

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA - INPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA NO
TRÓPICO ÚMIDO- PPG ATU

BIOCARVÃO DE BAMBU E FONTES DE FÓSFORO AFETANDO A
DISPONIBILIDADE DE P E O CRESCIMENTO DE FEIJÃO CAUPI E MILHO EM
LATOSSOLO AMARELO DISTRÓFICO DA AMAZÔNIA

Danielle Monteiro de Oliveira

Manaus, Amazonas
Julho, 2012

DANIELLE MONTEIRO DE OLIVEIRA

**BIOCARVÃO DE BAMBU E FONTES DE FÓSFORO AFETANDO A
DISPONIBILIDADE DE P E O CRESCIMENTO DE FEIJÃO CAUPI E MILHO
EM LATOSSOLO AMARELO DISTRÓFICO DA AMAZÔNIA.**

Orientador: NEWTON PAULO DE SOUZA FALCÃO

Co-orientador: José Lavres Júnior

Dissertação apresentada ao
Instituto nacional de Pesquisas
da Amazônia, com parte dos
requisitos para obtenção do
título de Mestre em Ciências
Agrárias.

Manaus, Amazonas
Julho, 2012

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela força, saúde e equilíbrio;

Ao INPA/GTPN- Grupo Terra Preta Nova-, pelo apoio incondicional;

PROCAD 143/2007, coordenado nacionalmente pela Dra. Siu Mui Tsai (CENA/USP) e regionalmente pelo Dr. Charles Clement (INPA/COTI), pela oportunidade de adquirir conhecimentos na ESALQ e no CENA realizando disciplinas que me enriqueceram intelectualmente;

PROJETO BAMBU- coordenado pela Dra. Siu Mui Tsai (CENA/USP);

FAPEAM- Fundação de Amparo à pesquisa no Estado do Amazonas, pela bolsa concedida;

Ao orientador Dr. Newton Falcão, pela paciência, amizade e disponibilidade em repassar conhecimentos;

Ao Co-orientador Dr. José Lavres Júnior, por me receber no CENA e dispensar-me o auxílio necessário;

Ao Dr. Charles Clement, pela ajuda na elaboração do artigo, através de sua ampla e minuciosa visão;

À minha família, especialmente à minha mãe Maria de Lourdes e meu pai José Lourdes de Oliveira (*in memoriam*);

Ao meu amigo Edinaldo Lopes por toda ajuda a mim dispensada no começo desta realização;

Aos técnicos e eternos amigos Sandoval Moraes e Mozanei Porfírio pelo carinho, paciência e dedicação;

Aos técnicos do LTSP Orlando, Edivaldo e Raimundo Nonato;

Aos amigos Thiago Prado, Jonas Moraes, Erison Gomes, Raimundo Filho, Francisco (Chicão) e Idelfonso (Negão) e Nelson (CPPF).

RESUMO

A utilização de biocarvão tem sido motivada com base nas pesquisas desenvolvidas com o carvão das terras pretas de índio, mostrando que esse biocarvão é importante na estabilidade da matéria orgânica e na melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Os altos teores de óxido de ferro, alumínio e minerais de argilas de baixa atividade são os principais fatores responsáveis pela alta fixação do fósforo em solos tropicais. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do biocarvão de bambu, produzido sob diferentes temperaturas de carbonização (400°, 500° e 600° C), na disponibilidade do fósforo proveniente de diferentes fontes fosfatadas (fosfato natural de ARAD, superfosfato simples e superfosfato triplo) em Latossolo Amarelo distrófico típico da Amazônia Central. Para isto, foi instalado um experimento em casa de vegetação, em dois cultivos alternados de feijão caupi (*Vigna unguiculata*) e milho (*Zea mays*), em delineamento inteiramente casualizado, num esquema fatorial 3 x 3, sendo três temperaturas de carbonização do biocarvão e três fontes de fósforo: As fontes de fosfato foram aplicadas o equivalente a 100 kg de P₂O₅ por ha⁻¹. O biocarvão foi aplicado o equivalente a 40 t ha⁻¹. Uma adubação complementar foi realizada no início de cada cultivo nas seguintes doses: 45 kg de N ha⁻¹ (Uréia), 72 kg de K₂O ha⁻¹ (Cloreto de potássio). O feijão foi colhido no início da floração e o milho com 45 dias após a germinação. As seguintes variáveis foram mensuradas: disponibilidade de nutrientes no solo, nutriente acumulado e peso da matéria seca da parte aérea (MSPA) em cada cultivo. Os resultados mostraram que no primeiro cultivo de feijão caupi o maior incremento da MSPA foi obtida no tratamento BIO500FN (6,9 g), com aumento de aproximadamente 360%, seguido do BIO400FN (6,8 g), com incremento de 300%, em relação ao controle (1,9 g). Os tratamentos que receberam biocarvão à 400°C os valores de P no solo aumentaram em função da fonte (FN;12,60 > SFS;11,20 > SFT;10,80 mg dm⁻³), ocorrendo o contrário com os tratamentos que receberam biocarvão à 500°C (FN; 10,40 < SFS; 11,60 < SFT;14,20 mg dm⁻³) e nos tratamentos com biocarvão 600°C não houve variação. Para todos os cultivos os tratamentos que receberam biocarvão à 500° C os valores de K trocável no solo variaram entre 5,2 e 8,5 mg dm⁻³, para os demais tratamentos o K no solo ficou abaixo de 5,2 mg dm⁻³. Os tratamentos que receberam superfosfato simples apresentaram altos teores de enxofre no solo, maior que 31,0 mg dm⁻³, independente da temperatura de carbonização do bambu. No segundo cultivo de feijão caupi a MSPA do tratamento BIO600SFT (5,9 g) foi semelhante a MSPA do BIO400FN (5,7 g) e 19% maior que o valor do controle (5,1 g). Os teores de P nos solos dos tratamentos BIO400FN (14,8 mg dm⁻³) e BIO500SFT (15,0 mg dm⁻³) apresentaram valores semelhantes. Embora a MSPA dos dois cultivos de milho não tenha apresentado efeito dos tratamentos, os maiores crescimentos ocorreram nos tratamentos que receberam FN, independente da temperatura de carbonização, o mesmo acontecendo para os teores de P disponíveis no solo que apresentaram altos teores e semelhantes aos valores encontrados para as outras fontes mais solúveis. Nos tratamentos que receberam biocarvão à 500° C os valores de K trocável foram os mais altos, variando de 5,20 – 8,50 mg dm⁻³. As diferentes fontes fosfatadas responderam semelhantemente na

disponibilidade de P e no crescimento do feijão na presença do biocarvão. Os maiores teores de K foram observados nos tratamentos que receberam o biocarvão à 500C.

Palavras chave: Fertilidade do solo, carbono pirogênico, adubação fosfatada, *Vigna unguiculata* L. Walp, *Zea mays*.

Abstract

The use of biochar has been motivated by research carried out with black carbon from Amazonian Dark Earths, showing that black carbon (biochar) is important in the stability of organic matter and for improving the physical, chemical and biological properties of the soil. The large amounts of iron oxide, aluminum and clay minerals with low activity are the main factors responsible for the high fixation of phosphorus in tropical soils. The objective of this study was to evaluate the effect of biochar from bamboo, produced under different carbonization temperatures (400°, 500° and 600° C), on the availability of phosphorus from different common sources (natural phosphate of ARAD (NP), simple superphosphate (SSP) and triple superphosphate (TSP)) in a Yellow Oxisol of Central Amazonia. An experiment was conducted in a greenhouse with two alternating crops of cowpea (*Vigna unguiculata*) and maize (*Zea mays*) in a completely randomized design in a 3x3 factorial, with three carbonization temperatures of biochar and three phosphorus sources: the sources of phosphate were applied to be equivalent to 100 kg of P₂O₅ per ha⁻¹. The biochar was applied to be equivalent to 40 t ha⁻¹. Complementary fertilization was carried out at the beginning of each crop in the following doses: 45 kg N ha⁻¹ (urea), 72 kg K₂O ha⁻¹ (potassium chloride). The beans were harvested at the beginning of flowering and the maize 45 days after germination. The following variables were measured: availability of soil nutrients, nutrient accumulation and total shoot dry matter in each crop. The results showed that the first crop of cowpea had the highest increment of total shoot dry matter (TSDM) obtained in the treatment 500oC biochar with ARAD (BIO500NP) (6.9 g), an increase of approximately 360% over the control (1.9 g), followed by BIO400FN (6.8 g) with an increase of 300%. In the treatments with biochar at 400° C, the concentrations of soil P increased according to the source (NP 12.60 > SSP 11.20 > TSP 10.80 mg dm⁻³), but the opposite occurred with the treatments receiving biochar at 500° C (NP 10.40 < SSP 11.60 < TSP 14.20 mg dm⁻³) and in treatments with biochar 600° C soil P was uniform. For all the treatments that received biochar at 500° C the values of exchangeable K in the soil ranged between 5.2 and 8.5 mg dm⁻³, considered high. The treatments with SSP showed high levels of sulfur in the soil, higher than 31.0 mg dm⁻³, regardless of the carbonization temperature. In the second crop of cowpea the TSDM of BIO600TSP (5.9 g) was similar to the BIO400NP (5.7 g) and 19% greater than the control (5.1 g). The phosphorus content in soils with BIO400FN (14.8 mg dm⁻³) and BIO500SFT (15.0 mg dm⁻³) were very similar. Although the TSDM of two maize crops showed no effect of treatments, the largest increases occurred with NP, regardless of the carbonization temperature; the same results were observed for the levels of available P in soil that

showed high levels and were similar to the other more soluble phosphate sources. In treatments with biochar at 500 ° C the values of exchangeable K were higher, ranging from 5.20 to 8.50 mg dm⁻³. The different phosphate sources showed similar responses on P availability and also on bean grown in the presence of biochar. The higher amounts of K was observed in the treatments that received the biochar at 500° C.

Key words: Soil fertility, black carbon, phosphate fertilizer, *Vigna unguiculata* L. Walp, *Zea mays*.

SUMÁRIO

Introdução geral.....	8
Objetivos.....	10
Capítulo I.....	11
Conclusões.....	29
Referências.....	29

INTRODUÇÃO GERAL

A baixa fertilidade dos solos de terra firme da região Amazônica tem sido mencionada como um dos maiores obstáculos ao desenvolvimento agrícola regional. Efetivamente os solos predominantes não somente na Amazônia como em todas as regiões de clima tropical úmido são o Latossolos e os Argissolos caracterizados pelos baixos teores de nutrientes, acidez elevada, alta saturação de alumínio, predominância de minerais de argila de baixa atividade, baixa capacidade de troca de cátions e grande quantidade de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (Sanchez et. al., 1982).

O esgotamento do solo em poucos anos, provocando uma queda de produção, aliado ao difícil controle das ervas daninhas, pragas e doenças, levaram os agricultores a praticarem o sistema de agricultura itinerante, o qual se baseia na prática de corte e queima da floresta primária, resultando na deposição de grande quantidade de cinzas e resíduos de carvão, melhorando a fertilidade do solo em curto prazo.

Estudos recentes mostraram que os altos teores de matéria orgânica estável em solos de terra preta de índio são, intimamente ligados à práticas de manejo com fogo e principalmente, devido a combustão incompleta de resíduos orgânicos (carbono pirogênico) (Glaser et al., 2001). Assume-se que o carbono pirogênico persiste nesses ambientes durante centenas de anos devido a sua estabilidade química causada pela estrutura aromática, tornando o composto assim resistente à degradação microbiana (Glaser et al., 2001). Esses mesmos autores concluíram que esse carbono pirogênico encontrado nesses solos antropogênicos não atuam somente como uma importante fonte de carbono mas também como um fator chave para manutenção da fertilidade desses solos.

Wood & Mccann (1999) relatam que altos teores de carbono pirogênico não contribuem primariamente para elevar o conteúdo de nutrientes que sempre foram encontrados nas terras pretas. Entretanto, esse carbono pirogênico desempenha papel importante na retenção dos nutrientes, reduzindo, portanto, a perda por lixiviação (Glaser et al., 2002; Lehmann et al., 2002; Sombroek et al., 2009). Considerando que a quantidade e qualidade do carvão vegetal são as maiores diferenças que existe entre a terra preta e os solos adjacentes, é de fundamental importância entender como essas variáveis atuaram na adsorção e disponibilidade de fósforo para as plantas, ou se simplesmente trata-se de um componente inerte. Questiona-se também qual o papel

deste carvão na estabilidade da coloração escura das terras pretas e se esta estabilidade é devido à quantidade de carvão existente no perfil ou são devido a outras fontes de matéria orgânica do solo.

A pirólise da madeira, também conhecida como carbonização, é o processo pelo qual a madeira é aquecida em ambiente fechado e na presença de quantidade controlada de oxigênio. Este processo é caracterizado por reações que resultam em modificações estruturais das fibras de madeira, ocorrendo uma destruição gradativa de seus componentes e formação de diversos produtos. Gases (CO₂, CO, H₂, CH₄, etc.), líquidos orgânicos (alcatrões, ácido acético, álcool metílico, etc.), vapores de água são liberados, ficando como resíduo sólido do processo o carvão vegetal. Em geral, sabe-se que a qualidade do carvão a ser produzido, depende, basicamente, da espécie madeireira dos resíduos florestal, assim como do método ou processo de carbonização. Segundo Fontes (1994); e Brito (2000), o comportamento térmico da madeira está diretamente relacionado com seus componentes químicos, cada um dos componentes, devido sua natureza e composição química, participam de forma diferente na formação dos diversos produtos.

Diante do exposto, surge a hipótese de união das desvantagens da prática de corte e queima com as vantagens da grande quantidade de carvão encontrada nas Terras Pretas de Índio que indicam alta fertilidade no solo juntando os benefícios trazidos pelos materiais orgânicos de fácil acesso como o carvão, que se já se tornou prática comum em muitos países com as grandes vantagens dos adubos químicos.

De acordo com Maekawa (2002), o carvão é um material poroso, o que permite aumentar a capacidade de retenção de água, facilita a proliferação de organismos benéficos, além de possuir em sua composição elementos minerais como: magnésio, boro, silício, cloro, cobre, manganês, molibdênio e, principalmente, potássio. O carvão, assim como outros subprodutos podem ser obtidos de diferentes espécies vegetais, como bambu, eucalipto e pinus.

O carvão de bambu apresenta uma grande vantagem em relação ao de qualquer outra espécie lenhosa quando destinado à produção de carvão ativado. Tal vantagem diz respeito ao fato do carvão de bambu apresentar aproximadamente o dobro da área de superfície do carvão proveniente de outras matérias primas, isto infere ao carvão de bambu um maior poder de adsorção de sólidos e gases (Silva,2005).

Entretanto o teor de nutrientes na composição do carvão é baixa, dessa forma a adição de fontes de P, como os fertilizantes naturais, superfosfato simples e superfosfato triplo, tornam-se necessárias.

O P é o macronutriente que freqüentemente limita a produção e a produtividade das culturas em muitos solos brasileiros. As principais fontes de P usadas na agricultura para suprir a necessidade deste nutriente são os fosfatos naturais, os parcialmente acidulados e os solúveis (McLaughlin & Singh, 1999; Prochnow et al., 2001).

Na agricultura brasileira são os fosfatos solúveis em água as fontes mais utilizadas de P. São reconhecidamente excelentes fornecedores desse nutriente, mas exigem para sua fabricação, considerável investimento de enxofre, que é uma matéria-prima importada. Por outro lado os fosfatos naturais brasileiros têm mostrado em relação às fontes solúveis em água, uma eficiência inicial baixa, melhorando com o decorrer dos anos, sem, contudo, apresentarem um efeito residual superior ao dos fosfatados (Goedert et al. 1990; Resende et al., 2006). Diante do exposto, tornam-se necessárias técnicas que visem aumentar a eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados e baseando-se no princípio que deu origem às TPI, que possuem altos níveis de P, pela alta quantidade de carvão, pode-se inferir que este material pode auxiliar este processo.

OBJETIVOS:

Geral

Avaliar o efeito do carvão de bambu e diferentes fontes de P na biodisponibilidade de nutrientes na cultura do feijão caupí (*Vigna unguiculata* L.walp) e na cultura do milho (*Zea mays*).

Específicos

Avaliar o efeito de diferentes temperaturas de carbonização do bambu na disponibilidade de P de diferentes fontes fosfatadas e na disponibilidade de nutrientes.

Avaliar o efeito do carvão de bambu sob diferentes temperaturas e fontes fosfatadas no crescimento e no estado nutricional do feijão caupí e do milho sob uma rotação de cultura

Capítulo 1

OLIVEIRA, D.M.; FALCÃO, N.P.S., LAVRES JÚNIOR, J.2012. Biocarvão de bambu e fontes de fósforo afetando a disponibilidade de nutrientes e o crescimento de feijão caupí e milho em Latossolo amarelo distrófico da Amazônia. Revista *Acta Amazônica*.

Biocarvão de bambu afetando a disponibilidade de P proveniente de diferentes fontes fosfatadas em Latossolo Amarelo distrófico da Amazônia

Autores: Danielle Monteiro de OLIVEIRA¹; Newton Paulo de Souza FALCÃO² e José Lavres JÚNIOR³.

¹ INPA/ PPG ATU -Programa de Pós Graduação em Agricultura no Trópico Úmido, e-mail: danielle.monteiro@inpa.gov.br; ² INPA/ COTI- Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, e-mail: nfalcao@inpa.gov.br; ³ USP/ CENA - Universidade de São Paulo/ Centro de Energia Nuclear na Agricultura, e-mail: jlavres@cena.usp.br

Resumo- O efeito do biocarvão de bambu produzido à 400 °C, 500 °C e 600 °C, aplicado o equivalente a 40 t ha⁻¹, na disponibilidade do P proveniente de fosfato natural de ARAD (FN), superfosfato simples (SFS) e superfosfato triplo (SFT) (100 kg ha⁻¹ de P₂O₅) em Latossolo Amarelo foi avaliado em um experimento em condições controladas em vasos, com dois cultivos de feijão caupí e dois cultivos de milho. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial (3x3). No primeiro cultivo de feijão os maiores incrementos de massa seca da parte aérea (MSPA) e maiores teores de P, foram observados nos tratamentos com biocarvão à 400 °C, variando-se as fontes, ocorrendo o inverso nos tratamentos que receberam biocarvão à 500°C (FN < SFS < SFT). No segundo cultivo do feijão, os valores de MSPA foram maiores nos tratamentos que receberam biocarvão à 500 °C e 600 °C com fosfato natural, com aumento gradual dos teores de P nos tratamentos com biocarvão à 500 °C. A disponibilidade de P, o crescimento do feijão e as concentrações de P foliar do milho na presença do biocarvão, responderam de forma significativa às diferentes fontes fosfatadas.

Palavras chave: Fertilidade do solo, carbono pirogênico, adubação fosfatada.

Abstract- The effect of biochar bamboo produced at 400 °C, 500 °C and 600 °C, applied the equivalent of 40 t ha⁻¹, the availability of P from rock phosphate ARAD, single superphosphate (SSP) and triple superphosphate (TSP) (100 kg ha⁻¹ P₂O₅) in Oxisol was evaluated in an experiment under controlled conditions in pots planted with two crops of cowpea beans and two corn crops. The experimental design was completely randomized in a factorial design (3x3). In the first crop of beans the largest increment of shoot dry matter and higher levels of P were observed in the treatments with biochar at 400 °C, varying only between the sources, while the opposite occurred in treatments with biochar at 500 °C (FN < SFS < SFT). In the second crop of beans, shoot dry matter values were higher in treatments with biochar at 500 °C and 600 °C with phosphate rock, with gradual increase in the levels of P in the treatments with biochar at 500 °C. The availability of P, bean growth and foliar P concentration of maize in the presence of biochar, responded significantly to the different sources of phosphorus.

Key words: Soil fertility, black carbon, phosphate fertilizers.

INTRODUÇÃO

A manutenção de altos níveis de matéria orgânica estável e de nutrientes disponíveis em solos de Terra Preta de Índio (TPI) está associada a uma grande e prolongada incorporação de carbono pirogênico (Glaser *et al.*, 2001; Lehmann *et al.*, 2002, 2003b). A utilização de biocarvão como condicionador físico, químico e biológico em solos tropicais tem sido motivada por pesquisas desenvolvidas com o carvão das TPI, que mostram sua importância na estabilidade da matéria orgânica, no aumento da capacidade de troca de cátions, e na diminuição da acidez e do teor de alumínio tóxico para as plantas (Glaser *et al.*, 2001; 2002; Falcão *et al.*, 2003; Lehmann *et al.*, 2003; Liang *et al.*, 2006; Van Zwieten *et al.*, 2010). O biocarvão pode apresentar diferentes características e propriedades físico-químicas dependendo da fonte e da temperatura de carbonização do material vegetal (Antal e Gronli, 2003). Os teores e a composição dos nutrientes variam em função das fontes utilizadas, enquanto que a temperatura de carbonização tem efeito nas propriedades de superfície do biocarvão produzido (Chan e Xu, 2009; Zimmerman, 2010). O biocarvão de bambu apresenta uma grande vantagem em relação ao de qualquer outra espécie lenhosa, pois possui aproximadamente o dobro da área de superfície do biocarvão e grande quantidade de microporos, que conferem ao biocarvão de bambu um maior poder de adsorção de sólidos e gases (Silva, 2005).

Considerando que os altos teores de P encontrados nas TPIs estão ligados as grandes quantidades de material orgânico biocarbonizado (Kern, 2001) ao longo de décadas, a hipótese deste trabalho é que se possa aumentar a disponibilidade de P através da aplicação de carbono pirogênico nos Latossolos em menor escala de tempo, já que hoje a agricultura é contemplada com fontes de fósforo advindas de rochas fosfáticas de reação mais rápida, e ainda com as características físicas do biocarvão,

porém é necessário ainda um ajuste na eficiência destas fontes, visto que aproximadamente 75% do P aplicado em solos brasileiros, na forma de fertilizante fosfatado solúvel são adsorvidos nas partículas coloidais do solo resultando em uma baixa eficiência agronômica deste elemento (Raij, 2011).

O alto custo das fontes fosfatadas totalmente aciduladas tem feito com que os produtores se interessem pelo fosfato natural, que custa bem menos por unidade de P (Resende *et al.*, 2006), mas que apresentam pouca eficiência agronômica devido a sua lenta solubilização. De acordo com Braga (2006), fontes de P com menor solubilidade em água podem apresentar maior eficiência agronômica relativa em solos de elevada capacidade de fixação de P, como os Latossolos tropicais.

Há diferenças entre solos na eficiência de utilização de P pelas plantas, relacionadas com processos de adsorção. Segundo Alcarde *et al.* (1991), estima-se que apenas 5% a 20% do fósforo solúvel adicionado ao solo como adubo sejam aproveitados pela cultura que o recebeu e que aproximadamente 80% dele sejam fixados (Araújo *et al.*, 2003; Ramos *et al.*, 2009). Estudos com o objetivo de determinar o valor A e o valor E (quantidade de um nutriente na superfície e na solução do solo, que é trocável com um íon quimicamente idêntico adicionado na solução), utilizando o traçador ^{32}P têm confirmado a baixa utilização do P pelas plantas devido à elevada adsorção aos colóides do solo (Silva *et al.*, 2012).

O carvão vegetal pode desempenhar importante papel nos processos de sorção e desorção de P no solo, podendo ser um adsorvente de P mais eficiente, por grama de material, do que as frações de argila dos solos. Amostras de carvão retirados de diferentes sítios de terra preta e em diferentes profundidades apresentaram diferentes propriedades de adsorção e desorção de P (Falcão *et al.*, 2003). Esses resultados

permitiram inferir que esse carvão tem o potencial de reter quantidades importantes significativas de P solubilizado dos fertilizantes minerais, assim evitando sua fixação química pelos óxidos de ferro e alumínio e pelas argilas tipo 1:1 presentes em altas concentrações nos solos tropicais.

As razões para uma elevada eficiência do carvão pirogênico em reter nutrientes são: (a) o carvão pirogênico apresenta maior superfície específica do que o carvão resultante da queima da madeira em temperaturas mais elevadas e (b) apresenta maior densidade de carga negativa por unidade de área superficial, conseqüentemente uma maior densidade de carga (Liang et al., 2006). Esta elevada densidade de carga pode, em princípio, causar uma maior oxidação do próprio carbono pirogênico ou por meio de adsorção do carbono não pirogênico (Lehmann et al., 2005).

Objetivou-se avaliar o efeito de diferentes temperaturas de carbonização do bambu na disponibilidade de P no solo e nas plantas de feijão caupí e milho a partir de fontes fosfatadas.

MATERIAL E MÉTODOS

O solo utilizado foi um Latossolo Amarelo distrófico típico, textura argilosa (Sombroek, 1966) com as seguintes características: $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ (3,2); $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ (4,0); Ca^{2+} ($5,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$); Mg^{2+} ($3,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$); Al^{3+} ($4,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$); K^+ ($1,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$); P ($2,9 \text{ mg kg}^{-1}$); Fe ($139,1 \text{ mg kg}^{-1}$) e Zn ($3,6 \text{ mg kg}^{-1}$). O biocarvão foi obtido a partir da carbonização da biomassa fresca de Bambu (*Bambusa vulgaris* “vittata”) em retorta sob três temperaturas (400 °C, 500 °C e 600 °C). Amostras obtidas em cada temperatura foram analisadas quanto aos atributos químicos (Mehlich I) (Tabela 1).

O experimento foi instalado em casa de vegetação, localizada no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, em Manaus, AM no período de outubro de 2010 a

novembro de 2011 com dois ciclos de rotação com feijão caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) e milho (*Zea mays*), em vasos com capacidade de 3 kg de solo. A quantidade de fertilizantes utilizada foi de 90 kg ha⁻¹ de uréia e 120 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio a cada início de ciclo; 40 t ha⁻¹ de biocarvão passado em peneira de 2,00 mm de diâmetro; 326 kg ha⁻¹ fosfato natural; 555 kg ha⁻¹ de superfosfato simples; 222 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo. A quantidade de fosfato foi equivalente a 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em uma única aplicação. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial (3x3), sendo os fatores de estudo: três fontes de P (Fosfato natural-FN, Superfosfato simples-SFS e Superfosfato triplo-SFT) e três temperaturas de carbonização (400 °C, 500 °C e 600 °C), com nove tratamentos e quatro repetições.

As plantas foram colhidas quando completaram 45 dias após a germinação. As amostras foram processadas no laboratório para determinação da massa seca da parte aérea, e posteriormente a determinação dos teores de macro e micronutrientes após digestão nitro-perclórica. A determinação analítica das concentrações de fósforo foi por colorimetria, enquanto que as de cálcio, magnésio, enxofre, potássio, zinco, manganês e ferro foram por espectrometria de absorção atômica. O nitrogênio foi determinado por método semimicro Kjeldahl após digestão sulfúrica (Malavolta *et al.*, 1997) .

No momento da colheita das plantas também foram coletadas amostras de solo de cada vaso para a determinação dos valores de pH em CaCl₂ (acidez ativa) - CaCl₂ 0,01 mol.L⁻¹ dos teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio por meio do método da resina trocadora de íons (Raij *et al.*, 2001), Alumínio trocável por titulometria (1 mol.L⁻¹); H+Al (acidez potencial) - pH SMP; o Enxofre (S-SO₄)⁻² por extração com Ca(H₂PO₄)² 0,01 mol.L⁻¹ - Turbidimetria

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando-se o programa estatístico ASSISTAT 7.5 beta (2008). Constatado a significância por meio do teste F, procedeu-se à comparação de médias pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

RESULTADOS

No primeiro cultivo de feijão caupí a massa seca da parte aérea (MSPA), no tratamento que recebeu biocarvão produzido sob a temperatura de 400° C mais superfosfato simples (SFS), apresentou uma tendência ao aumento sem, contudo apresentar diferença significativa em relação ao tratamento que recebeu fosfato natural (FN); já o tratamento que recebeu a fonte mais solúvel (superfosfato triplo - SFT) apresentou a menor produção de MSPA (Tabela 2).

A produção da massa seca da parte aérea das plantas de feijão que receberam biocarvão produzido à 500 °C, aumentou com fornecimento das fontes de P na seguinte ordem crescente SFT=FN>SFS.

No presente estudo, observando a interação fertilizante fosfatado (SFT) com o biocarvão aplicado pode ter ocorrido maior fixação do P em solução pelos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio e minerais de argila (caulinita).

Por outro lado, nos tratamentos que receberam biocarvão à 600°C a ordem de efeito dos tratamentos mudou (SFS > SFT > FN), mostrando novamente o SFS com maior produção de MSPA. Analisando as fontes de fósforo, pode-se observar que as plantas dos tratamentos que receberam biocarvão de bambu à 500 °C e 600 °C com FN e SFT apresentaram produções de MSPA semelhantes (Tabela 2).

No solo coletado após o primeiro cultivo de feijão caupí nos tratamentos que receberam biocarvão produzido sob temperatura de 400 °C, os valores de P aumentaram

em função da fonte (FN > SFS > SFT), ocorrendo o contrário com os tratamentos que receberam biocarvão produzido a 500 °C (FN < SFS < SFT). Este resultado pode estar relacionado às estruturas menos condensadas de C, encontradas nos biocarvões de menores temperaturas de biocarbonização o que aumenta a reatividade (Keiluweit *et al.* 2010).

Observa-se que nos tratamentos que receberam biocarvão à 600 °C, os teores de P no solo não diferiram significativamente considerando as fontes aplicadas, ou seja, o biocarvão interferiu positivamente na disponibilidade de P, resultando em comportamento semelhante independente do grau de solubilidade (Tabela 2).

Os resultados significativos apresentados para as variáveis de MSPA e teor de P disponível no primeiro cultivo de feijão caupí, não foram observados no primeiro cultivo de milho, no entanto, o P foliar apresentou significância (Tabela 2). Observa-se que nos tratamentos que receberam biocarvão à 500 °C e 600 °C com a fonte menos solúvel (fosfato natural) e fonte mais solúvel (superfosfato triplo) as concentrações foliares de P não apresentaram diferenças significativa entre si, indicando que o biocarvão pode ter agido para igualar a absorção de P pelas plantas das diferentes fontes. Embora esta variável tenha sido significativa, considerando a nutrição mineral, as concentrações foliares de P observadas permaneceram abaixo da faixa adequada para a espécie (2,5 a 4,0 g kg⁻¹) (Malavolta, 2006).

No segundo cultivo de feijão caupí (Tabela 2) uma tendência ao aumento na MSPA foi vista no tratamento que recebeu biocarvão à 400 °C com fosfato natural, contudo, estatisticamente, não houve diferença significativa, comparando com o tratamento que recebeu o biocarvão à 400 °C e superfosfato triplo, inferindo-se que mesmo com os diferentes graus de solubilidade o P foi disponibilizado de forma similar.

Nos tratamentos que receberam biocarvão à 500 °C, verificou-se que a fonte menos solúvel (fosfato natural) promoveu aumento significativo da MSPA em relação ao tratamento que recebeu a fonte mais solúvel.

No segundo cultivo de feijão caupí os teores de P disponível no solo também não apresentaram diferença significativa entre a fonte menos solúvel e a fonte mais solúvel, independente da temperatura de carbonização, indicando que o biocarvão agiu na disponibilidade de P, seja no aumento da disponibilidade do fosfato natural ou na redução ou regulação da disponibilidade do superfosfato triplo, mesmo com os maiores teores de P observados nos tratamentos que receberam superfosfato triplo (Tabela 2).

Verifica-se que o superfosfato simples sendo uma fonte mais solúvel que o fosfato natural, nos tratamentos que receberam o biocarvão à 400 °C e 600 °C os teores de P no solo foram menores, quando comparados aos tratamentos com fosfato natural, entretanto, nos tratamentos com biocarvão à 500 °C esse comportamento não foi observado, indicando que esta temperatura pode atuar na igualdade da disponibilidade das fontes com diferentes graus de solubilidade, podendo-se inferir às características físicas e químicas do biocarvão que são influenciadas pela temperatura de carbonização (Rajkovich *et al.* 2012).

Nos tratamentos que receberam biocarvão à 500°C, os teores de P no solo aumentaram em função das fontes fosfatadas (FN<SFS<SFT), sem, contudo, apontarem diferença significativa, porém, os maiores teores foram observados nos tratamentos que receberam superfosfato triplo, independente das temperaturas de biocarbonização.

Estas características podem ter afetado a disponibilidade de P, adsorvendo grande parte P proveniente dos fertilizantes fosfatados nos tratamentos com biocarvão à 600 °C.

Da mesma maneira como ocorreu no primeiro cultivo desta rotação, a concentração de P nas folhas durante o segundo cultivo de feijão caupí não respondeu de forma significativa ($p>0,05$), bem como as variáveis de MSPA e teores de P no solo durante o segundo cultivo de milho não foram alteradas. Somente as concentrações de P nas folhas do milho foram alteradas pelos tratamentos tanto no primeiro como no segundo cultivo. A ausência de significância no peso da MSPA em função dos tratamentos pode ser explicada, em parte, ao esgotamento de nutrientes do solo devido aos cultivos anteriores, bem como ao decréscimo dos teores P disponível no solo, uma vez que as concentrações de P na parte aérea não apresentaram a mesma intensidade de redução.

Analisando as concentrações de P foliar em função da menor e maior temperatura de biocarbonização, neste segundo cultivo de milho, observa-se que nos tratamentos que receberam fosfato natural e superfosfato simples as concentrações de P foliar aumentaram e os que receberam superfosfato triplo diminuíram. Na tabela 2, verifica-se que as concentrações de P no milho não apresentaram diferença entre as fontes utilizadas neste experimento, provavelmente pela presença do biocarvão, exceto nos tratamentos que receberam biocarvão à 600 °C, em que o superfosfato simples resultou em maior concentração de P nas plantas, mesmo após os quatro ciclos sucessivos.

DISCUSSÃO

O resultado que pode ser considerado o mais relevante neste estudo foi a forma de como as diferentes fontes se comportaram na presença do biocarvão. Observa-se que embora a disponibilidade de P tenha sido diminuída com os cultivos sucessivos, foi

visto que a presença do biocarvão aumentou a disponibilidade de P proveniente das diferentes fontes fosfatadas, concordando com Kampf (2000), que descreveu a capacidade do biocarvão de regular a disponibilidade de nutrientes, mesmo que esses teores de P tenham permanecido na faixa “baixo”, considerando-se a faixa de suficiência na fertilidade do solo (Raij, 2011).

Observa-se que o biocarvão afetou a disponibilidade de P das fontes fosfatadas, resultando em comportamento diferente de quando as fontes de P atuam sem a presença de biocarvão que seria um maior crescimento das plantas nos tratamentos que receberam as fontes mais solúveis. Lehmann *et al.* (2003a) constataram aumento na MSPA do arroz e do feijão em 17% e 43%, com aplicação de doses de biocarvão de 68 t C ha⁻¹ e 135 t C ha⁻¹, respectivamente, atribuindo esse crescimento à capacidade que o biocarvão apresenta como condicionador químico do solo, aumentando as disponibilidades de P, K e Cu provenientes de outras fontes. Outros estudos têm atribuído o maior crescimento das plantas às mudanças positivas na biogeoquímica do solo resultante das adições de biocarvão (Lehmann *et al.* 2003b; Van Zwieten *et al.* 2010).

O peso da massa seca da parte aérea obtido no primeiro cultivo de feijão caupí pode ser explicado pelas características obtidas pelo biocarvão durante a pirólise realizada à baixa temperatura (<550 °C), que resulta em um biocarvão com mais alta reatividade em solos, com maior recuperação de C e também dos nutrientes N, K e S, com maior contribuição para fertilidade do solo (Steinbeiss *et al.* 2009; Keiluweit *et al.* 2010) ou ainda pode estar ligado às características físicas e químicas do SFT (textura granulada e com 40% de P₂O₅ solúvel em água) e do FN (textura farelado e com 10% de P₂O₅ solúvel em água), podendo-se inferir que a fonte mais solúvel (SFT) apresentou

um maior grau de dissolução e solubilização e, possivelmente, maior fixação do P em solução com os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, com os minerais de argila como a caulinita, existentes em altas concentrações nos solos mais intemperizados, como Latossolo Amarelo utilizado no presente estudo. Ou seja, a temperatura de 400 °C não interferiu neste comportamento, talvez por causa da menor porosidade adquirida com a menor temperatura de pirólise.

Neste sentido, pode-se inferir que um acréscimo de 100 °C na temperatura de carbonização da matéria prima (bambu) pode proporcionar mudanças nas propriedades físicas e químicas do biocarvão produzido, refletindo diretamente na dinâmica dos nutrientes oriundos dos fertilizantes aplicados. A pirólise realizada à alta temperatura produz, em geral, biocarvão com elevada área superficial ($>400 \text{ m}^2/\text{g}$) (Downie *et al.* 2009; Keiluweit *et al.* 2010), altamente aromático e conseqüentemente muito recalcitrante a decomposição (Sign e Cowie 2008), e é considerado bom adsorvente (Mituza *et al.* 2004; Lima e Marshall, 2005), de cargas catiônicas e aniônicas (Morales *et al.*, 2013)

Embora os valores de concentração foliar não tenham apontado uma relação direta com o peso da MSPA e disponibilidade de P no solo, considerando que o nutriente não interfere direta e unicamente no desenvolvimento satisfatório da planta, e ainda que as concentrações de P foliar não apresentaram diferença significativa ($p>0,05$), verificou-se que todos os tratamentos apresentaram concentração muito acima da faixa considerada adequada para a espécie (de 1,2 a 1,5 g kg^{-1}) (Malavolta, 2006).

O fato de que as fontes de fósforo, com diferentes graus de solubilidade, tenham apresentado comportamento semelhante com a presença do biocarvão produzido sob

temperatura de 600 °C, pode ter ocorrido em função da grande quantidade de microporos e maior área de superfície do biocarvão de bambu (Silva, 2005).

Como o solo é um sistema heterogêneo formado com minerais de argila, matéria orgânica e nutrientes é possível que biocarvão aplicado no solo pode também adsorver fosfato e nitrato por meio de ponte de ligação usando carga residual de atração eletrostática ou também formando pontes de ligantes com cátions divalentes como o Ca^+ e Mg^{+2} ou outros metais, incluindo o Al^{+3} e o Fe^{+3} (Mukherjee *et al.*, 2011).

Pergeron *et al.* (2012) relatam que as mudanças mais importantes nas características físico-químicas do carvão ocorreram quando as temperaturas de carbonização foram realizadas entre 450 °C a 650 °C. O aumento na % C, e as diminuições na % O e % H nesse intervalo são indicativos de um aumento na estrutura aromática e mudança gradual gerando grafite.

Analisando o grau de solubilidade das fontes aplicadas e as características dos biocarvões produzidos, pode-se inferir que nos tratamentos que receberam o fosfato natural, o biocarvão tenha contribuído para reduzir a adsorção do P disponível pelos minerais de argila, óxidos de ferro e alumínio presentes em solos ácidos (Resende, 2006).

A hipótese de que o biocarvão tenha sido o responsável pelo efeito residual do superfosfato triplo, observado no segundo cultivo de feijão caupí é fundamentada no fato de que esta reatividade não é uma característica da fonte (Raij, 2011). Por outro lado, os tratamentos que receberam o fosfato natural mantiveram a característica de alto efeito residual (Resende, 2006), com o aumento dos teores de P neste segundo cultivo de feijão caupí.

Considerando a disponibilidade das fontes, podemos inferir que a presença do biocarvão tenha amenizado a rápida reação do superfosfato triplo no solo, talvez adsorvendo e disponibilizando mais lentamente o nutriente e aumentando o efeito residual desta fonte. A hipótese de que o biocarvão tenha sido o responsável pelo efeito acima descrito é fundamentada no fato de que esta reatividade e efeito residual não é uma característica do superfosfato triplo (Raij, 2011). Por outro lado, os tratamentos que receberam o fosfato natural mantiveram a característica de alto efeito residual (Resende, 2006), com o aumento dos teores de P neste segundo cultivo de feijão caupí.

De uma maneira geral o feijão respondeu mais eficientemente quando comparados aos cultivos de milho, que é uma planta extremamente exigente em nutrientes, principalmente em N e S e diferentemente do feijão, não possui estratégias de absorção de N, como a fixação biológica de N (Malavolta *et al.*, 2006). Major *et al.* (2010) verificaram diminuição do rendimento de milho no quarto cultivo e atribuíram ao declínio no estoque Ca e Mg no solo.

CONCLUSÕES

1. O biocarvão aumentou a eficiência agronômica do fosfato natural em curto prazo.
2. O biocarvão produzido a temperatura de 400 °C aumentou a disponibilidade de P no solo independentemente da fonte de P utilizada.
3. A presença do biocarvão fez com que o alto efeito residual fosfato natural fosse diminuído e o do superfosfato triplo fosse aumentado.

AGRADECIMENTOS

Ao Grupo de Pesquisa Terra Preta Nova do INPA pela disposição em ajudar no que foi necessário; à FAPEAM-Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas, pelo auxílio com a bolsa; ao PROCAD 143/2007 – Manejo Sustentável, Conservação da Biodiversidade e Produção Agrícola em Solos Tropicais Degradados pelo auxílio financeiro e profissional; ao Projeto Bambu, liderado pela Dra. Siu Mui Tsai (CENA-USP), com financiamento de análises; ao INCT - Madeiras da Amazônia pelos materiais fornecidos à pesquisa; e ao Dr. Charles R. Clement (INPA), pelo auxílio no manuscrito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araujo, I.B.; Resende, A.V.; Furtini Neto, A.E.; Alves, V.M.C.; Santos, J.Z.L. 2003. Eficiência Nutricional do Milho em Resposta a Fontes e Modos de Aplicação de Fósforo. *Revista Ceres*, 50: 27-39.

Brito, J.O. 2000. *Pró-carvão: relatório sobre a cadeia produtiva de carvão vegetal e lenha do Estado de São Paulo*. SINCAL/FCESP/SEBRAE.

Chan, K.Y.; Xu, Z. 2009. Biochar: Nutrient properties and their enhancement. In: Lehmann, J.; Joseph, S. Ed. *Biochar for environmental management: Science and technology*. Londres, Earthscan. 67-84p.

Downie, A.; Crosky, A.; Munroe, P. 2009. Physical properties of biochar. In: *Biochar for environmental management. Science and technology*. Earthscan: London, p. 13-32.

Fontes, P.J.P. 1994. *Auto-suficiência energética em serraria de Pinus e aproveitamento dos resíduos*. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Glaser, B.; Haumaier, L.; Guggenberger, G.; Zech, W. 2001. The “Terra Preta” phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften*, 88: 37-41.

Glaser, B., Lehmann, J., Zech, W., 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. *Biology and Fertility of Soils*, 35: 219-230.

Goedert, W.J.; Rein, T.A.; Souza, D.M.G. 1990. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais, fosfatos parcialmente acidulados e termofosfatos em solo de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 25: 521-530.

Kämpf, A.N. 2000. Seleção de materiais para uso como substrato. In: Kämpf, A.N.; Fermino, M.H. (Ed.). *Substratos para plantas: a base da produção vegetal em recipientes*. Porto Alegre: Gênese, 139-145p.

Keiluweit, M.; Nico, P.S.; Johnson, M.G.; Kleber, M. 2010. Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar). *Environmental Science & Technology*, 44: 1247-1253.

Kern, D.C.; Costa, M.L.; Frasão, F.J.L. 2001. Evolution of the scientific knowledge regarding Black Earth Soil in the Amazon. Terra Preta. Symposium, Benicássim, Spain, July 13-14.

Lehmann, C.J., Da Silva JR, J.P., Rondon, M., Greenwood, J., Nehls, T., Steiner, C., Glaser, B. 2002. Slash-and-char - a feasible alternative for soil fertility management in the central Amazon In: 17th World Congress of Soil Science. Bangkok.

Liang, B.; Lehmann, J.; Sohi, S.P.; Thies, J.E.; O’Niell, B.; Trujillo, L.; Gaunt, J.; Solomon, D.; Grossman, J. Neves, E.G.; Luizão, F.J. 2010. Black carbon affects the cycling of non-black carbon in soil. *Organic Geochemistry*, 41: 206-213.

Malavolta, E. 2006. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo. Ceres, 2006, 638 p

- Malavolta, E.; Moraes, M.F.; Lavres Júnior, J.; Malavolta, M. 2006. Micronutrientes e metais pesados-essencialidade e toxidez. In: *Paterniani, E. (Ed.). Ciência, agricultura e sociedade*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p.117-154.
- Maekawa, K. 2002. *Curso sobre produção de carvão, extrato pirolenhoso e seu uso na agricultura* (APAN – Associação dos produtores de Agricultura natural).
- McLaughlin, M.J.; Singh, B.R. 1999. *Cadmium in soil and plants*. Dordrecht, Kluwer Academic, 1999, 364p.
- Mituza, K.; Matsumoto, T.; Hatate, Y.; Nishihara, K.; Nakanishi, T. 2004. Removal of nitrate nitrogen from drinking water using bamboo powder charcoal. *Bioresource Technology*, 95: 255-257.
- Mukherjee, A.; Zimmerman, A.R.; Harris, W. 2011. Surface chemistry variations among a series of laboratory-produced biochars. *Geoderma*, 16: 247-255.
- Pergeron, S.P.; Bradley, R.L.; Munson, A.; ParsonS, W. 2012. Physico-chemical and functional characteristics of soil charcoal produced at five different temperatures. *Soil Biology & Biochemistry*. (Article in press) 1-7.
- Prochnow, L.I. 2001. *Eficiência Agronômica de fosfatos acidulados contendo compostos fosfáticos de ferro para o arroz de sequeiro e arroz inundado*. 2001. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Piracicaba. 118 p.
- Resende, A.V.; Neto, A.E.F.; Alves, V.M.C.; Muniz, J.A.; Curi, N.; Faquin, V.; Kimpara, A.I.; Santos, J.Z.L.; Carneiro, L.F. 2006. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30: 453-466.
- Sanchez, P.A.; Bandy, D.E.; Villachica, J.H.; Nicholaides, J.J. 1982. Amazon basin soils: Management for continuous crop production. *Science*, 216: 821-827.
- Silva, E.C.; Muraoka, T.; Franzini, V.I.; Alvarez Villanueva F.C.; Buzetti, S.; Moreti, D. 2012. Phosphorus utilization by corn as affected by green manure, nitrogen and phosphorus fertilizers. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47: 1150-1157.
- Silva, R.M. de C; 2005. **O BAMBU NO BRASIL E NO MUNDO**. Disponível em: < http://www.embambu.com.br/imagens/bambu_brasil_mundo.pdf >. Acessado em 14 de setembro de 2011.
- Sombroek, W.; Kern, D.; Rodrigues, T.; Cravo, M. da S.; Cunha, T.J.F.; Woods, W.; Glaser, B. 2009. Terra Preta e Terra Mulata: suas potencialidades agrícolas, suas sustentabilidades e suas reproduções. In: Teixeira, W.G.; Kern, D.C.; Madari, B.E.; Lima, H.N.; Woods, W. *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas*. Manaus, AM. 1ª ed.: Embrapa Amazônia Ocidental, p. 251-257.
- Steinbeiss, S.; Gleixner, G.; Antonietti, M. 2009. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. *Soil Biology & Biochemistry*, 41: 1301-1310.
- Van Zwieten L, Kimber S, Morris S, Chan KY, Downie A, Rust J, Joseph S, Cowie A. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant Soil* 327:235-246

Woods, W.I.; McCann, J.M. 1999. *The anthropogenic origin and persistence of Amazonian dark earths*. Austin: University of Texas Press, 1999, 7-14 p.

Zimmerman, A.R. 2010. Abiotic and microbial oxidation of laboratory-produced black carbono (biochar). *Environmental Science Technology*, 44: 1295-1301.

TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos de caule de bambu fresco biocarbonizado em diferentes temperaturas.

Biocarvão	pH _(H2O)	Ca	Mg	K	P	Fe	Zn	Mn	Cu
		——cmol _c kg ⁻¹ ——				—————mg dm ⁻³ —————			
400 °C	10,4	0,34	0,56	17,36	171,19	10,9	3,3	9,2	1,2
500 °C	10,2	0,37	0,62	12,48	132,42	10	2,3	11,1	0,7
600 °C	10,1	0,26	1,06	8,31	115,36	9,2	5,7	13,9	1,3

pH_(H2O)- proporção solo:água 1:2,5.

Ca, Mg, K e P- Extrator Mehlich I.

Fe, Zn, Mn e Cu- disponível – extrator Mehlich 1.

Tabela 2. Massa seca da parte aérea, concentração foliar de P e teor de P no solo após cada cultivo sequencial de feijão caupí e milho em função da temperatura de carbonização de bambu para biocarvão e das fontes de P (fosfato natural – FN; superfosfato simples – SFS; superfosfato triplo – SFT) em vasos com Latossolo Amarelo distrófico típico em casa de vegetação em Manaus, AM, entre o ano 2011 e o ano de 2012.

Temperaturas de biocarbonização	Massa seca parte aérea (g)			Concentração foliar P (g Kg ⁻¹)			Teor de P no solo (mg dm ³)		
	FN	SFS	SFT	FN	SFS	SFT	FN	SFS	SFT
1º cultivo de feijão caupí									
400 °C	6,93 aA	7,27 aA	5,70 bB	2,73	3,14	3,03	11,25 aA	10,75 aA	10,50 bA
500 °C	6,62 aA	6,08 aB	6,62 aA	2,79	3,40	3,51	11,00 aB	11,50 aB	13,50 aA
600 °C	6,15 aA	6,25 aB	6,18 aAB	3,24	2,82	3,52	11,50 aA	10,75 aA	11,50 bA
1º cultivo de milho									
400 °C	5,73	5,75	5,86	0,66 bA	0,66 aA	0,63 bA	14,25	10,25	13,00
500 °C	5,62	5,66	5,66	1,39 aA	0,69 aB	1,39 aA	11,50	12,00	13,50
600 °C	5,85	5,81	6,07	0,77 bA	0,72 aA	0,88 bA	13,00	11,50	15,25
2º cultivo de feijão caupí									
400 °C	10,81 aA	7,55 aB	10,11 aA	2,29	2,31	2,25	13,50 aA	10,25 bB	15,25 aA
500 °C	10,07 aA	8,68 aAB	7,56 bB	2,15	2,14	2,42	13,25 aA	13,75 aA	14,25 aA
600 °C	7,70 bA	7,61 aA	7,61 bA	2,45	2,06	2,25	12,25 aAB	11,50 bB	13,75 aA
2º cultivo de milho									
400 °C	4,00	3,29	3,83	2,03 aA	1,75 bA	2,13 aA	8,00	8,00	9,50
500 °C	4,17	4,47	4,44	1,99 aA	2,16 bA	2,08 aA	10,00	9,50	10,00
600 °C	4,75	4,07	4,23	2,21 aB	3,01 aA	1,99 aB	8,00	7,75	8,00

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey 5%. Classificação com letras maiúsculas para as linhas e minúsculas para as colunas.

CONCLUSÕES

Os trabalhos desenvolvidos com biocarvão mais fertilizantes minerais têm se mostrado promissores para o aumento da fertilidade do solo, assim como para o aumento da eficiência agrônômica dos fertilizantes minerais que são facilmente perdidos pelas condições tropicais e ainda pela origem dos solos predominantes na região.

No presente trabalho, o fosfato natural proporcionou teores no solo e concentrações foliares de P semelhantes às observadas nos tratamentos com superfosfato simples e superfosfato triplo, independente da temperatura de carbonização, o que pode diminuir custos, já que o fosfato natural, ainda possui efeito residual.

Esses resultados foram mais proeminentes para os estudos com feijão, pressupondo que outros estudos precisam ser realizados no sentido de encontrar respostas que possam aumentar o aproveitamento pelo milho, podendo ainda este resultado estar relacionado à fisiologia da planta, porém vários trabalhos com biocarvão e formulado NPK tem mostrado aumento de produtividade de milho e aqui este resultado não foi visto.

Nos tratamentos que receberam biocarvão à 500°C, independente da fonte fosfatada utilizada, mostrou um incremento na disponibilidade de K. A hipótese é de que o biocarvão tenha diminuído a alta taxa de lixiviação deste elemento, seja pelas características físicas ou químicas, necessitando ainda de estudos mais centrados.

Considerando que este trabalho é um precursor, pode-se a partir deste realizar pesquisas mais direcionadas ao aumento da eficiência de fertilizantes de menor custo e com baixa reatividade, como é o caso dos fosfatos naturais brasileiros e de outros fertilizantes, uma vez que o Brasil consome muito mais do que consegue produzir.

REFERÊNCIAS

- BRITO, J. O. Pró-carvão: relatório sobre a cadeia produtiva de carvão vegetal e lenha do Estado de São Paulo. SINCAL/FCESP/SEBRAE, 2000.
- FONTES, P. J. P. Auto-suficiência energética em serraria de Pinus e aproveitamento dos resíduos. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba 1994.
- GLASER, B.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. The “Terra Preta” phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften*, v.88, p.37-41, 2001.

- GLASER, B., LEHMANN, J., ZECH, W., Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. *Biology and Fertility of Soils*. v. 35, p. 219-230. 2002.
- GOEDERT, W.J.; REIN, T.A.; SOUZA, D.M.G. Eficiência agronômica de fosfatos naturais, fosfatos parcialmente acidulados e termofosfatos em solo de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.25, n.4, p.521-530, 1990.
- LEHMANN, C.J., DA SILVA JR, J.P., RONDON, M., GREENWOOD, J., NEHLS, T., STEINER, C., GLASER, B. Slash-and-char - a feasible alternative for soil fertility management in the central Amazon *In: 17th World Congress of Soil Science*. Bangkok. 2002
- MAEKAWA, K. Curso sobre produção de carvão, extrato pirolenhoso e seu uso na agricultura (APAN – Associação dos produtores de Agricultura natural), 2002.
- McLAUGHLIN, M.J. & SINGH, B.R. Cadmium in soil and plants. Dordrecht, Kluwer Academic, 364p. 1999.
- PROCHNOW, L. I. Eficiência Agronômica de fosfatos acidulados contendo compostos fosfáticos de ferro para o arroz de sequeiro e arroz inundado. 2001. 118 f. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Piracicaba, 2001.
- RESENDE, A. V.; NETO, A.E.F.; ALVES, V.M.C.; MUNIZ, J.A.; CURLIN, V.; KIMPARA, A.I.; SANTOS, J.Z.L. & CARNEIRO, L.F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. *Revista Brasileira de ciência do solo*, 30: 453-466, 2006.
- SANCHEZ, P.A.; BANDY, D.E.; VILLACHICA, J.H.; NICHOLAIDES, J.J. Amazon basin soils: Management for continuous crop production. *Science*, v.216, p.821-827, 1982.
- SILVA, R. M. de C; 2005. O BAMBU NO BRASIL E NO MUNDO. Disponível em: < http://www.embambu.com.br/imagens/bambu_brasil_mundo.pdf >. Acessado em 14 de setembro de 2011.
- SOMBROEK, W.; KERN, D.; RODRIGUES, T.; CRAVO, M. da S.; CUNHA, T. J. F.; WOODS, W.; GLASER, B. Terra Preta e Terra Mulata: suas potencialidades agrícolas, suas sustentabilidades e suas reproduções. *In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D.C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas*. Manaus, AM. 1ª ed.: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p. 251-257.
- WOODS, W. I.; MCCANN, J. M. The anthropogenic origin and persistence of Amazonian dark earths. Austin: University of Texas Press, p. 7-14. 1999.