casca de arroz, que antes de ser usada nos substratos deve passar pela carbonização nos viveiros, os finos de carvão de eucalipto, que são resíduos adquiridos a baixo ou nenhum custo, podem ser misturados ao solo para compor substratos para a produção de mudas, bastando diminuir a granulometria do material através de peneiramento e/ou trituração. Finos de carvão são uma alternativa aos esterco bovino e de aves como material orgânico condicionador de substratos para a produção de mudas.

O objetivo do trabalho foi avaliar a aplicação de materiais orgânicos à base de finos de carvão de eucalipto e esterco de galinha no crescimento e absorção de nutrientes por mudas de café conilon.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em viveiro comercial de mudas de diversas espécies na cidade de Afonso Cláudio, ES (20°01'51"S e 41°02'06"W), de fevereiro a julho de 2015. De cada estaca do clone V2 da variedade conilon 'Vitória Incaper 8142' foram eliminados os ramos plagiotrópicos e dois terços das folhas. Estas foram introduzidas em sacolas de polietileno preta com dimensão de 11x20 cm (770 cm³) preenchidas com substrato cuja formulação foi composta na proporção de 800 dm³ de Latossolo Vermelho de subsuperfície, 200 dm³ de material orgânico, 2 kg de calcário dolomítico, 4 kg de superfosfato simples, 0,3 kg de cloreto de potássio e 50 g de FTE-BR-12 (PREZOTTI et al., 2007). As sacolas com as estacas permaneceram em viveiro com as laterais protegidas por filme plástico transparente e teto coberto com tela de 50% de sombreamento.

Os tratamentos foram usados em substituição ao material orgânico do substrato. O esterco utilizado nos substratos foi coletado em granja de galinhas poedeiras no município de Venda Nova do Imigrante, ES. Os resíduos de carvão de eucalipto (finos de carvão) produzidos em forno de alvenaria artesanal foram coletados de carvoaria localizada em Conceição do Castelo, ES. Os materiais orgânicos foram produzidos pela mistura 1:1 em volume de esterco de galinha e fino de carvão de quatro granulometrias (4-2, 2-1, 1-0,29 e <0,29 mm), conforme mencionado no capítulo 1. Cada tipo de mistura e o esterco puro utilizados foram

compostos pela junção dos materiais provenientes dos 90, 135 e 180 dias de incubação (Capítulo 1) a fim de obter quantidade de material suficiente para o experimento. A composição química e física dos materiais orgânicos empregados nos substratos e dos substratos antes do plantio são apresentados respectivamente nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Atributos químicos e físicos de esterco de galinha puro (EP) e de misturas à base de esterco de galinha e fino de carvão de eucalipto aplicados no substrato para produção de mudas clonais de café conilon

Tratamento ¹	C -- % --	N	P	K	Ca	Mg	NSA ²	Cinzas %	pH	CRA ³ kg kg ⁻¹	DA ⁴ kg dm ⁻³
	----- g kg ⁻¹ -----										
EP	25,2	1,4	47,6	14,0	210,2	8,4	2,6	69,0	9,0	0,70	0,72
4-2EST	21,8	1,5	32,6	11,0	150,6	5,9	0,7	45,3	8,1	0,73	0,42
2-1EST	22,3	1,7	31,6	11,4	155,9	5,7	0,9	51,5	8,2	0,60	0,46
1-0,29EST	31,1	1,6	28,5	10,3	129,1	5,5	0,4	54,8	8,0	0,45	0,55
<0,29EST	28,2	1,5	28,7	11,3	160,5	9,3	0,6	60,3	8,3	0,52	0,62
4-2 mm	23,6	1,4	0,8	5,2	41,2	5,6	-	27,2	8,4	0,70	0,28
2-1 mm	25,7	1,5	0,5	4,1	30,4	3,9	-	21,2	8,4	0,51	0,34
1-0,29 mm	16,3	1,7	0,7	5,5	34,6	4,7	-	36	8,6	0,39	0,45
<0,29 mm	16,1	1,7	2,2	6,7	54,9	10,1	-	53,9	8,9	0,38	0,55

¹Ep: esterco puro; <0,29EST: mistura (1:1 em volume) de esterco com fino de carvão da classe granulométrica <0,29 mm; 1-0,29EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 1-0,29 mm; 2-1EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 2-1 mm e 4-2EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 4-2 mm. <0,29, 1-0,29, 2-1 e 4-2 mm: finos de carvão puro em diferentes granulometrias. ²Nitrogênio solúvel em água. ³Capacidade de retenção de água. ⁴Densidade aparente Análises - C e N total: analisador elementar. P, K, Ca, Mg e cinzas: digestão via seca. NSA: extração por agitação em água (1:20) com posterior determinação do N total pelo método Kjeldal. CRA: água retida após aplicação de tensão de 33kPa em extrator de placa porosa. DA: método da proveta (Embrapa, 1997).

Tabela 2. Atributos químicos e físicos dos substratos com a adição de diferentes materiais orgânicos para a produção de mudas de café conilon

Tratamento ¹	C - g kg ⁻¹ -	N	C/N	pH	P	K	Ca	Mg	² CC	³ PMP	⁴ AD
	-----				mg dm ⁻³	dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	dm ⁻³	-----	kg kg ⁻¹	-----
EP	20,6	2,1	10	6,84	70	2178	3,0	1,1	0,31	0,17	0,14
4-2EST	24,5	1,5	16	6,65	165	1064	5,0	1,4	0,33	0,16	0,17
2-1EST	21,6	1,4	15	7,55	198	1293	5,5	1,3	0,30	0,16	0,14
1-0,29EST	30,7	1,8	17	8,17	164	1711	6,3	1,6	0,30	0,16	0,14
<0,29EST	35	2,2	16	8,50	164	1531	5,6	1,6	0,30	0,16	0,14
4-2 mm	36,2	0,7	52	7,17	22	574	5,6	0,3	0,33	0,16	0,17
2-1 mm	36,9	0,8	46	7,10	23	649	4,9	0,5	0,32	0,16	0,20
1-0,29 mm	39,5	1	39	7,21	39	759	6,1	0,7	0,29	0,16	0,13
<0,29 mm	45,3	1,2	38	7,72	48	1001	6,7	1,1	0,28	0,16	0,12

¹4-2EST: mistura (1:1 em volume) de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 4-2 mm; 2-1EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 2-1 mm; 1-0,29EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 1-0,29 mm; <0,29EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica <0,29 mm; e <0,29, 1-0,29, 2-1 e 4-2 mm: finos de carvão puro de diferentes granulometrias. ²Capacidade de campo (-10Kpa). ³Ponto de murcha permanente (-1500Kpa). ⁴Água disponível (CC-PMP). Extratores - P e K: Mehlich 1. Ca e Mg: KCl 1 mol L⁻¹.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com quatro repetições e 10 mudas por parcela. Os tratamentos consistiram na aplicação de nove materiais orgânicos para condicionamento dos substratos: esterco de galinha puro curtido (controle); misturas incubadas produzidos à partir quatro granulometrias de fino de carvão (4-2, 2-1, 1-0,29 2 <0,29 mm) e esterco de galinha; e quatro granulometrias de fino de carvão puro.

As irrigações por nebulização foram realizadas através de sistema automatizado, de acordo com as condições climáticas. As mudas receberam duas adubações de cobertura com ureia a 0,5% em água, após a brotação das estacas (PREZOTTI et al., 2007). As plantas invasoras foram controladas manualmente e o controle fitossanitário realizado de acordo com a recomendação para a cultura.

As características de crescimento foram avaliadas aos 160 dias após o plantio das estacas, determinando-se: a) altura (região do coleto até a gema apical) e diâmetro do coleto, expressos em cm e mm, respectivamente, e medidos com paquímetro digital; b) matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSRA) e matéria seca total (MST), obtida pela soma de MSPA e MSRA, expressas em gramas, utilizando-se estufa de circulação forçada a 65°C até massa constante. A qualidade das mudas foi determinada observando-se: a) relação entre altura da planta e diâmetro do coleto (H/D); b) relação da matéria seca de raízes/parte aérea (RA/PA), obtida da relação entre MSRA e MSPA. Determinou-se, ainda, a porcentagem de brotação das estacas (%), pela contagem das estacas que brotaram em relação à quantidade total de estacas plantadas em cada tratamento.

Foram realizadas nos substratos iniciais, análises dos teores de P, K, Ca e Mg disponíveis; pH em água; umidade na capacidade de campo (CC) (-10 kpa) e ponto de murcha permanente (PMP) (-1500 kpa), água disponível (CC - PMP) (EMBRAPA, 1997) e teores de C e N totais por meio do analisador elementar. Nos substratos ao final do experimento procedeu-se às análises de CC, PMP, AD, pH em água e C e N totais. A parte aérea seca foi triturada em moinho tipo Wiley para a determinação dos teores de N, P e K (MALAVOLTA et al., 1997).

Os dados de características do substrato, parâmetros biométricos das mudas e acúmulo de nutrientes foram submetidos à análise de variância e o agrupamento das médias foi feita pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade e processados no software Assistat 7.7 Beta (SILVA, 2016).

3. RESULTADOS

Decorridos os 160 dias de produção das mudas de café conilon por estacas clonais, observou-se respostas diferenciadas dos substratos à aplicação dos materiais orgânicos (Tabela 3). Os menores teores de C foram encontrados nos tratamentos com esterco puro, 4-2EST e 2-1EST e no tratamento com fino de carvão de 4-2 mm. O maior teor de N foi verificado no substrato que recebeu esterco puro. Os substratos com adição de fino de carvão puro foram os que apresentaram os menores teores de N. A relação C/N em 4-2 mm, 2-1 mm, 1-0,29 mm e <0,29 mm foi maior do que nos substratos que continham carvão e esterco.

Tabela 3. Teores de C e N totais, relação C/N, pH em água e retenção de água no substrato utilizado para a produção das mudas clonais de café conilon ao final do experimento (160 dias)

Tratamento ¹	C --g kg ⁻¹ --	N	C/N	pH	² CC ----- kg kg ⁻¹	³ PMP ----- kg kg ⁻¹	⁴ AD -----
Esterco	22,9 b	1,8 a	12 d	7,71 f	0,22 d	0,16 c	0,06 d
4-2EST	30,2 b	1,3 c	23 c	7,91 e	0,23 d	0,18 a	0,05 d
2-1EST	29,1 b	1,2 c	24 c	7,86 e	0,22 d	0,17 b	0,06 d
1-0,29EST	33,5 a	1,2 c	26 c	7,95 d	0,25 c	0,17 b	0,07 c
<0,29EST	40,4 a	1,6 b	25 c	8,05 c	0,25 c	0,18 a	0,07 c
4-2mm	28,9 b	0,7 d	39 a	8,05 c	0,31 a	0,18 a	0,13 a
2-1mm	35,9 a	0,9 d	40 a	8,08 c	0,28 b	0,17 b	0,11 b
1-0,29mm	38,7 a	0,9 d	40 a	8,26 b	0,28 b	0,17 b	0,11 b
<0,29mm	33,4 a	0,9 d	36 b	8,50 a	0,31 a	0,18 a	0,13 a

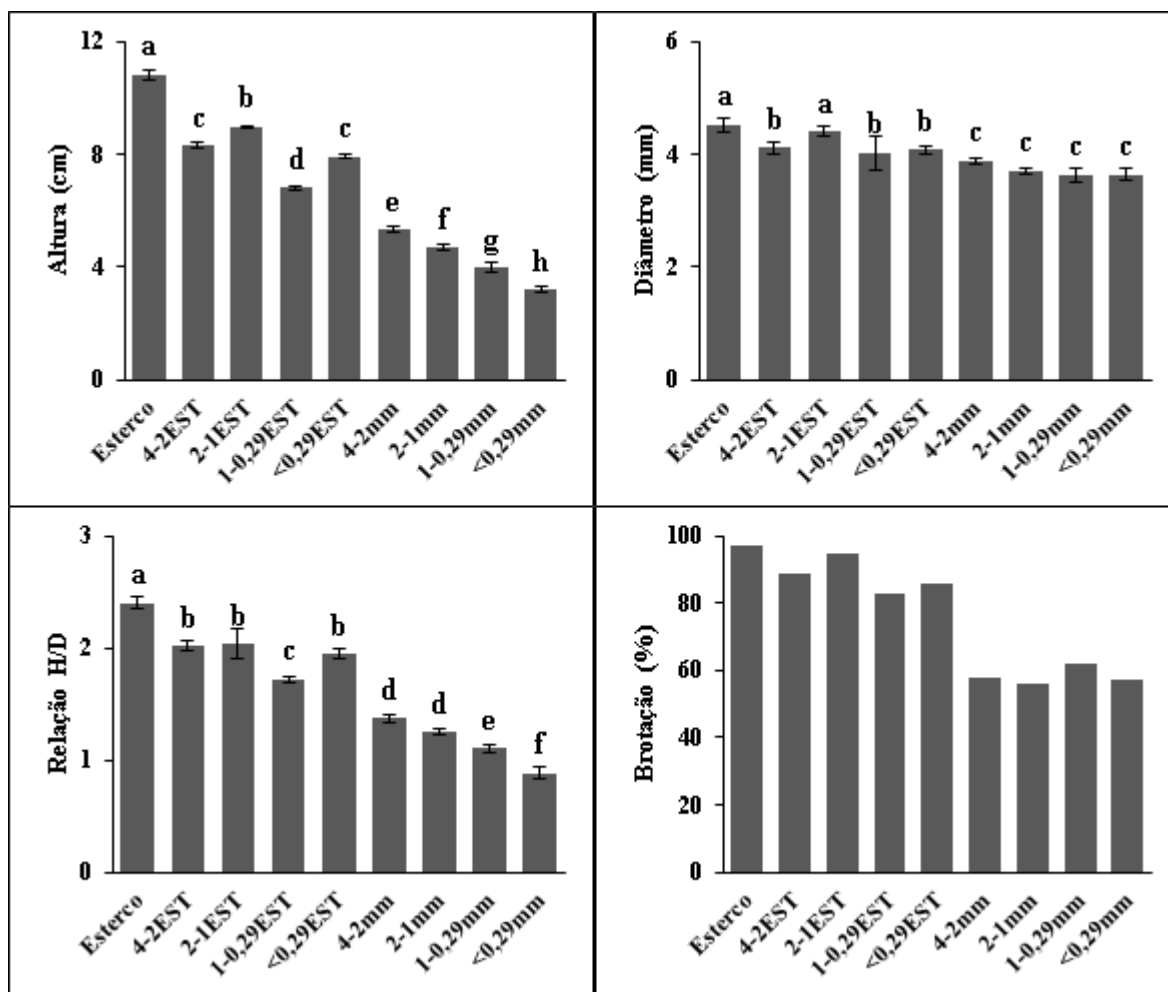
¹4-2EST: mistura (1:1 em volume) de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 4-2 mm; 2-1EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 2-1 mm; 1-0,29EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 1-0,29 mm; <0,29EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica <0,29 mm; e <0,29, 1-0,29, 2-1 e 4-2 mm: finos de carvão puro de diferentes granulometrias. ²Capacidade de campo (-10Kpa). ³Ponto de murcha permanente (-1500Kpa). ⁴Água disponível (CC-PMP).

Os maiores valores de pH foram encontrados nos substratos que continham carvão puro, variando de 8,05 a 8,5, e foi maior quanto menor a granulometria do carvão. Nos substratos com carvão + esterco, os valores de pH variaram de 7,91 em 4-2EST a 8,05 em <0,29EST. O menor valor de pH dentre todos os tratamentos, foi encontrado no substrato com esterco puro (7,71).

A maior capacidade de campo (CC) e água disponível (AD) foi maior nos substratos que continham fino de carvão puro em comparação aos substratos de carvão + esterco. Destaca-se, dentre os substratos com carvão puro, os que receberam fino de carvão das granulometrias 4-2 mm e <0,29 mm. Nos substratos com carvão + esterco, observou-se maior CC e AD em <0,29EST e 1-0,29EST.

A adição de fino de carvão das granulometrias <0,29 mm e 4-2 mm (<0,29mm, 4-2mm, <0,29EST e 4-2EST) não somente aumenta o teor de água retida mais fracamente (CC, -10 kPa), como também aumenta o teor de água mais fortemente retida (PMP, -1500 kPa). Os substratos que receberam essas granulometrias de fino de carvão apresentaram o maior PMP, que foi de 0,18 kg kg⁻¹. O substrato que recebeu esterco puro apresentou o menor PMP (0,16 kg kg⁻¹).

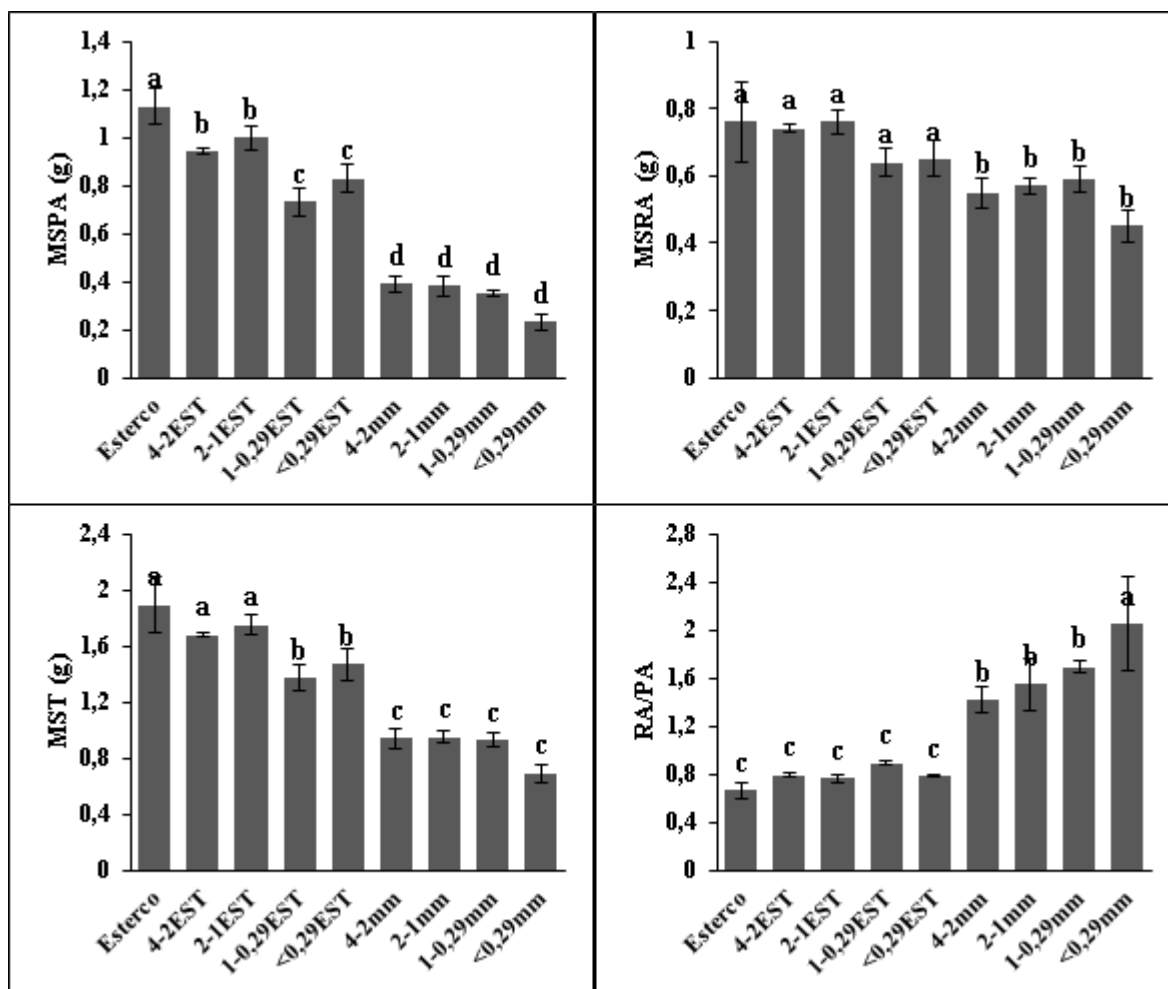
Analisando a Figura 1, observa-se maior diâmetro das mudas no tratamento com esterco puro, sem diferença estatística para o 2-1EST. Os menores diâmetros ocorreram nos tratamentos com fino de carvão puro. A adição de esterco puro no substrato promoveu a maior porcentagem de brotação das estacas, atingindo 97%, seguido por 2-1EST com 95% de brotação. A brotação nos tratamentos com fino de carvão puro variou de 56 a 62%. Verificaram-se maior altura das mudas no tratamento com esterco puro (10,83 cm), no outro extremo, encontra-se o tratamento <0,29 mm, com altura de 3,18 cm. A relação altura/diâmetro variou de 0,88 em <0,29 mm a 2,4 no substrato com esterco puro.



4-2EST: mistura (1:1 em volume) de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 4-2 mm; 2-1EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 2-1 mm; 1-0,29EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 1-0,29 mm; <0,29EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica <0,29 mm; e <0,29, 1-0,29, 2-1 e 4-2 mm: finos de carvão puro de diferentes granulometrias.

Figura 1. Efeito de materiais orgânicos adicionados ao substrato na altura, diâmetro, relação altura diâmetro (H/D) e porcentagem de brotação (%) das estacas de mudas clonais de café conilon

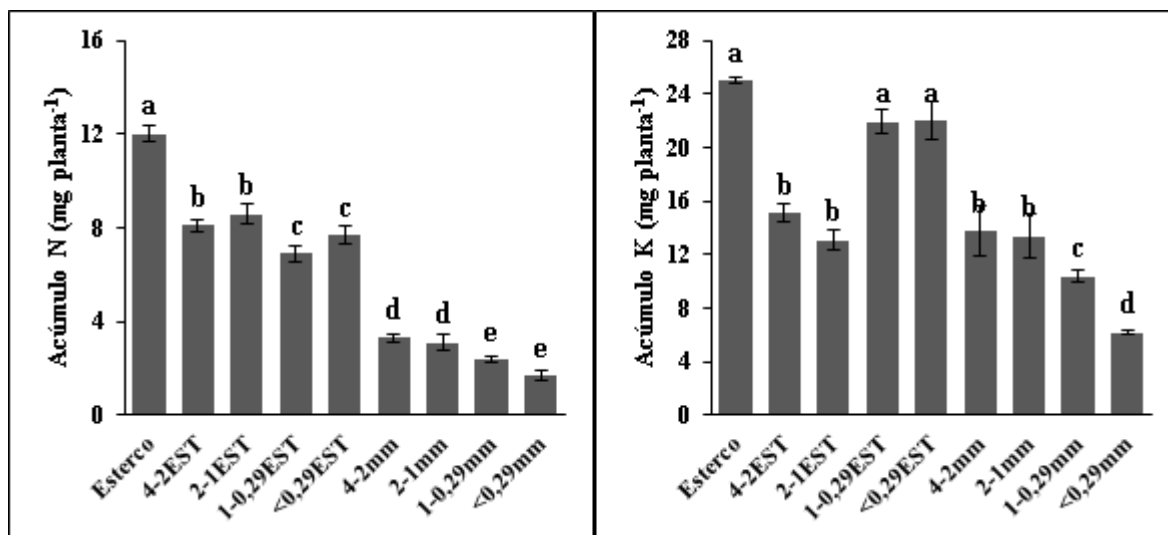
A produção de matéria seca de parte aérea (MSPA) foi maior no tratamento com esterco puro no substrato (Figura 2). Este tratamento não diferiu aos outros que receberam carvão + esterco quanto à produção de matéria seca de raiz (MSRA), e foi estatisticamente semelhante a 4-2EST e 2-1EST quanto à matéria seca total (MST). Os tratamentos com fino de carvão puro apresentaram os menores valores de MSPA, MSRA e MST, não diferindo entre si. O tratamento <0,29 mm apresentou o melhor desempenho com relação à RA/PA, com o valor de 2,05. O esterco puro proporcionou o menor valor de RA/PA.



4-2EST: mistura (1:1 em volume) de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 4-2 mm; 2-1EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 2-1 mm; 1-0,29EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 1-0,29 mm; <0,29EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica <0,29 mm; e <0,29, 1-0,29, 2-1 e 4-2 mm: finos de carvão puro de diferentes granulometrias.

Figura 2. Efeito de materiais orgânicos adicionados ao substrato na matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR), matéria seca total (MST) e relação da matéria seca da raiz/matéria seca da parte aérea (RA/PA) de mudas clonais de café conilon

A Figura 3 e a Tabela 4 apresentam os resultados dos nutrientes na parte aérea das mudas de café. Não houve diferença significativa de acúmulo de P entre os tratamentos (0,6 a 1,2 mg planta⁻¹). Houve maior acúmulo de N e K nas mudas produzidas no substrato com esterco puro, sendo que no caso do K não houve diferença significativa em relação a <0,29EST e 1-0,29EST. O K foi o nutriente acumulado em maior quantidade na parte aérea das mudas, seguido pelo N (Tabela 4).



4-2EST: mistura (1:1 em volume) de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 4-2 mm; 2-1EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 2-1 mm; 1-0,29EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 1-0,29 mm; <0,29EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica <0,29 mm; e <0,29, 1-0,29, 2-1 e 4-2 mm: finos de carvão puro de diferentes granulometrias.

Figura 3. Efeito de materiais orgânicos no acúmulo de N e K em mudas clonais de café conilon

Tabela 4. Efeito de materiais orgânicos nos teores de N, P e K na parte aérea de mudas clonais de café conilon

Tratamento ¹	Teor (g kg ⁻¹)		
	N	P	K
Esterco	10,5	1,5	21,9
4-2EST	8,7	1,2	16,1
2-1EST	9,0	1,1	13,8
1-0,29EST	9,3	1,3	29,2
<0,29EST	9,6	1,7	27,4
4-2 mm	8,9	1,9	36,5
2-1 mm	7,4	1,6	32,1
1-0,29 mm	6,9	1,5	29,7
<0,29 mm	8,1	1,4	31,0

¹4-2EST: mistura (1:1 em volume) de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 4-2 mm; 2-1EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 2-1 mm; 1-0,29EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica 1-0,29 mm; <0,29EST: mistura de esterco com fino de carvão da classe granulométrica <0,29 mm; e <0,29, 1-0,29, 2-1 e 4-2 mm: finos de carvão puro de diferentes granulometrias.

4. DISCUSSÃO

4.1. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICAS DOS SUBSTRATOS

Para explicar os teores de C e N encontrados nos substratos, deve-se considerar as seguintes premissas: as misturas foram preparadas a partir de uma relação 1:1 em volume de esterco de galinha e fino de carvão; o esterco de galinha apresentou maior densidade aparente (DA) do que os finos de carvão (Tabela 1);

quanto maior o tamanho da partícula de carvão, menor será a densidade aparente dos finos de carvão e, conseqüentemente, maior é a proporção em massa de esterco na mistura resultante; o esterco de galinha apresenta grande proporção de estruturas alifáticas facilmente degradáveis (XU; CHEN, 2013), por outro lado, o carvão (C pirogênico) possui estrutura aromática altamente condensada e resistente à degradação (BENITES et al., 2009).

Como o esterco é degradado mais rapidamente, os substratos que o receberam em maior quantidade (esterco, 4-2EST e 2-1EST) foram capazes de apresentar menor teor de C. Já o substrato que recebeu fino de carvão puro de 4-2 mm, apesar de ter somente carbono pirogênico, a quantidade em massa adicionada foi pequena em relação aos demais tratamentos, devido à baixa densidade do material e pelo fato de que a proporção de mistura no substrato ter sido feita com base no volume. Assim, os substratos que receberam mais C pirogênico, foram os que apresentaram maiores teores de C.

O maior teor de N foi verificado no substrato que recebeu esterco puro, o que pode ser atribuído ao acúmulo de amônio e nitrato após a mineralização da matéria orgânica do esterco. Deve-se considerar, ainda, que esse substrato foi o que recebeu a maior quantidade de N proveniente de material orgânico. Como os materiais foram aplicados com base em volume, o esterco puro, que tem maior densidade, foi adicionado em maior massa no substrato. O C do esterco se decompôs mais intensamente, promovendo a menor relação C/N no tratamento com esterco puro, seguido pelos substratos com carvão + esterco.

O pH dos substratos correspondeu aos valores de pH encontrados nos materiais orgânicos aplicados nesses substratos e à quantidade em massa aplicada. Apesar do esterco de galinha conter elevado teor de Ca (210 g kg^{-1}), sendo parte proveniente de carbonato de cálcio (TAMIR et al., 2013), o menor valor de pH foi encontrado no tratamento com esse material. Como esse é um material orgânico mais facilmente degradável, o amônio mineralizado passa pela nitrificação, gerando prótons H^+ . Isso explica os menores valores de pH nos demais substratos que contêm esterco, em comparação com os substratos sem esterco.

A persistência do C pirogênico nos substratos que receberam carvão puro permitiu que a matéria orgânica mantivesse maior capacidade de reter água disponível nesses substratos em detrimento dos substratos que continham carvão + esterco. Mesmo tendo recebido uma massa menor de matéria orgânica, o substrato

que continha fino de carvão puro da granulometria 4-2 mm apresentou a maior retenção de água, pois essas partículas de maior tamanho possuem elevada porosidade interna com tamanho adequado para reter água (EYKELBOSH et al., 2014; LEI; ZHANG, 2013). Por outro lado, a maior superfície específica das partículas <0,29 mm associado à maior quantidade de material orgânico aplicado no substrato, promoveu maior adsorção de água nesse tratamento, não diferindo de 4-2 mm. Nos substratos com carvão + esterco, ocorreu maior CC e AD justamente nos tratamentos com maior massa de carvão adicionada (<0,29EST e 1-0,29EST), pois foi onde houve maior persistência da matéria orgânica.

Biocarvões podem possuir maior frequência de poros com tamanho adequado, que permitem maior retenção de água e posterior liberação a potenciais matriciais que coincidem com a água disponível para as plantas (EYKELBOSH et al., 2014). Comprovando essa hipótese, a aplicação de biocarvão de carvalho em solo arenoso provocou elevação de AD de 12% no controle para 16% na taxa de 6% (base em massa) (BASSO et al., 2013). Peake et al. (2014) reportaram aumento de AD em oito solos estudados com a taxa de 2,5% (base em massa) de biocarvão de pinus, variando de 0,3% a 48,4% de aumento e média de 22,4%.

4.2. PARÂMETROS DE CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DAS MUDAS DE CAFÉ CONILON

A produção de matéria seca é o parâmetro mais significativo na mensuração das alterações do crescimento vegetal, uma vez que resulta da associação de vários outros componentes (SOARES et al., 2011). Os substratos impuseram restrições químicas ao crescimento das mudas, verificado pelos altos valores de pH (Tabela 3) e baixa absorção de N pelas mudas (Figura 3) em comparação a outros trabalhos (COVRE et al., 2013; MENONCIN et al., 2014). Apesar do substrato com esterco puro apresentar pH na faixa alcalina (7,71), foi o menor valor de pH dentre todos os substratos e onde houve maior aporte de N com potencial de se tornar disponível para as plantas.

Outros parâmetros devem ser analisados em conjunto com o objetivo de se produzirem mudas com desempenho satisfatório após o plantio no campo. Mudas com diâmetros maiores terão à sua disposição uma quantidade superior de reservas (carboidratos) para ser metabolizado na fase de pós-plantio no campo, tendo

maiores condições de sobrevivência, diminuindo a necessidade de replantio (TAVARES JÚNIOR, 2004). Uma elevada porcentagem de brotação das estacas diminui o desperdício de mão-de-obra, tempo e recursos na produção das mudas, uma vez que haverá maior segurança de que as estacas que foram introduzidas no substrato se tornarão mudas.

A relação altura/diâmetro (H/D) indica a qualidade das mudas que serão levadas ao campo, uma vez que se espera equilíbrio no desenvolvimento (CAMPOS; UCHIDA, 2002). Os valores considerados adequados para as mudas de café são de 3,5 a 4 (MARANA et al., 2008). Valores maiores indicam crescimento excessivo em altura, aumentando risco de tombamento e baixo vingamento, e valores menores indicam baixo crescimento. Em experimento comparando crescimento de mudas de café conilon produzidas em diferentes recipientes e níveis de sombreamento, Dardengo et al. (2013) encontraram um valor médio de H/D de 3,86. Verificou-se no presente experimento que mesmo o maior valor de relação H/D, encontrado no tratamento EP (2,4), não se encaixou na faixa adequada, indicando assim um baixo crescimento das mudas.

Maior proporção de raízes em relação à parte aérea promove melhor adaptação das mudas a ambientes com menor disponibilidade hídrica. Pinheiro et al., (2005) verificaram que clones de *Coffea canephora* com maior resistência à deficiência hídrica apresentaram relação raiz/parte aérea (RA/PA) maiores do que os clones menos resistentes. Se fosse analisar essa característica em separado, verifica-se que o tratamento <0,29 mm apresentou melhor desempenho, com o valor de 2,05. No entanto, foi justamente este o tratamento com menor desempenho para todos os outros parâmetros avaliados.

O principal fator limitante para o crescimento das mudas foi a disponibilidade de nitrogênio. O esterco de galinha é fonte de N mais disponível do que o carvão, uma vez que este nutriente compõe estruturas aromáticas dos materiais carbonizados. Sendo assim, os tratamentos que receberam esterco no substrato promoveram maior crescimento das mudas. Quanto maior o teor de nitrogênio solúvel em água (NSA) dos materiais orgânicos (Tabela 1) maior foi o crescimento das mudas e absorção de N (Figuras 1, 2 e 3). O NSA inclui o N orgânico dissolvido e o N inorgânico dissolvido (NH_4^+ , NO_3^- , e NO_2^-) (KIM et al., 2014) que são formas mais reativas de N no solo e, portanto mais disponíveis para as plantas.

Os tratamentos com fino de carvão puro no substrato, mesmo com a adubação nitrogenada de cobertura com ureia, promoveram o menor crescimento das mudas devido: à baixa disponibilidade de nitrogênio dos materiais carbonizados; e à elevação excessiva do pH do substrato a valores acima de 8, predispondo à limitação do crescimento pela deficiência de micronutrientes e volatilização de amônia. Houve maior aporte de massa de fino de carvão à medida que diminuiu-se a granulometria do material, acarretando maior elevação do pH do substrato.

Mesmo com pH alto (9,4) do carvão, Souchie et al. (2011) observaram que a altura, diâmetro, produção de matéria seca e manutenção das folhas de mudas de carvoeiro (*Tachigali vulgaris* L.G. Silva & H.C. Lima) aumentaram proporcionalmente com as concentrações de carvão de eucalipto de 0 a 50% no substrato, que recebeu adubação química de base com NPK. Os autores atribuíram os resultados ao aumento dos teores de nutrientes disponíveis (P, K, Ca e Mg) com a adição de carvão no substrato, e à maior retenção dos nutrientes provenientes da adubação química e do carvão devido ao aumento da CTC do substrato pelo carvão. No entanto, Lima et al. (2015) não verificaram maior crescimento das mudas de *Magonia pubescens* St. Hil. com a elevação da dose de carvão de madeiras do cerrado quando aplicado sozinho, sem o esterco bovino. Como o carvão utilizado por esses autores era pobre em nutrientes e não foi feita adubação química de base, o carvão somente teve efeito no crescimento quando associado com esterco bovino, que forneceu todos os nutrientes.

Em experimento que se avaliaram diferentes materiais orgânicos adicionados em substrato, Falco (1999) observou o menor crescimento de mudas de café nos tratamentos sob doses de fino de carvão, quando comparado com torta de mamona, vermicomposto, esterco de curral, esterco de galinha e composto orgânico, mesmo com adubação nitrogenada de cobertura das mudas. Mais uma vez, no tratamento com carvão no substrato houve menor disponibilidade de nitrogênio e, possivelmente, alcalinidade excessiva do substrato, pois o carvão possuía pH 9,4 e foi aplicado nas taxas de 10, 20 e 30% no substrato.

Os trabalhos apontam que o ajuste de doses de carvões no substrato não é suficiente para promover crescimento adequado de mudas. Faz-se necessário, portanto, o ajuste das doses de nitrogênio na adubação do substrato e/ou na adubação de cobertura das mudas, além da complementação com os outros nutrientes, dependendo da riqueza mineral dos carvões.

O maior acúmulo de K no substrato com esterco puro, 1-0,29EST e <0,29EST relacionou-se com a quantidade do nutriente aportado nesses tratamentos (teor x massa aplicada). Nota-se que 1-0,29EST e <0,29EST mesmo com suprimento de P e K similar ao esterco, apresentaram crescimento menor, podendo ser atribuído à menor absorção de N. Apesar do teor maior de N nos materiais em detrimento do K, este se acumulou em quantidade maior que o N devido à sua disponibilidade nos materiais orgânicos ser maior. O K não compõe moléculas orgânicas, diferentemente do N que precisa ser mineralizado para tornar-se disponível.

Os teores de nutrientes da parte aérea das mudas no presente trabalho foram inferiores aos encontrados em mudas de *Coffea canephora* BRS Ouro Preto com 130 dias de crescimento, sob diferentes níveis de sombreamento por Menoncin et al. (2015), que variaram de 16,27 a 21,4 g kg⁻¹ para o N, 1,04 a 1,21 g kg⁻¹ para o P e 31,04 a 36,22 g kg⁻¹ para o K. Também obteve-se aqui menor acúmulo de nutrientes na matéria seca, quando comparado com as mudas dos 13 clones do cultivar 'Vitória Incaper 8142' cultivadas por 210 dias por Covre et al. (2013), que atingiram valores de 49,44 a 88,28 mg planta⁻¹ de N, 2,49 a 8,97 mg planta⁻¹ de P e 35,01 a 100,05 mg planta⁻¹ de K.

5. CONCLUSÕES

- Os materiais orgânicos modificaram as características químicas e físicas dos substratos e afetaram o crescimento das mudas de café conilon;
- A aplicação de esterco de galinha puro curtido nos substratos foi o tratamento que promoveu maior crescimento e absorção de nutrientes pelas mudas;
- Finos de carvão aplicados no substrato sem a adição de esterco prejudicaram a nutrição e o crescimento das mudas de café conilon.
- A viabilidade de aplicação de finos de carvão em substratos depende de complementação com N proveniente de outros materiais orgânicos e emprego de curvas de calibração para a dose de N via adubação de cobertura das mudas e calibração do pH do substrato.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, E.R.; MOREIRA, R.; SCHMIDT, R.; DUBBERSTEIN, D.; DIAS, J.R.M.; MAIA, E.F. Desenvolvimento vegetativo de mudas de *Coffea canephora* submetidas a diferentes substratos. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2013, Salvador. **Anais...**Brasília: Embrapa Café, 2013, n.p.

BENITES, V.M.; TEIXEIRA, W.G.; REZENDE, M.E.; PIMENTA, A.S. Utilização de carvão e subprodutos da carbonização vegetal na agricultura: aprendendo com as Terras Pretas de Índio. In: TEIXEIRA, W.G.; KERN, D.C.; MADARI, B.E.; LIMA, H.N.; WOODS, W.I. (eds.). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia**: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p.285-296.

BASSO, A. S. et al. Assessing potential of biochar for increasing water-holding capacity of sandy soils. **GCB Bioenergy**, v. 5, n. 2, p. 132–143, 2013.

CAMPOS, M. A. A.; UCHIDA, T. Influência do sombreamento no crescimento de mudas de três espécies amazônicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 3, p. 281–288, 2002.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **0204 - Série Histórica de Área Plantada, Produtividade e Produção - Café**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1534&t=2>>. Acesso em: mai 2016.

COVRE, A. M. et al. Crescimento e desenvolvimento inicial de genótipos de café Conilon. **REVISTA AGRO@MBIENTE ON-LINE**, v. 7, n. 2, p. 193, 4 set. 2013.

DARDENGO, M. C. J. D. et al. Crescimento e qualidade de mudas de café conilon produzidas em diferentes recipientes e níveis de sombreamento. **Coffee Science**, v. 8, n. 4, p. 500–509, 2013.

DAS, D. D. et al. Chemical composition of acid-base fractions separated from biooil derived by fast pyrolysis of chicken manure. **Bioresource technology**, v. 100, n. 24, p. 6524–32, dez. 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

ENDERS, A. et al. Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. **Bioresource technology**, v. 114, p. 644–53, jun. 2012.

EYKELBOSH, A. J. et al. Biochar from sugarcane filtercake reduces soil CO₂ emissions relative to raw residue and improves water retention and nutrient availability in a highly-weathered tropical soil. **PLoS ONE**, v. 9, n. 6, 2014.

FALCO, L. **Fontes e doses de matéria orgânica na produção de mudas e na implantação de lavouras cafeeiras**. 1999. 67p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

FREITAS, A.F. et al. Carvão vegetal em mudas para a produção de *Dipteryx odorata*. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 9, n. 3, p. 31-40, 2014.

GOMES, J. M. et al. Parâmetros morfológicos na avaliação de qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 655–664, nov. 2002.

INCAPER. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Renova Sul Conilon** - Programa de renovação e revigoração do café conilon na região Sul do Estado do Espírito Santo. Disponível em: <<http://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/77/1/DOC210.pdf>>. Acesso em: mai 2016.

KIM, Y. et al. Dissolved organic carbon and total dissolved nitrogen production by boreal soils and litter: The role of flooding, oxygen concentration, and temperature. **Biogeochemistry**, v. 118, n. 1-3, p. 35–48, 2014.

LEE, J. W. et al. Characterization of biochars produced from cornstovers for soil amendment. **Environmental science & technology**, v. 44, n. 20, p. 7970–4, 15 out. 2010.

LEI, O.; ZHANG, R. Effects of biochars derived from different feedstocks and pyrolysis temperatures on soil physical and hydraulic properties. **Journal of Soils and Sediments**, v. 13, n. 9, p. 1561–1572, 2013.

LIANG, B. et al. Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n. 5, p. 1719–1730, 1 set. 2006.

LIMA, S. . et al. Interactions of biochar and organic compound for seedlings production of *Magonia pubescens* St. Hil. **Revista Árvore**, p. 655–661, 2015.

MAKOTO, K. et al. The growth of *Larix gmelinii* seedlings as affected by charcoal produced at two different temperatures. **Biology and Fertility of Soils**, v. 47, n. 4, p. 467–472, 2011.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MAO, J.-D. et al. Abundant and stable char residues in soils: implications for soil fertility and carbon sequestration. **Environmental science & technology**, v. 46, n. 17, p. 9571–9576, 4 set. 2012.

MARANA, J. P. et al. Índices de qualidade e crescimento de mudas de café produzidas em tubetes. **Ciência Rural**, v. 38, n. 1, p. 39–45, fev. 2008.

MENDONÇA, V. et al. Diferentes substratos e recipientes na formação de mudas de mamoeiro “sunrise solo”. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 1, p. 127–130, 2003.

MENONCIN, G. et al. **Teores de nutrientes em mudas clonais de Coffea**

canephora BRS Ouro Preto em diferentes volumes de tubetes. In: REUNIÃO DE CIÊNCIA DO SOLO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL, 2., 2014, Porto Velho. Anais... Porto Velho: SBCS, 2014., 2014Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1015585>>. Acesso em: 14 mar. 2016

OLIVEIRA, R. B. DE et al. Produção de mudas de essências florestais em diferentes substratos e acompanhamento do desenvolvimento em campo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 1, p. 122–128, 2008.

PEAKE, L. R.; REID, B. J.; TANG, X. Quantifying the influence of biochar on the physical and hydrological properties of dissimilar soils. **Geoderma**, v. 235-236, p. 182–190, 2014.

PINHEIRO, H. A. et al. Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. **Annals of Botany**, v. 96, n. 1, p. 101–108, 2005.

PRAKONGKEP, N.; GILKES, R. J.; WIRIYAKITNATEEKUL, W. Forms and solubility of plant nutrient elements in tropical plant waste biochars. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 178, n. 5, p. 732–740, 20 out. 2015.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo – 5ª aproximação.** Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.

SILVA, E. A. DA et al. Effect of Different Substrates on the Production of *Ganoderma lucidum* (Curt.:Fr.) Karst. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 3, p. 925–929, 2009.

SILVA, F.A.S. **Sistema de Assistência Estatística - ASSISTAT versão 7.7 beta.** Departamento de Engenharia Agrícola (DEAG) do CTRN da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande - PB, 2016. Disponível em : <http://www.assistat.com/> . Acesso em: 09 mar. 2016.

SOARES, L. A. DOS A. et al. Crescimento Do Tomateiro E Qualidade Física Dos Frutos Sob Estresse Hídrico Em Ambiente Protegido. **Revista Verde**, v. 6, n. 3, p. 203–212, 2011.

SOUCHIE, F. F. et al. Carvão pirogênico como condicionante para substrato de mudas de *Tachigali vulgaris* L.G. Silva & H.C. Lima. **Ciencia Florestal**, v. 21, n. 4, p. 811–821, 2011.

STEFFEN, G. P. K. et al. Cáscara de arroz y estiércol bovino como sustratos para la multiplicación de lombrices de tierra y la producción de plántulas de tomate y lechuga. **Acta zoológica mexicana**, v. 26, n. SPE.2, p. 333–343, 2010.

TAMIR, G. et al. Organic N mineralization and transformations in soils treated with animal waste in relation to carbonate dissolution and precipitation. **Geoderma**, v. 209-210, p. 50–56, 2013.

VALLONE, H. S. et al. Replacement of the commercial substrate by carbonized rice husk in the coffee tree seedlings production in tubes in the presence of hydroretentive polymer. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 28, n. 3, p. 593–599, 2004.

XU, Y.; CHEN, B. Investigation of thermodynamic parameters in the pyrolysis conversion of biomass and manure to biochars using thermogravimetric analysis. **Bioresource Technology**, v. 146, p. 485–493, 2013.

ZANETTI, M. et al. Uso de subprodutos de carvão vegetal na formação do porta-enxerto limoeiro “Cravo” em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 3, p. 508–512, dez. 2003.

ZHANG, A. et al. Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from Central China Plain. **Plant and Soil**, v. 351, n. 1-2, p. 263–275, 2012.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Se a massa que contribui para as cinzas dos finos de carvão fossem apenas resíduos de óxidos minerais obtidos com a combustão completa de parte da biomassa, haveria maior valor como fertilizante e como condicionador de solos para esses finos. A fim de melhorar esse aproveitamento, poderia ser separada a fração < 4 mm para uso como fertilizante, e > 4 mm para melhorar as características físicas do solo, como diminuição da densidade. Outra alternativa é a pavimentação dos pisos dos fornos com o intuito de diminuir a contaminação dos finos com solo durante a retirada do carvão, ou ainda, utilizar os finos de carvão como ingrediente na composição de substratos para produção de mudas.

Devido às características das misturas produzidos neste experimento, pode-se utilizá-los no solo para diminuir a densidade e resistência do solo à penetração pelas raízes, aumentar a capacidade de retenção de água e nutrientes, corrigir o pH do solo e fornecer P e Ca, principalmente. Entretanto, cuidados devem ser tomados para não haver desbalanço nutricional, uma vez que o teor de Ca e a relação Ca/Mg (13 a 34:1) são muito altos.

Como as misturas aplicadas no solo para o cultivo de milho fizeram diminuir a produção, novos estudos deverão avaliar outras formas de aplicação dos materiais, associado à melhoria da disponibilidade de N desses compostos e de modo a aumentar a retenção de água disponível para as plantas.

Pesquisas futuras devem avaliar doses de diferentes carvões no substrato, levando em consideração suas características químicas. A aplicação de carvões nos

substratos deve vir acompanhada de complementação com outras fontes de adubação, principalmente nitrogenada, proveniente de outros adubos orgânicos e/ou químicos, na mistura dos substratos ou em cobertura. Os carvões não devem provocar aumento excessivo de pH no substrato. Para tanto, pode-se realizar a lavagem dos carvões para remover as cinzas ou empregar aditivos químicos que acidifiquem o substrato, como o enxofre elementar, que além disso é fonte de nutriente (S). Quando utilizado fino de carvão nos substratos, o uso de calcário deve ser revisto, pois o calcário acentua a elevação do pH.