

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CAMPUS PROFESSORA CINOBELINA ELVAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
MESTRADO EM SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

CRESCIMENTO E DISTRIBUIÇÃO RADICULAR DA SOJA E FRAÇÕES DE
CARBONO EM UM LATOSSOLO SOB BIOCHAR E ADUBAÇÃO FOSFATADA

ISNARA REGINA ASSUNÇÃO MEDEIROS

BOM JESUS – PI
Março - 2014

ISNARA REGINA ASSUNÇÃO MEDEIROS

CRESCIMENTO E DISTRIBUIÇÃO RADICULAR DA SOJA E FRAÇÕES DE
CARBONO EM UM LATOSSOLO SOB BIOCHAR E ADUBAÇÃO FOSFATADA

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, como requisito para obtenção do título de “Mestre” em Agronomia, na área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Dr. Luiz Fernando Carvalho Leite

Co-Orientador: Dr. Herony Ulisses Mehl

BOM JESUS – PI

Março – 2014

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial de Bom Jesus
Serviço de Processamento Técnico

M489c Medeiros, Isnara Regina Assunção.

Crescimento e distribuição radicular da soja e frações de carbono em um latossolo sob biochar e adubação fosfatada. / Isnara Regina Assunção Medeiros. – 2014.

61 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Bom Jesus-PI, 2014.

Orientação: “Prof. Dr. Luiz Fernando Carvalho Leite”.

1. Soja - Cultivo. 2. Manejo sustentável. 3. Latossolo.
4. Biocarvão. I. Título.

CDD 633.34

“Aquele que leva a preciosa semente, andando e chorando, voltará, sem dúvida, com alegria, trazendo consigo os seus molhos”.

(Salmos 126-6)

Especialmente aos meus pais que são as razões da minha vida, Valda e José, ao meu irmão Robson e a todos meus amigos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por está sempre comigo, me guiando, me iluminando e me protegendo, és a minha fortaleza.

A minha mãe pelo apoio e amor incondicional, que sempre acreditou em mim, a minha maior torcedora e a mais fiel, ao meu pai que sempre foi um exemplo para mim, meu orgulho.

Ao Dr. Luiz Fernando Carvalho Leite pela orientação, e por ter compartilhado comigo seu conhecimento.

A Universidade Federal do Piauí, e a todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Solos e Nutrição de Plantas do campus Cinobelina Elvas.

Ao Programa federal de Bolsa, CNPq-CAPES (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e tecnológica- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior) pelo apoio financeiro para realização dessa pesquisa, e pela oportunidade de crescimento intelectual e profissional.

Ao futuro Dr. Edvaldo Sagrilo, por ter me concedido uma parte do seu experimento de pesquisa de sua tese de doutorado, e me guiado inicialmente nos procedimentos realizados, pelas sugestões e pelas dúvidas esclarecidas.

Ao meu Co-Orientador Dr. Herony Ulisses, por ter manuseado meu experimento durante minha ausência, sempre com maior cuidado e por ter me dado todo auxílio quando precisei.

Ao Sr. Sebastião meu braço direito na hora que precisei de força braçal.

Ao Dr. Valdenir Queiroz e ao meu amigo José Ferreira Filho por ter me auxiliado na parte estatística, e por todas as dicas que muito contribuíram para a realização dessa pesquisa.

A Embrapa Meio-Norte pelo suporte para a realização da pesquisa.

Aos laboratoristas Afonso Abreu e José Moreira pela amizade e pela contribuição para execução das atividades laboratoriais.

Ao Prof. Juarez pelo apoio dado desde início do mestrado.

Aos amigos do curso Leovânio, Aline, Rannyelson, Diogo, Mírya, Adriana, Bruna, Rafaela, e aos amigos da Embrapa Lauanny, Lorena, Andrea.

Aos meus sobrinhos Alex, Aldenir e o Wenderson.

A todos os meus sinceros agradecimentos!

SUMÁRIO

	Páginas
Resumo Geral.....	i
GeneralAbstract.....	ii
Lista de tabelas.....	iii
Lista de figuras.....	iv
CAPITULO 1.....	12
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	12
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1. A importância do biochar.....	14
2.2. Dinâmica do fósforo em solos tropicais.....	15
2.3. Matéria orgânica do solo.....	17
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19
CAPÍTULO 2: DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR E DA PARTE AÉREA DE SOJA SOB APLICAÇÃO DE BIOCHAR E ADUBAÇÃO FOSFATADA	23
Resumo.....	23
Abstract.....	24
1. INTRODUÇÃO.....	25
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4. CONCLUSÃO.....	38
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
CAPITULO 3: DINÂMICA DE CARBONO E NITROGÊNIO DOS ATRIBUTOS BIOLÓGICOS NUM LATOSSOLO SOB BIOCHAR E ADUBAÇÃO FOSFATADA....	42
Resumo.....	42
Abstract.....	43
1. INTRODUÇÃO.....	44
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	46
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4. CONCLUSÃO.....	58
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

RESUMO GERAL

MEDEIROS, ISNARA REGINA ASSUNÇÃO. **Crescimento e distribuição radicular na soja e frações de carbono em um Latossolo sob biochar e adubação fosfatada.** 2014. 61p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí, PI¹

O biochar ou biocarvão vem despertando o interesse por pesquisas no mundo todo, pois, ele é baseado em solos de Terra Preta de Índio, com capacidade de melhorar a qualidade e fertilidade dos solos degradados, aumentando a disponibilidade de nutrientes para as plantas, além de sequestrar carbono no solo. Este estudo foi desenvolvido com intuito de determinar um manejo sustentável de solo com cultivo de soja, utilizando biochar com e sem adubação fosfatada. O experimento foi instalado na Embrapa Meio-Norte, no município de Parnaíba-PI, em um Latossolo Amarelo, sob delineamento de blocos casualizados 5x2 com quatro repetições, totalizando 40 parcelas. Os níveis de biochar foram de 0, 5, 10, 20 e 40 t ha⁻¹, com 0 e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅. As análises da planta foram determinadas no período de floração, o comprimento, diâmetro, densidade e área radicular, além dos números de nódulos, massa das raízes, dos nódulos e da parte aérea. Quando os grãos estavam com 14% de umidade foi realizada a colheita da soja para avaliar a produtividade. Foram determinados também, os estoques totais de do carbono orgânico (COT) e nitrogênio (NT), o carbono da biomassa microbiana (Cmic), o nitrogênio da biomassa microbiana (Nmic), respirometria e os quocientes metabólico e microbiano. Os estoques de COT e NT foram influenciados positivamente pelo biochar com adubação fosfatada. O biochar teve efeito positivo para número de nódulos, massa seca de nódulos, massa seca das raízes e da parte aérea, área e comprimento da raiz, tendo interação entre as doses de biochar com adubação. Para a produtividade da soja, o biochar influenciou de forma positiva com a presença e ausência de adubação fosfatada, sendo uma característica fundamental para a produção agrícola em solos com deficiência em nutrientes como um Latossolo. O biochar contribuiu para o aumento da biomassa microbiana, e associado a adubação fosfatada para o aumento da respiração microbiana e para os teores de Cmic e Nmic. O biochar interagiu bem com a adubação fosfatada, que contribuiu para a melhoria dos atributos biológicos do solo, proporcionando condições favoráveis para estocar C e N, sendo uma alternativa viável como condicionador do solo. O incremento de biochar associado a adubação fosfatada no solo apresentaram respostas positivas na soja, que ocorreu uma melhor assimilação de nutrientes, constatando efeitos positivos para a maioria das variáveis da planta.

Palavras-chave: biocarvão, condicionador do solo, manejo sustentável, produtividade.

¹Orientador: Dr. Luiz Fernando Carvalho Leite – Embrapa Meio-Norte - PI.

¹Co-orientador: Dr. Herony Ulisses Mehl – Embrapa Meio-Norte - PI

GENERAL ABSTRACT

MEDEIROS, Isnara Regina Assunção. **Growth and root distribution of soybeans and carbon fractions in an Oxisol under biochar and phosphorus fertilization.** 2014. 61p. Dissertation (Master in Soil and Plant Nutrition) - Federal University of Piauí, PI¹

The biochar or biochar has aroused interest in research around the world, because it is based on Terra Preta soils Indian, with ability to improve the quality and fertility of degraded soils, increasing the availability of nutrients for the plants, and sequester carbon in the soil. This study was developed with the purpose of determining a solo sustainable management with soybean using biochar with and without phosphorus fertilization. The experiment was carried out at Embrapa Mid-North, in the city of Parnaíba-PI, in some soil, in a randomized block design with four replications 5x2 total of 40 plots. The levels of biochar were 0, 5, 10, 20 and 40 t ha⁻¹, with 0 and 60 kg ha⁻¹ of P₂O₅. Were determined in the flowering period, the length, diameter, density and root area along with nodules numbers, mass roots, nodules and shoot. Later, when the beans were 14% moisture soybean harvest was performed to evaluate productivity. We determined the stocks of C and N in the soil, COT, NT, Cmic, Nmic, respirometry, the metabolic and microbial quotient. Inventories of C and N were positively influenced by the biochar with phosphorus fertilization. The biochar had a positive effect on the number of nodules, dry nodule weight, dry weight of roots and shoots, area and root length, and interaction between doses of biochar with fertilization. For soybean productivity, biochar positively influenced by the presence and absence of phosphate fertilizer, being a key feature for agricultural production in nutrient deficient soil as a soil used. The biochar contributes to microbial biomass with phosphorus fertilization to increased respiration and microbial C and N contents. Biochar interacts positively with phosphorus fertilization, contributing to the improvement of biological soil properties, providing favorable conditions for storing C, N and nutrients to the soil, being a viable alternative as a soil conditioner. The increase of biochar with phosphate fertilizer in the soil contributes to significant responses of plants, consequently better assimilation of nutrients, so finding positive effects for most of the variables studied here.

Keywords: biochar, soil amendment, sustainable management, productivity.

¹Adviser: Dr. Luiz Fernando Carvalho Leite – Embrapa Meio-Norte - PI.

¹Co-adviser: Dr. Herony Ulisses Mehl – Embrapa Meio-Norte - PI.

LISTA DE TABELAS**Capítulo 2**

- Tabela 1.** Características granulométricas e químicas da área antes da instalação do experimento no município de Parnaíba-PI. Anos 2011 e 2013.....28
- Tabela 2.** Características químicas do biochar que foi adicionado ao solo da área experimental no Município de Parnaíba-PI.....28
- Tabela 3.** Equações de regressão com doses de biochar 0, 5, 10, 20 e 40 Mg ha⁻¹ sem e com adubação fosfatada (0 e 60 kg ha⁻¹) na camada de 0-10 em profundidade num Latossolo Amarelo, em Parnaíba - PI, 2013.....37

Capítulo 3

- Tabela 1.** Características granulométricas e químicas da área antes da instalação do experimento no município de Parnaíba-PI. Anos 2011 e 2013.....47
- Tabela 2.** Características químicas do biochar que foi adicionado ao solo da área experimental no Município de Parnaíba-PI.....47
- Tabela 3.** Equações de regressão com doses de biochar 0, 5, 10, 20 e 40 Mg ha⁻¹ sem e com adubação fosfatada (0 e 60 kg ha⁻¹) na camada de 0-10 em profundidade num Latossolo Amarelo, em Parnaíba - PI, 2013.....56

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2

- Figura 1.** Localização da área experimental.....27
- Figura 2.** Totais mensais da precipitação pluviométrica referentes a 2011 e valores médios dos totais mensais da precipitação pluviométrica referentes ao período de 1978 a 2010. Parnaíba, PI.....27
- Figura 3.** Aparelho de escaneamento das raízes (A), frente do scanner (B), imagem de uma raiz escaneada pelo aparelho (C) e imagem dos dados processados (D).....30
- Figura 4.** Número de nódulos (A) e massa dos nódulos (B) em função de diferentes doses de biochar, sem e com adubação fosfatada (0 e 60 kg ha⁻¹) em Parnaíba - PI, 2013. ns: não significativo; *: significativo (0.05>p>0.01); **: significativo (0.01>p>0.001); ***: significativo (p<0.001).....32
- Figura 5.** Massas da parte aérea (A) e massa radicular (B) em função de diferentes doses de biochar, sem e com adubação fosfata (0 e 60 kg ha⁻¹) em Parnaíba - PI, 2013. ns: não significativo; *: significativo (0.05>p>0.01); **: significativo (0.01>p>0.001); ***: significativo (p<0.001).....33
- Figura 6.** Comprimento radicular (A) e da área radicular (B), em função de diferentes doses de biochar, sem e com adubação fosfatada (0 e 60 kg ha⁻¹) em Parnaíba - PI, 2013. ns: não significativo; *: significativo (0.05>p>0.01); **: significativo (0.01>p>0.001); ***: significativo (p<0.001).....34
- Figura 7.** Diâmetro radicular (A) e densidade radicular (B), em função de diferentes doses de biochar, sem e com adubação fosfatada (0 e 60 kg ha⁻¹) em Parnaíba - PI, 2013. ns: não significativo; *: significativo (0.05>p>0.01); **: significativo (0.01>p>0.001); ***: significativo (p<0.001).....35
- Figura 8.** Produtividade de soja em função de diferentes doses de biochar, sem e com adubação fosfatada (0 e 60 kg ha⁻¹) em Parnaíba - PI, 2013. ns: não significativo; *: significativo (0.05>p>0.01); **: significativo (0.01>p>0.001); ***: significativo (p<0.001) 36

Capítulo 3

- Figura1.** Localização da área experimental.....46
- Figura 2.** Totais mensais da precipitação pluviométrica referentes a 2011 e valores médios dos totais mensais da precipitação pluviométrica referentes ao período de 1978 a 2010. Parnaíba, PI.....46

Figura 3. Teores de Nitrogênio Total (A) e Estoque de N (B), em função de diferentes doses de biochar, sem e com adubação fosfatada (0 e 60 kg ha⁻¹) em Parnaíba - PI, 2013. ns: não significativo; *: significativo (0.05>p>0.01); **: significativo (0.01>p>0.001); ***: significativo (p<0.001).....51

Figura 4. Teores de Carbono Total (A) e Estoque de C (B), em função de diferentes doses de biochar, sem e com adubação fosfatada (0 e 60 kg ha⁻¹) em Parnaíba - PI, 2013. ns: não significativo; *: significativo (0.05>p>0.01); **: significativo (0.01>p>0.001); ***: significativo (p<0.001).....52

Figura 5. Atividade microbiana (A) e do Quociente metabólico (B), em função de diferentes doses de biochar, sem e com adubação fosfatada (0 e 60 kg ha⁻¹) em Parnaíba - PI, 2013. ns: não significativo; *: significativo (0.05>p>0.01); **: significativo (0.01>p>0.001); ***: significativo (p<0.001).....54

Figura 6. Carbono da biomassa (A) e Nitrogênio da biomassa (B), em função de diferentes doses de biochar, sem e com adubação fosfatada (0 e 60 kg ha⁻¹) em Parnaíba - PI, 2013. ns: não significativo; *: significativo (0.05>p>0.01); **: significativo (0.01>p>0.001); ***: significativo (p<0.001).....55

Figura 7. Quociente microbiano do solo, em função de diferentes doses de biochar, sem e com adubação fosfatada (0 e 60 kg ha⁻¹) em Parnaíba - PI, 2013. ns: não significativo; *: significativo (0.05>p>0.01); **: significativo (0.01>p>0.001); ***: significativo (p<0.001).....56

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO GERAL

A descoberta da alta fertilidade dos solos antropogênicos na região amazônica do Brasil despertou o interesse de pesquisadores na busca dos compostos que produzissem efeitos similares. Dessa forma, descobriu-se que o biocarvão possui estruturas físicas favoráveis, como a elevada porosidade, a qual possibilita a retenção de nutrientes e água em suas moléculas. O biocarvão é uma fonte de matéria orgânica recalcitrante, o que possibilita ao solo uma fertilidade prolongada (NÓBREGA, 2011).

A formação natural da Terra Preta de Índio, na Amazônia, foi devido às práticas ancestrais de queima de materiais lenhosos e outros compostos de biomassa. Apresentam cor negra em seu perfil edáfico e possuem altos teores de matéria orgânica e nutrientes como N, P, K e Ca, o que se atribui, em parte, devido ao elevado conteúdo de carvão. A elevada concentração de carbono tem como fonte os restos de biomassa provenientes da combustão incompleta de compostos orgânicos. Esta hipótese é demonstrada a partir das semelhanças encontradas entre as partículas deste tipo de solo e as de biochar (ABENZA, 2012).

Entre os benefícios do biochar, estão a retenção de nutrientes e a capacidade de troca de cátions (CTC) do solo, redução da acidez do solo, redução da absorção de toxinas, melhora na estrutura, uso eficiente dos nutrientes, especialmente o fósforo, aumento da retenção de água, diminuição da emissão de gases de efeito estufa. O biochar pode aumentar a eficiência do uso de fertilizantes, ao diminuir os requerimentos dos cultivos e reduzir as emissões de CO₂ associados com o uso dos mesmos (WOOLF et al., 2010). Devido a densidade do biochar ser baixa, pode diminuir a densidade aparente de solos arenosos e aumentar a capacidade de retenção de água desses solos (HA et al., 2010).

O fósforo é um nutriente essencial às plantas, componente da adenosina difosfato (ADP) e adenosina trifosfato (ATP), composto responsável pelo transporte de energia dentro das plantas. Além disso é componente dos ácidos nucleicos, fazendo parte das moléculas de DNA e RNA, além dos fosfolipídios das biomembranas (MORALES, 2010). O fósforo é o nutriente mais limitante da produtividade de biomassa em solos tropicais, em consequência do material de origem e da forte interação do P com o solo (SANTOS & NETO, 2011). Neste sentido, o biochar pode ser uma importante fonte de P, pois, em seu processo de mineralização o P é liberado em proporções significativas.

A dinâmica do fósforo orgânico está estreitamente associada à dinâmica da matéria orgânica presente no solo. Portanto, sistemas de manejo acumuladores de matéria orgânica e baixos insumos serão capazes de manter adequadamente a disponibilidade de P para as plantas, em um maior intervalo de tempo.

O uso do biochar visa à necessidade de melhoria na agricultura em ecossistemas tropicais e recuperação de solos degradados e intemperizados, por isso estão sendo realizados estudos do efeito que o biocarvão exerce sobre a matéria orgânica e a disponibilidade de fósforo para o solo. No presente estudo objetivou-se determinar um manejo sustentável de solo com cultivo de soja, utilizando biochar com e sem adubação fosfatada.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A importância do biochar

A ideia do biochar surgiu de estudos da matéria orgânica das *Terras Pretas de Índio* (TPI), solos amazônicos antropogênicos com excelentes características agronômicas e ambientais, alta fertilidade e alto conteúdo de carbono estável (de origem pirogênica) em sua fração orgânica, que forneceu um modelo de solo adequado ao sequestro de carbono. O conhecimento da sua estrutura e de suas propriedades físicas, químicas e biológicas, vem possibilitando a busca por materiais e técnicas que visem mimetizá-lo através de práticas agrícolas (NOVOTNY et al., 2009).

Os solos de Terra Preta antropogênica possuem coloração escura devido as altas concentrações de matéria orgânica e elementos como Ca, C, Mg, P e Zn (TEIXEIRA et al., 2003). Estas características marcantes destes solos podem estar associadas à ocupação humana, a qual depositou sobre o solo restos de animais e vegetais, além de uma grande quantidade de cinzas e carvão vegetal (MADARI et al., 2009). Portanto, quando presente, o biochar interage de forma benéfica para o aumento da fertilidade do solo.

O biochar adicionado ao solo, em longo prazo, beneficia o solo melhorando a qualidade, com maior retenção e disponibilidade de nutrientes, menores perdas por lixiviação de minerais e outros contaminantes (LEHMANN et al., 2003a), maior disponibilidade de água às plantas, aumento da atividade micorrízica (WARNOCK et al., 2007), e possíveis efeitos benéficos para outros grupos de microrganismos e suas funções no solo. A eficiência do carvão vegetal em aumentar a disponibilidade de nutrientes no solo, conseqüentemente aumentando a produção de biomassa (matéria seca de plantas) e, em geral o potencial produtivo do solo, tem sido reportado em diversos trabalhos (SOHI et al., (2010); KOOKANA et al., 2011).

Segundo Petter (2010), a perda de carbono da biomassa de plantas não carbonizadas em ambientes oxidativos é maior, contribuindo para a diminuição do tempo de permanência do carbono no solo considerando-se o ciclo global do mesmo, o que implica em uma maior taxa de emissão de CO₂ para a atmosfera. Contudo, a degradação e a emissão de carbono de forma mais lenta se faz necessária do ponto de vista ambiental, já que a emissão de CO₂ é uma preocupação mundial, devido sua contribuição para o efeito estufa.

Um dos benefícios resultantes da utilização do biochar é que, além desse material ser utilizado como energia durante sua pirólise, seu subproduto quando produzido de forma

adequada, permitirá a fixação do carbono no solo (PETTER & MADARI, 2012), seja pela sua forma recalcitrante no solo ou em função do aumento da disponibilidade de nutrientes, resultando em maior produção de biomassa e, conseqüentemente maior fixação de CO₂ atmosférico através da fotossíntese (LEHMANN et al., 2003b).

Caso o biochar fosse decomposto em uma velocidade acelerada, estes benefícios seriam afetados em extensão e duração. Portanto, o biochar precisa ser de estabilidade significativamente maior no ambiente do que outra fonte de matéria orgânica, de modo a estender a duração destes benefícios nos solos (LEHMANN & JOSEPH, 2009).

Embora possa demorar mais alguns anos para tecnologias de pirólise alcançarem a uma grande escala (INMAN, 2012), ele têm o potencial de afetar o manejo sustentável do solo em níveis regionais. A contribuição do biochar como uma correção do solo está sendo avaliada sob dois aspectos principais: Um está relacionado com o seu potencial para aumentar a produtividade dos sistemas agrícolas e para combater a degradação do solo, melhorando as propriedades físicas, biológicas e químicas do solo (KOOKANA et al., 2011). E o outro é a sua contribuição para o sequestro de carbono, uma vez que contém carbono em formas estáveis e, conseqüentemente, com uma maior permanência no solo (SANTOS, 2012).

2.2. Dinâmica do fósforo em solos tropicais

Entre os nutrientes, o P é aquele que frequentemente mais limita a produção das culturas nos solos tropicais (CARVALHO et al., 1995). Isso ocorre pelo fato desse nutriente apresentar-se em formas pouco disponíveis aos vegetais e pelas características de elevada adsorção dos solos de regiões tropicais, fazendo com que a eficiência de fertilizantes fosfatados em sistemas de agricultura seja baixa, com somente 10 a 20 % do nutriente sendo usado pelas culturas no ano de aplicação e o valor residual raramente excedendo 50 % (CORRÊA, et al., 2004).

As espécies vegetais são fundamentais na solubilização do P, principalmente o P não-lábil, pois, existem espécies que possuem capacidade de solubilizá-lo mediante a exsudação de suas raízes, a qual contém ácidos orgânicos, e estes, por sua vez, agem na dissolução do colóide, disponibilizando o P na solução do solo (WHALEN & CHANG, 2002).

De acordo com Novais & Mello (2007), espera-se que solos tropicais, apresentem diferentes proporções de caulinita e óxidos de Fe, principalmente por influenciar de forma diferenciada na superfície dos solos, no caso os minerais de argilas, e também nas proporções

de MOS, tenham diferentes comportamentos quanto à superfície específica, o que provavelmente influenciará na adsorção de P no solo e na disponibilidade deste para as plantas. Além desses fatores, a atividade biológica e a vegetação (SANTOS et al., 2008) e, ainda, o manejo e o histórico de uso do solo, também podem influenciar na disponibilidade desse nutriente e, conseqüentemente, na sua absorção pelas plantas (WRIGHT, 2009).

Considerando-se a expressiva influência da MOS na superfície específica dos solos tropicais, sistemas de uso que promovem maior aporte ou preservação da matéria orgânica no solo provavelmente contribuirão para maior alteração na geração de cargas e, conseqüentemente, alterarão a dinâmica de P no solo, além de promoverem aumento do compartimento orgânico de P (Po) (MATOS et al., 2006), ocorrendo um maior aproveitamento pela planta do P oriundo da adubação fosfatada (ANDRADE et al., 2003).

Em relação ao aumento do Po no solo, esse fato é bastante relevante, pois, a aquisição de P pelas plantas que crescem em solos altamente intemperizados, como a maioria dos solos tropicais, é regulada pela mineralização do Po (CONDRON & TIESSEN 2005). Há evidências indiretas de que o Po em solos tropicais cultivados pode ser relativamente lábil, sendo bastante influenciado pelo histórico de uso do solo (NZIGUHEBA & BUNEMANN, (2005); RAIJ et al., 2001).

Segundo Vincent et al. (2010), em solos minerais tropicais, em torno de 30 % do P total está presente na forma orgânica e, dependendo da labilidade, esse estoque pode constituir-se numa importante fonte de P para as plantas. Xavier et al. (2010), avaliando as frações de P em diferentes agroecossistemas, verificaram que a distribuição desse nutriente nos compartimentos orgânicos e inorgânicos foi dependente das características específicas de cada agroecossistema e que a disponibilidade de P estava associada à ciclagem do seu compartimento orgânico.

O P orgânico em Latossolos de ambientes fisionomicamente diferentes no cerrado, verificaram que a vegetação que proporcionava maior entrada de matéria orgânica continha mais Po na forma lábil do que as demais (SANTOS & NETO 2011). Dessa forma, esses resultados mostram que a compreensão das mudanças na disponibilidade de P em função da mineralogia, manejo e histórico de uso do solo pode contribuir para o desenvolvimento de estratégias de manejo que proporcionarão melhora na aquisição de P pela planta e, por conseguinte, maior produtividade nos solos tropicais.

2.3. Matéria orgânica do solo

Em ambientes terrestres, o termo matéria orgânica do solo refere-se a todos os compostos que contêm carbono orgânico no solo, incluindo os microrganismos vivos e mortos, em seus diversos estágios de decomposição (SANTOS & CAMARGO, 1999). Ela pode ser dividida em fração viva (microrganismos vivos) e não viva (frações orgânicas estabilizadas na forma de substâncias húmicas) (SILVA & MENDONÇA, 2007). A MOS é considerada o principal componente do solo, sendo atribuída a ela a capacidade de promover a sustentabilidade agrícola, no qual, é constituída principalmente por C, H, O, N, S e P, sendo que o C compreende cerca de 60% (SANTOS, 2007).

A fração viva (microrganismos), considerada fonte de carbono, é responsável por diversos processos que ocorrem no solo e é considerada uma importante ferramenta para utilização como indicador de qualidade biológica do solo (SILVEIRA & FREITAS, 2007). Por outro lado, as substâncias húmicas, são as principais componentes da matéria orgânica, constituindo a reserva orgânica ou o dreno do solo e podem ser divididas em ácido fúlvico, ácido húmico e humina (SILVA & MENDONÇA, 2007).

Apresenta ainda um papel importante no condicionamento de propriedades físicas, químicas e biológicas em solos tropicais, como por exemplo, no incremento da capacidade de troca catiônica (CTC), na estruturação do solo e retenção de umidade, além de constituir o principal compartimento para o carbono orgânico sequestrado no solo (MADARI et al., 2009). Além de disponibilizar nutrientes às plantas, proporciona um ambiente adequado ao estabelecimento e à atividade da microbiota.

A matéria orgânica do solo tem sido utilizada como um importante indicador da qualidade do solo devido sua relação com inúmeras propriedades químicas, físicas e biológicas (REICHERT et al., 2003). Dentre suas diversas frações, destacam a importância do conhecimento das frações húmicas, por demonstrarem boa sensibilidade às perturbações causadas pelos sistemas de uso das terras (CUNHA et al., 2001). Nesta ótica, analisar a distribuição destas frações é importante para buscar a sustentabilidade dos ambientes, já que as substâncias húmicas constituem quase a totalidade da MOS e desempenham papel importante na reatividade química do solo (STEVENSON, 1994).

A quantidade de carbono orgânico em um sistema agrícola é o resultado entre a taxa de adição de resíduos, a taxa de mineralização e a taxa de humificação (CAMPOS et al., 2004). A conversão de ecossistemas naturais para sistemas agrícolas ou pecuários resulta em declínio da MOS, sendo maior esta intensidade em áreas de relevo ondulado, nas quais se acentuam os processos erosivos (GALVÃO et al., 2005). As perdas de MOS em agroecossistemas são decorrentes, principalmente, do preparo do solo, especialmente pela

intensidade de revolvimento, que influencia a temperatura, umidade e aeração, ruptura de agregados e a incorporação da restiva ao solo (BAYER, 1997).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABENZA, P.D. Evaluación de efecto de varios tipo de Biochar en suelo y planta. **Facultat de Ciències Secció de Ciències Ambientals**. Bellaterra, Junio, 2012.

ANDRADE, F.V.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ VENEGAS, V.H.; NOVAIS, R.F. Addition of organic and humic acids to Latosols and phosphate adsorption effects. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1003-1011, 2003.

BAYER, C.; MIELNICKZUC, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n.1, p. 105-112, 1997.

CAMPOS, D.V.B.; BRAZ, S.P.; MACHADO, P.L.O.A.; SANTOS, G.A.; LIMA, E.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. Mudança no conteúdo de matéria orgânica do solo sob a cultura de cana-de-açúcar e pastagem em argissolo de Conceição da Barra-ES. **Seropédica: Embrapa Agrobiologia**, 2004. 4p. (Embrapa Agrobiologia. Circular Técnica, 10).

CONDRON, L.M.; TIESSEN, H. Interactions of organic phosphorus in terrestrial ecosystems. in: TURNER, B.L.; FROSSARD, E.; BALDWIN, D.S., ed. Organic phosphorus in the environment. Wallingford, **CAB International**, p.295-308, 2005.

CORRÊA, J.C.; MAUAD, M; ROSOLEM, C.A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciadospela adubação fosfatada e cobertura vegetal. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.39, n.12, p.1231-1237, 2004.

CUNHA, T.J.F.; MACEDO, J.R.; RIBEIRO, L.P.; PALMIERI, F.; FREITAS, P.L.; AGUIAR, A.C. Impacto do manejo convencional sobre propriedades físicas e substâncias húmicas de solos sob Cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.1, n.1, p.27-36, 2001.

GALVÃO, S.R.S.; SALCEDO, I.H.; SANTOS, A.C. Frações de carbono e nitrogênio em função da textura, do relevo e do uso do solo na microbacia do agreste em Vaca Brava (PB). **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, MG, v.29, n. 6, p.955-962, 2005.

HA, M.; BUMGUARDNER, M.; MUNSTER, C.; VIETOR, D.; CAPAREDA, S.; PALMA, M.; PROVIN, T. Optimizing the Logistics of a Mobile Fast Pyrolysis System for Sustainable **Bio-crude Oil Production**. 2010.

INMAN, M. Notícias característica: cozinhar combustível. **Nature Climate Change**, v.2, p.218-220, 2012.

KOOKANA, R.S.; SARMAH, A.K.; VAN ZWIETEN, L.; KRULL, E.; SINGH, B. Chapter three-Biochar Application to Soil: Agronomic and Environmental Benefits and Unintended Consequences. In: DONALD, L.S. **Advances in Agronomy**, v.112, p.103-143, 2011.

LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GERMAN, L.A.; MCCANN, J.; MARTINS, G.C.; MOREIRA, A. Soil Fertility and Production Potential. In LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (ed) **Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management**, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, p.105-124, 2003b.

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

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for Environmental Management. **Science and Technology**. Earthscan Publ., London, p.1-12, 2009.

MADARI, B.E.; CUNHA, T.J.F.; NOVOTNY, E.H.; MILORI, D.M. B.P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V.M.; COELHO, M.R.; SANTOS, G.A. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (terra preta de índio). Suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. in TEIXEIRA, W.G.; KERN, D.C.; MADARI, B.E.; LIMA, E.N.; WOODS, W.I. As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas. 1º. ed. **Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental**. p.172-188, 2009.

MATOS, E.S.; MENDONÇA, E.S.; VILLANI, E.M.A.; LEITE, L.F.C.; GALVÃO, J.C.C. Formas de fósforo no solo em sistemas de milho exclusivo e consorciado com feijão sob adubação orgânica e mineral. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v.30; p.625-632, 2006.

MORALES, M.M. **Efeito do biocarvão sobre o comportamento da matéria orgânica e do fósforo em solo degradado**. 2010. 88p. Tese (Doutorado em Agronomia).

NÓBREGA, I. P. C. **Efeitos do Biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: Sequestro de carbono no solo**. 46p. Lisboa, 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente). Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa.

NOVAIS, R.F.; MELLO, J.W.V. Relação solo-planta. in: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p.134-177, 2007.

NOVOTNY, E.H.; HAYES, M. H.B.; MADARI, B.E.; BONAGAMBA, T.J.; AZEVEDO, E. R.; SOUZA, A.A.; SONG, G.; NOGUEIRA, C.M.; MANGRICH, A.S. Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon Region for the Utilisation of Charcoal for Soil Amendment. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.20, p.1003-1010, 2009.

NZIGUHEBA, G.; BUNEMANN, E.K. Organic phosphorus dynamics in tropical agroecosystems. in: TURNER, B.L.; FROSSARD, E.; BALDWIN, D.S., eds. Organic phosphorus in the environment. Cambridge, **CABI Publishing**, p.243-268, 2005.

PETTER, F.A. **Biomassa carbonizada como condicionador de solo: aspectos agronômicos e ambientais do seu uso em solos de cerrado**. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010. 130p.

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

RAIJ, B.V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v.27, n.2, p.29-48, 2003.

SANTOS, E. **Carbono, nitrogênio e relação C/N em Gleissolo e Cambissolo sob diferentes tipologias vegetais na área de ocorrência da floresta ombrófila densa, Antonina – PR**. 2007. 104p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SANTOS, F.; RASGADO, M.S; BIRD, J.A.A degradação biológica da matéria orgânica em solos florestais pyrogenic temperadas. **Biologia do Solo e Bioquímica**, v.51, p.115-124, 2012.

SANTOS, J.Z.L.; NETO, A.E.F. Resposta do feijoeiro à adubação fosfatada em solos de Cerrado com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35. p.193-202, 2011.

SANTOS, D.R.; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.38. p.576-586, 2008.

SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. 508 p.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; NAIRAM, F.B.; FONTES, R.L.F. (Ed.) **Fertilidade do solo**. SBCS, Viçosa, p.275-374, 2007.

SILVEIRA, A.P.D.; FREITAS, S.S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2007. 312 p.

SOHI, S.P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, E.; BOL, R.A Review of Biochar and its use and function in soil. **Advances in Agronomy**, v.105, p.47-82, 2010.

STEVENSON, F. J. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. 2nd ed. **New York: J. Wiley**, 1994. 496p.

TEIXEIRA, W.G.; MARTINS, G.C. Soil physical characterization. in: LEHMANN, J., KERN, D.C., GLASER, B., WOODS, W.I. (eds) **Amazonian dark earths. Origin, properties, management**. Kluwer: Dordrecht. p.271-286, 2003.

VINCENT, A.G.; TURNER, B.L.; TANNER, E.V.J. Soil organic phosphorus dynamics following perturbation of litter cycling in a tropical moist forest. *Europ. J. Soil Sci.*, v.61, p.48-57, 2010.

WARNOCK, D.D.; LEHMANN, J.; KUYPER, T.W.; RILLING, M. Mycorrhizal responses to biochar in soil: concepts and mechanisms. **Plant and Soil**, v.300, p.9-20, 2007.

WOOLF, D.; AMONETTE, J.E.; STREET-PERROT, F.A.; LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Sustainable biochar to mitigate global climate change. **Nature Communications**, v.1, p.1-9, 2010.

WHALEN, J.K.; CHANG, C. Phosphorus sorption capacities of calcareous soils receiving cattle manure applications for 25 years. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.33, p.1011-1026, 2002.

WRIGHT, A.L. Soil phosphorus stocks and distribution in chemical fractions for long-term sugarcane, pasture, turfgrass, and forest systems in Florida. *Nutr. Cycling Agroec.*, v.83, p.223-231, 2009.

XAVIER, F.A.; ALMEIDA, E.F.; IRENE, M.C.; MENDONÇA, E.S. Soil phosphorus distribution in sequentially extracted fractions in tropical coffee-agroecosystems in the Atlantic Forest biome, Southeastern Brazil. **Nutr. Cycl. Agroecosyst.**, v.89, p.31-34, 2010.

CAPÍTULO 2

DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR E DA PARTE AÉREA DA SOJA SOB APLICAÇÃO DE BIOCHAR E ADUBAÇÃO FOSFATADA

RESUMO

MEDEIROS, ISNARA REGINA ASSUNÇÃO. **Desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de soja sob aplicação de biochar e adubação fosfatada**. 2014. 19p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí, PI¹.

O biochar (biomassa carbonizada ou biocarvão) é um importante condicionador do solo, e pode melhorar a fertilidade do solo, sequestrar carbono e aumentar a produtividade das culturas. Este estudo foi desenvolvido com intuito de avaliar os efeitos de diferentes doses de biochar e da adubação fosfatada sobre o crescimento radicular, produtividade e teores de nutrientes da soja. O experimento foi instalado na Embrapa Meio-Norte, no município de Parnaíba-PI, em delineamentos de blocos casualizados 5x2 com quatro repetições, totalizando 40 parcelas. Os níveis de biochar foram de 0, 5, 10, 20 e 40 t ha⁻¹, com 0 e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Foram determinadas no período de floração o crescimento, diâmetro, densidade e área radicular, além dos números de nódulos, biomassa seca das raízes, dos nódulos e da parte aérea. Quando os grãos se encontraram com 14% de umidade foi realizada a colheita da soja para avaliar a produtividade. O biochar contribuiu para o número de nódulos, biomassa dos nódulos, das raízes e da parte aérea, e associado a adubação fosfatada para a área e comprimento radicular. A produtividade da soja foi satisfatória para as doses de biochar com e sem adubação fosfatada, sendo esta uma característica fundamental para a produção agrícola em solos com deficiência em nutrientes como no de um Latossolo. O incremento de biochar associado a adubação fosfatada no solo apresentaram respostas positivas na soja, que ocorreu uma melhor assimilação de nutrientes, constatando efeitos positivos para a maioria das variáveis da planta.

Palavras-chave: biocarvão, condicionador do solo, nódulos, raízes, parte aérea

¹Orientador: Dr. Luiz Fernando Carvalho Leite – Embrapa Meio-Norte - PI.

¹Co-orientador: Dr. Herony Ulisses Mehl – Embrapa Meio-Norte - PI.

ABSTRACT

MEDEIROS, Isnara Regina Assunção. **Root growth and nutrient dynamics in Oxisol cultivated with soybeans under different doses of biochar with and without phosphorus fertilization.** 2014. 19p. Dissertation (Master in Soil and Plant Nutrition) - Federal University of Piauí, PI¹

The biochar (biochar carbonized or biomass) is an important soil conditioner and can improve soil fertility, sequester carbon and increase crop productivity. This study was developed in order to assess the effects of different doses of biochar and phosphorus fertilization on root growth, yield and nutrient content of soybeans. The experiment was carried out at Embrapa Meio-Norte in the city of Parnaíba -PI in a randomized complete block designs with four replications 5x2 total of 40 plots. Biochar levels were 0, 5, 10, 20 and 40 t ha⁻¹ at 0 and 60 kg ha⁻¹ of P₂O₅. The flowering period were determined growth, diameter, density and root area, and the number of nodules, dry weight of roots, nodules and shoots. Still quantified the amounts of N, P and K in roots and shoots. Later, when the grains were 14 % moisture soybean harvest was performed to assess the productivity. The biochar had a positive effect on the number of nodules, dry weight of nodules, dry weight of roots and shoots, area and root length, and interaction between treatments with biochar fertilization. For soybean productivity, biochar positively influenced by the presence and absence of phosphate fertilizer, being a key feature for agricultural production in soils with nutrient deficiency as an Oxisol. The increase in phosphate fertilizer with biochar in soil contributes to significant plant responses consequently better assimilation of nutrients, so finding positive effects for most variables studied here.

Keywords: biochar, soil conditioner, nodules, roots, shoots.

¹Adviser: Dr. Luiz Fernando Carvalho Leite – Embrapa Meio-Norte - PI.

¹Co-adviser: Dr. Herony Ulisses Mehl – Embrapa Meio-Norte - PI.

INTRODUÇÃO

O termo biochar (do grego bios = vida e do inglês char = carvão) foi proposto a partir dos estudos da matéria orgânica das Terras Pretas de Índios (TPI's), em concordância com questionamentos que envolvem o manejo sustentável de solos, mudanças climáticas globais e estoque de carbono (LEHMANN & JOSEPH, 2009).

O biochar é rico em carbono pirogênico, cuja estrutura aromática do seu arranjo molecular propicia alta capacidade de troca catiônica (CTC), com vantagem adicional por ser quimicamente estável (MADARI et al., 2009). O C pirogênico é um constituinte básico da biomassa carbonizada (carvão vegetal), apresenta alta porosidade e elevada área de superfície específica, fato que confere condições favoráveis para absorção de compostos orgânicos solúveis, e contribui para a disponibilidade de nutrientes e para a retenção de água no solo, principalmente os de textura arenosa (MADARI et al., 2006).

Estudos realizados nos últimos cinco anos sugerem que a estabilidade do biochar dure até 1000 anos em ambiente natural (BEESLEY et al., 2010), que indica maior eficiência para a qualidade do solo, quando comparado a qualquer outro corretivo orgânico do solo (LEHMANN & JOSEPH, 2009). A adição de biochar ao solo aumenta a fertilidade e induz a um maior rendimento das culturas nos solos pobres. Esse efeito é explicado pelo aumento de estímulo dos microrganismos no solo que, conseqüentemente, promovem o maiores renovações de nutrientes retidos nos resíduos de biomassa. Adicionalmente, tal efeito provoca um maior capacidade de armazenamento de água e da capacidade de troca de cátions (CTC) dos solos, devido à enorme área superficial do biochar. A redução da acidez e da disponibilidade de Al (devido a CTC do biochar) favorecem o ambiente radicular, e promove também a retenção de nutrientes e a absorção de N pela planta (VAN ZWIETEN et al., 2010).

As mudanças ocorridas nas características físicas do solo se deve ao fato da presença do biochar estimular as plantas a crescerem mais, por apresentar uma maior porosidade, maior estruturação, por causa da disponibilidade de água na zona próxima ao sistema radicular, uma vez que esta é determinada principalmente pela composição física dos solos (DOWNIE et al., 2009). O biochar contribui também para o aumento da biomassa vegetal e para a produção de grãos em áreas de degradadas, conseqüentemente favorece a preservação de terras virgens e reduz a necessidade do aumento de áreas com baixo potencial produtivo já plantadas (PETTER & MADARI, 2012). Por ser uma forma estável da matéria orgânica do solo, o biochar, na forma de fragmentos muito pequenos, apresenta atividade química em sua

superfície absorvendo compostos orgânicos solúveis, e servindo de abrigo para os microrganismos do solo (BENITES et al., 2005).

Em solos mais pobres em nutrientes é necessário a adição de material orgânico no solo para disponibilizar um maior teor de P ao solo, com isso o biochar (fonte rica em fósforo), torna-se uma fonte viável para se adicionar a estes solos, pelo P presente no material ou por competição de compostos orgânicos através de sítios de trocas no solo que reduziriam a fixação (PAVINATO & ROSOLEM, 2008). Considerando também a participação das raízes das plantas na redistribuição do P no solo, uma vez que o uso de plantas com sistemas radiculares fasciculados resultam numa reciclagem mais intensa do P no solo, tornando os solos com biochar mais propícios à absorção de fósforo pelas plantas (DUIKER & BEEGLE, 2006). Neste sentido, com o presente estudo objetivou-se determinar o impacto de diferentes doses de biochar com e sem adubação fosfatada sobre o crescimento, distribuição do sistema radicular e a produtividade de soja cultivada em um Latossolo Amarelo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e histórico da área experimental

O experimento foi instalado em campo experimental da Embrapa Meio-Norte em Parnaíba-PI, (03° 05' 00" S e 41° 46' 05" W, altitude 46,8 m) na região norte do estado (Figura 1).



Figura 1. Localização da área experimental

O clima da região é do tipo Aw (topical chuvoso) segundo a classificação de Köppen, com verões chuvosos e invernos secos, apresentando precipitação média anual (Figura 2) de 1,077 mm (BASTOS, et al. 2012). O solo da área em estudo é um Latossolo Amarelo.

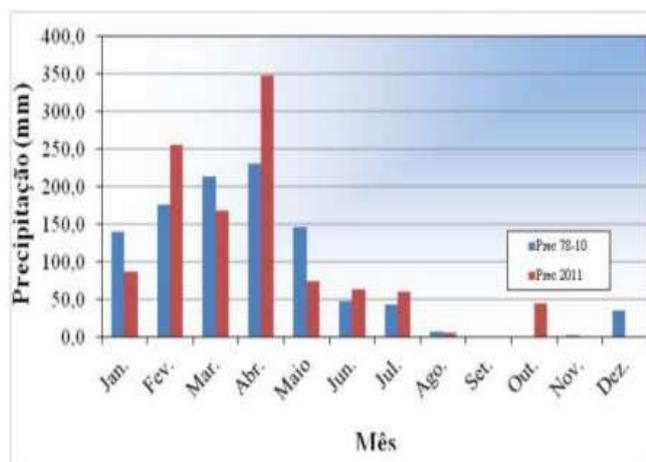


Figura 2. Totais mensais da precipitação pluviométrica referentes a 2011 e valores médios dos totais mensais da precipitação pluviométrica referentes ao período de 1978 a 2010. Parnaíba, PI.

Após a remoção da floresta nativa, a área experimental foi conduzida sob plantio de gramíneas após a remoção da floresta nativa, até o ano de 2010, onde foi realizada uma

gradagem e aração para implantação do experimento. A área vem sendo utilizada há três anos, com o quinto ciclo consecutivo de plantio de soja, com os mesmos procedimentos de adubações de um ciclo para outro. As características granulométricas e químicas do solo no início do experimento em 2011 e 2013 na camada 0-20 cm são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo da área antes da instalação do experimento no Município de Parnaíba-PI. Ano 2011 e 2013.

DADOS DO ANO 2011								
pH	MO	Ca	Mg	Al	H+Al	P	K	Na
H ₂ O	g kg ⁻¹	.....	mmol _c dm ⁻³	.....	.....	.....mg dm ⁻³	.....	cmol _c dm ⁻³
7,2	6,59	1,45	0,68	0,02	2,06	24,20	0,05	0,01
AG*	AF**	Silte	Argila	CTC	CT***	v****	m*****	SB
.....	%.....	.....	.....	cmol _c dm ⁻³	Areia	.....	%.....	cmol _c dm ⁻³
48,95	39,65	2,80	8,60	4,25	franca	51,50	0,90	2,19
DADOS DO ANO 2013								
pH	MO	Ca	Mg	Al	H+Al	K	P	
H ₂ O	g/kg	.....	mmol _c dm ⁻³	.....	.....	mg dm ⁻³	...mg dm ⁻³	
7,13	1,63	5,70	0,722	0,005	1,77	0,101	15,95	

*AG= Areia Grossa; **AF= Areia Fina; ***CT=Classificação textural; ****v= saturação por bases; *****= saturação por Al;

O biochar utilizado no experimento foi obtido por pirólise lenta com aproximadamente 450°C de material lenhoso, nesse caso foi o *Eucalypto sp.*. O tamanho das partículas foi uniformizado com auxílio de triturador de forragem, de modo a passarem em peneira de 2 mm. O material foi aplicado manualmente ao solo e incorporado com enxada na camada de 0-10 cm. Posteriormente, foram abertos sulcos para efetuar a adubação e plantio. As características químicas do biochar empregado são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Características químicas do biochar que foi adicionado ao solo na área experimental no Município de Parnaíba-PI.

.....	pH	.....	Ca	Mg	Al	H+Al	P	K	Cu
H ₂ O	KCl(1M)	.....	.....	mmol _c dm ⁻³	.....	.....	.....	mg dm ⁻³	.....
7,2	6,15	23,67	7,62	0	0	64,5	789	0,2	
Zn	Fe	Mn	CO*	C _{tot}	N _{tot}	NH ₄	NO ₃	CE**	
.....	mg dm ⁻³	.....	g kg ⁻¹	.....%	.....	.....	mg kg ⁻¹	.....	μs cm ⁻¹
1,5	12,85	2,3	94,2	74,3	1,18	17,4	0	3573	

*CO= Carbono Oxidável (Walkley-Black); **CE= Condutividade Elétrica (cm⁻¹).

A fonte de fósforo utilizada foi o superfosfato simples (P₂O₅) com 60 kg ha⁻¹. Adicionalmente, todas as parcelas do experimento foram adubadas com 20 kg ha⁻¹ de K₂O no

sulco de plantio e 40 kg ha⁻¹ de K₂O em cobertura, 30 dias depois do plantio. Também foi utilizado o FTE (Fritted Trace Elements) como fonte de micronutrientes, sendo 50 kg ha⁻¹. A cultivar de soja utilizada foi a BRS Tracajá, cujas sementes foram inoculadas antes do plantio com estirpes do gênero *Bradyrhizobium*, a BR-3262 na taxa de 500g de inoculante para 50 kg de sementes.

2.2. Tratamentos e delineamento experimental

Foram avaliadas no presente estudo, cinco doses de biochar (0, 5, 10, 20 e 40 Mg ha⁻¹) sem e com adubação fosfatada (0 e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅). Adotou-se o delineamento experimental de blocos casualizados, no esquema fatorial 5 x 2, com quatro repetições. As unidades experimentais foram constituídas de parcelas de 2 x 3 m (6 m²), totalizando 240 m² de área útil, as plantas foram arranjadas com espaçamentos de 0,07 m entre plantas e 0,40 m entre fileiras.

2.3 Análises da planta

2.3.1. Determinação do número de nódulos, das massas dos nódulos, da parte aérea e radicular, e a produtividade.

A avaliação da nodulação nas plantas de soja e das raízes foi realizada no estágio de pleno florescimento, a partir de três plantas por parcela. Com o auxílio de uma pá foram retirados os torrões medindo aproximadamente 30x21cm, na profundidade de 40 cm, sendo posteriormente colocados em cima de um saco plástico. O material das respectivas plantas foi coletado e colocado em depósito com a identificação para cada tratamento. Nas três plantas de cada parcela, os nódulos foram separados das raízes e contados manualmente e uma média foi calculada por tratamento. Em seguida, os nódulos, a parte aérea e as raízes foram levados para secagem em estufa a 65°C durante 72 horas até peso constante, para obtenção de suas massas. Por ocasião da colheita da soja, também se avaliou a produtividade de grãos, com posterior padronização da umidade dos grãos em 14%. Onde foram utilizadas duas fileiras úteis para a colheita e a outra para a determinação das demais variáveis.

2.3.2. Determinação do comprimento, diâmetro, densidade e área do sistema radicular.

Em etapa seguinte, para obtenção das variáveis de comprimento, densidade, diâmetro e área do sistema radicular, foi utilizado um equipam de escaneamento de raízes (Figura 3A),

onde as mesmas foram digitalizadas e realizada a leitura ótica, na resolução de 400 dpi (FREDDI et al., 2009), Delta-T Scan Splash Cover (Figura 3B), com seu respectivo software para leituras dos dados obtidos, para tal procedimento as raízes foram colocadas separadamente em bandejas medindo 20x30cm com fundo de vidro e submersas em água, e coberta com tampa de forma para que não ficassem bolhas de ar entre o fundo da bandeja e a tampa. Posteriormente as bandejas foram ao Delta-T para escaneamento. Em seguida, a imagem das raízes foram capturadas e salvas no computador de acordo com seu respectivo tratamento (Figura 3C). Essas imagens foram processadas pelo *software do scanner* que fez a leitura (Figura 3D), informando o valor de comprimento, densidade, diâmetro e área do sistema radicular. Após este procedimento, as raízes foram levadas para estufa para secagem.

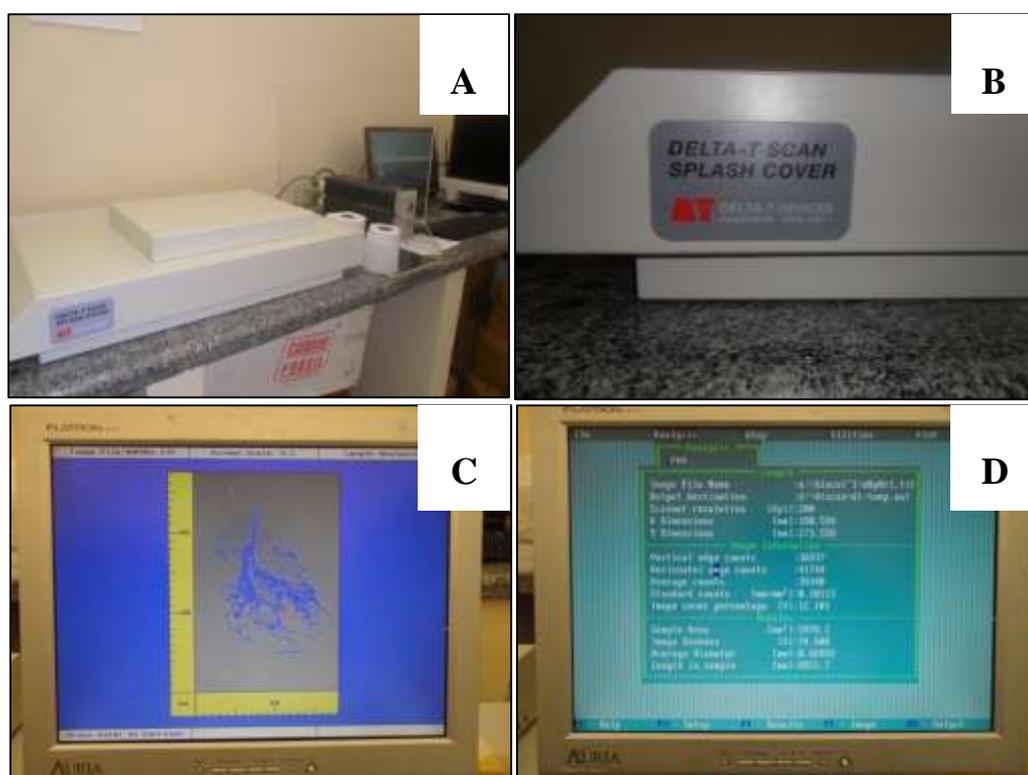


Figura 3. Equipamento de escaneamento das raízes (A), frente do scanner (B), imagem de uma raiz escaneada pelo aparelho (C) e imagem dos dados processados (D).

2.3.3. Análises Estatísticas

Os resultados das variáveis estudadas foram submetidos à análise de variância pelos quadrados médios. Quando constatado efeito significativo dos tratamentos, os dados foram analisados por meio de equações de regressão com modelos de primeiro e segundo grau. Em função do teste t, obteve-se a seleção do melhor modelo, com o auxílio das significâncias de cada parâmetro, aceitando-se o nível de significância até o limite de 5% de probabilidade.

Seguiu-se também a metodologia de Alvarez (2003), para que uma equação seja significativa, não é necessário que todos os coeficientes sejam significativos, mas, a significância do modelo deve estar explicitamente apresentada na equação (em cada coeficiente de regressão) e não somente com apresentação da significância do R^2 .

Para indicar adequadamente as significâncias usaram-se os símbolos: n.s.: não significativo; *: significativo ($0.05 > p > 0.01$); **: significativo ($0.01 > p > 0.001$); ***: significativo ($p < 0.001$). Para todas as análises, usou-se o software SAS (SAS INSTITUTE, 2014).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As doses de biochar aplicadas e incorporadas ao solo proporcionaram efeitos significativos nos tratamentos com e sem adubação fosfatada para a maioria das variáveis estudadas. A variação entre os tratamentos permitiu ajustes de modelos lineares e quadráticos (Tabela 3).

O número de nódulos decresceu linearmente sem adubação fosfatada e de forma quadrática com adubação fosfatada em função das doses de biochar, até a dose de 12,85 Mg ha⁻¹ de biochar (Figura 4A). Por outro lado, a massa dos nódulos não foi significativa nos tratamentos com adubação fosfatada, porém, os tratamentos sem adubação foram significativos e ajustaram-se ao modelo quadrático com dose mínima 18,10 Mg ha⁻¹ (Figura 4B).

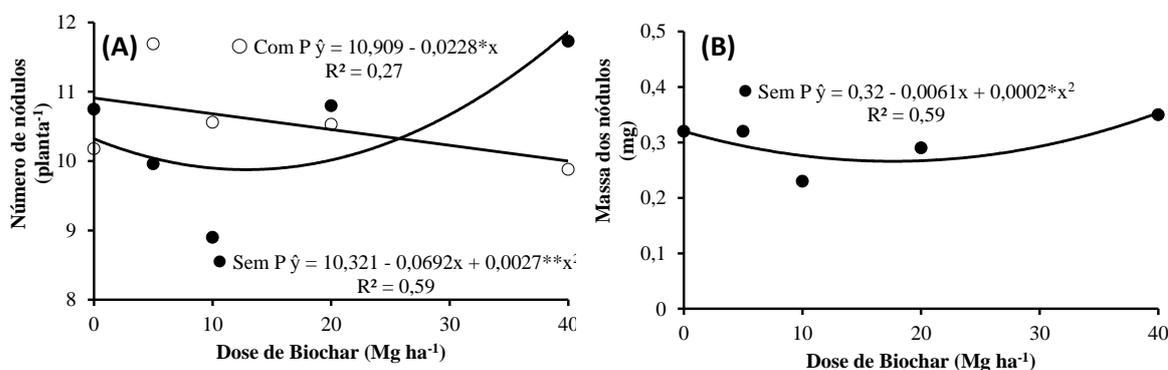


Figura 4. Número de nódulos (A) e massa dos nódulos (B) em função de diferentes doses de biochar, sem e com adubação fosfatada (0 e 60 kg ha⁻¹) em Parnaíba - PI, 2013. ns: não significativo; *: significativo (0.05>p>0.01); **: significativo (0.01>p>0.001); ***: significativo (p<0.001).

Neste caso, pode ter ocorrido a ação de microrganismos capazes de mineralizar o fósforo presente no biochar, com isso os tratamentos com as maiores doses que não receberam adubação fosfatada depois de atingirem o ponto mínimo, promoveram aumento dos números de nódulos e da massa dos nódulos na soja, condizente com observado por Cannavan et al. (2010). De acordo com os autores, quando o biochar se faz presente no solo, há um desenvolvimento de um grupo de microrganismos específicos de comunidade bacteriana, que possivelmente causa maior seleção dos mesmos na região da rizosfera, favorecendo assim a microbiota do solo capaz de degradar alguns nutrientes mais rapidamente e disponibilizando-os para as plantas.

Estes resultados corroboram com Quilliam et al. (2013), que também observaram aumento da nodulação após aplicação de biochar, além de um maior aporte de N₂ nos

agroecossistemas sustentáveis, pois, em muitos ecossistemas agrícolas a nodulação de plantas constitui um importante atributo para a fixação de N₂.

Para a massa da parte aérea houve efeito significativo apenas para os tratamentos sem adubação fosfatada, ajustando-se ao modelo quadrático decrescente na dose mínima de biochar de 19,37 Mg ha⁻¹ (Figura 5A). A massa radicular ajustou-se ao modelo quadrático com adubação fosfatada, aumentando até a dose 20,59 Mg ha⁻¹, contudo, sem adubação fosfatada o ajuste quadrático foi decrescente com ponto mínimo na dose 19,85 Mg ha⁻¹ (Figura 5B).

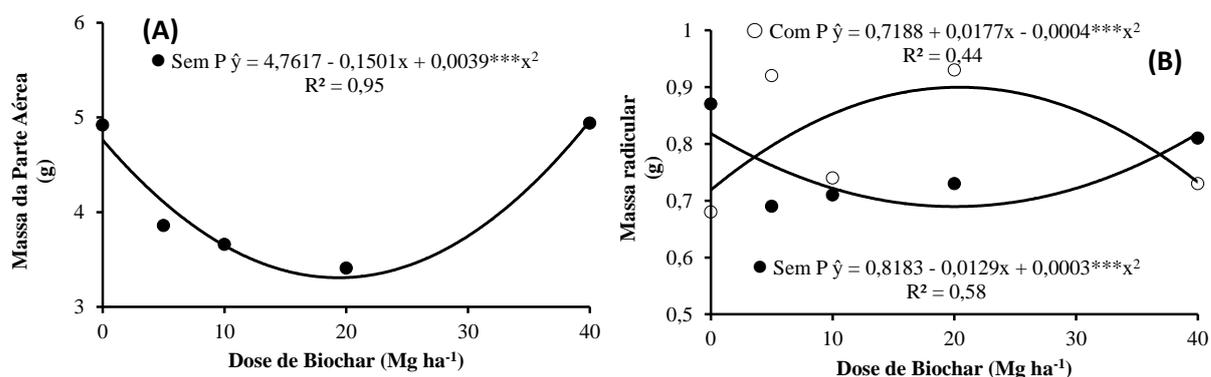


Figura 5. Massa da parte aérea (A) e massa radicular (B) em função de diferentes doses de biochar, sem e com adubação fosfatada (0 e 60 kg ha⁻¹) em Parnaíba - PI, 2013. ns: não significativo; *: significativo (0.05>p>0.01); **: significativo (0.01>p>0.001); ***: significativo (p<0.001).

Observou-se também que os resultados das massas tanto dos nódulos como da parte aérea apresentaram respostas semelhantes para os tratamentos sem adubação fosfatada, aumentando a partir da dose 20 Mg ha⁻¹. Isto pode estar associado à presença de matéria orgânica no solo, proveniente dessas doses de biochar, que interagiram com a microbiota do solo, no entanto, para a massa radicular foi possível observar que ocorreu exatamente o inverso, onde o excesso de fósforo concomitante as doses biochar podem ter saturado o solo com esse nutrientes, aumentando a possibilidade de ter causado até toxidez as plantas. Resultados semelhantes foram reportados em vários trabalhos Madari et al. (2006), Sohi et al. (2010) e Santos et al. (2012).

De acordo com Petter et al. (2012), as concentrações de nutrientes contidos no biochar, principalmente P e S, são passíveis de suprir as plantas, dependendo da cultura. O uso de biochar pode ser uma alternativa para o aumento da produção de biomassa vegetal.

Nogueira et al. (2010), ao avaliar o aumento na biomassa das raízes e na parte aérea com a cultura do milho, também observaram resultados satisfatórios para aplicação do biochar com adubação, e atribuíram a outros mecanismos, tais como a presença de microrganismos capazes de assimilar e aumentar a disponibilidade dos nutrientes, para aproveitar as variações

de disponibilidade no espaço e no tempo. Outra explicação é que os microrganismos manipulam a alocação de recursos da planta diretamente pela liberação de fatores de crescimento das plantas no solo (QUAGGIOTI et al., 2004).

Estudos com adição de biochar têm frequentemente relatado efeito positivo sobre os microrganismos do solo, por exemplo, maior fixação biológica de N₂ por leguminosas e rizóbios com elevados níveis de colonização micorrízica, promovendo um maior crescimento das plantas (RONDON et al., (2007); WARNOCK et al., (2007); GRABER et al., 2010).

Para o comprimento radicular, observaram-se semelhanças entre os tratamentos com e sem adubação fosfatada (Figura 6A), apresentando efeitos quadráticos em função das doses de biochar, com dose mínima de 17,70 Mg ha⁻¹ sem adubação e de 22,85 Mg ha⁻¹ com adubação fosfatada, ocorrendo assim, a interação entre as doses de biochar com e sem fósforo. Para a área radicular, observaram-se comportamentos diferentes com e sem adubação fosfatada entre as doses de biochar, com ajustes lineares crescentes para os tratamentos sem adubação e decrescente para os tratamentos com adubação fosfatada (Figura 6B), constatando que houve interação entre as doses de biochar com e sem adubação fosfatada.

Estes resultados reforçam ainda mais a dinâmica do biochar como fonte de matéria orgânica e condicionador do solo, e a medida que vai sendo degradado pelos microrganismos do solo vai liberando nutrientes para as plantas e dispensando o uso de fertilizantes minerais, como neste caso a adubação fosfatada.

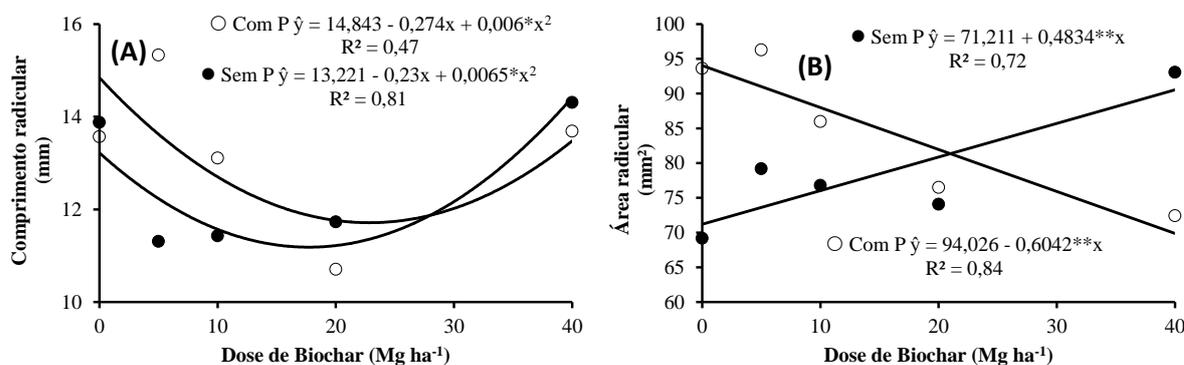


Figura 6. Comprimento radicular (A) e da área radicular (B), em função de diferentes doses de biochar, sem e com adubação fosfatada (0 e 60 kg ha⁻¹) em Parnaíba - PI, 2013. ns: não significativo; *: significativo (0.05>p>0.01); **: significativo (0.01>p>0.001); ***: significativo (p<0.001).

Petter (2010), relata que as respostas fisiológicas aumentam à medida que o biochar vai sendo decomposto e liberando nutrientes para o solo, com isso vão sendo assimilados pela planta. Portanto, o biochar vai liberando os nutrientes de forma gradativa, proporcionando um melhor rendimento para estas variáveis em estudo do sistema radicular e das plantas.

Percebe-se que a presença do biochar favorece situações para que o fósforo fique disponível em solução e seja assimilado pelas plantas, pois, os tratamentos que receberam adubação fosfatada mostraram-se superiores nas menores doses de biochar.

Para o diâmetro radicular não foi observado nenhum efeito nos tratamentos sem adubação fosfatada, por outro lado houve significância para os tratamentos que receberam a adubação fosfatada, e ajustou-se ao modelo linear crescente (Figura 7A). E a densidade radicular observou-se efeito contrários do diâmetro, onde foi significativo para as doses de biochar nos tratamentos sem adubação fosfatada e se ajustou ao modelo quadrático, com dose mínima 22,44 Mg ha⁻¹ (Figura 7B). O teor de P disponível no solo influenciou diretamente no diâmetro radicular, uma vez que simultaneamente foram aumentando as doses de biochar, por outro lado, a densidade mostrou-se independente da adubação.

O P quando associado a matéria orgânica influencia na sua disponibilidade para as plantas, principalmente em solos mais arenosos, embora, este trabalho tenha sido num Latossolo, más, mesmo assim possui grande influência em sua granulometria por se tratar de uma região litorânea com muitos ventos e partículas soltas de solo, corroborando com alguns trabalhos encontrados na literatura (LEHMANN et al., (2003); GLASER et al., 2002).

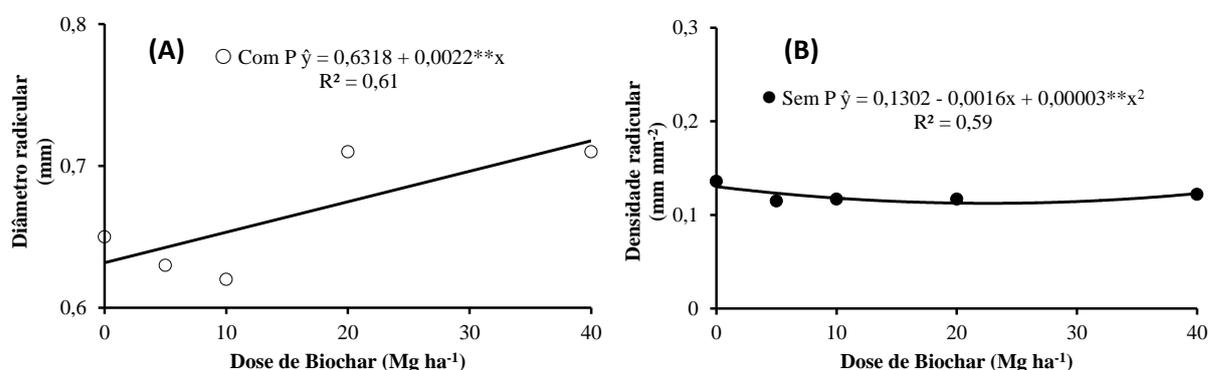


Figura 7. Diâmetro radicular (A) e densidade radicular (B), em função de diferentes doses de biochar, sem e com adubação fosfatada (0 e 60 kg ha⁻¹) em Parnaíba - PI, 2013. ns: não significativo; *: significativo (0.05>p>0.01); **: significativo (0.01>p>0.001); ***: significativo (p<0.001).

A produtividade da soja foi influenciada pelas doses de biochar com a adubação fosfatada, e houve ajuste ao modelo quadrático com dose mínima de 19,88 Mg ha⁻¹ (Figura 8), no entanto, não houve significância para os tratamentos sem adubação fosfatada. Isso pode ser explicado pelo biochar possuir características favoráveis para um manejo ideal do solo, que interfere diretamente em melhorias para as plantas, tais como retenção de água, fonte de nutrientes, aeração e outras características físicas, contribuíram para o fator produtividade.

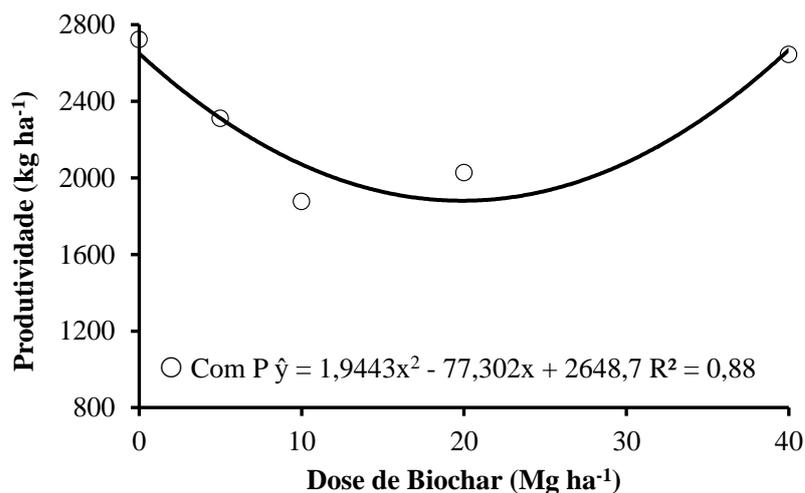


Figura 8. Produtividade de soja em função de diferentes doses de biochar, sem e com adubação fosfatada (0 e 60 kg ha⁻¹) em Parnaíba - PI, 2013. ns: não significativo; *: significativo (0.05>p>0.01); **: significativo (0.01>p>0.001); ***: significativo (p<0.001).

Foram evidenciados em vários trabalhos realizados que a aplicação do biochar no solo aumenta a produtividade das culturas, aumenta a fertilidade do solo, reduz a lixiviação de nutrientes e estimula a atividade microbiana do solo, fornecendo assim nutrientes as plantas (KOLB et al., (2009); JEFFERY et al., (2010); SINGH et al., (2010); MAJOR et al., 2010).

Valadão Júnior et al. (2008), notaram aumentos da produtividade dessa leguminosa frente à adição de doses crescentes de superfosfato triplo, em Latossolos ácidos com carência de P, similar ao observado neste trabalho, visto que os teores de P iniciais foram considerados suficientes para a cultura da soja, porém, a medida que foi aumentando as doses, observou-se um decréscimo, podendo ter ocorrido a fixação deste elemento na parte sólida do solo. A produtividade aumentou com os acréscimos das doses, efeito este podendo estar relacionado a adubação fosfatada.

De acordo com Petter, (2010), o biochar tem efeito na retenção de nutrientes no solo, pois, com o aumento de carvão aumenta-se a fertilidade do solo, e também o efeito na disponibilização desses nutrientes para as plantas. Esse efeito é gradativo, ou por gradiente de concentração, pois se a dissolução dos minerais fosse rápida a lixiviação ocorreria e a fertilidade cairia drasticamente, ou seja, o efeito duplo do carvão pode ser parcialmente explicado pela composição química do biochar. Dessa forma, pode-se observar o efeito do biocarvão no solo pelas comunidades bacterianas, resultando em maior produtividade da cultura da soja.

Tabela 3. Equações de regressão com doses de biochar 0, 5, 10, 20 e 40 Mg ha⁻¹ sem e com adubação fosfatada (0 e 60 kg ha⁻¹) num Latossolo Amarelo, em Parnaíba - PI, 2013.

Níveis de P	Equações	Tipo	Nível crítico	Valor estimado	R ²
VARIÁVEIS					
NÚMEROS DE NÓDULOS (Nº)					
0	$\hat{y} = 10,3257 - 0,0692^A x + 0,0027^{**} x^2$	mínima	12,85	9,88	0,59***
60	$\hat{y} = 10,9121 - 0,0227^* x$	-	-	-	0,27***
MASSA DE NÓDULOS (g)					
0	$\hat{y} = 0,32485 - 0,00641^{n.s} x + 0,00018^* x^2$	mínima	18,10	0,27	0,57*
MASSA DA PARTE AÉREA (g)					
0	$\hat{y} = 4,76739 - 0,15030^{***} x + 0,00388^{***} x^2$	mínima	19,37	3,31	0,95***
MASSA RADICULAR (g)					
0	$\hat{y} = 0,82009 - 0,01265^{***} x + 0,00032^{***} x^2$	mínima	19,85	0,69	0,56***
60	$\hat{y} = 0,72161 + 0,01760^{***} x - 0,00043^{***} x^2$	máxima	20,59	0,90	0,44***
COMPRIMENTO RADICULAR (mm)					
0	$\hat{y} = 13,2277 - 0,2302^* x + 0,0065^* x^2$	mínima	17,70	11,19	0,81*
60	$\hat{y} = 14,8525 - 0,2748^* x + 0,0060^* x^2$	mínima	22,85	11,71	0,47*
ÁREA RADICULAR (mm²)					
0	$\hat{y} = 71,2135 + 0,4834^{**} x$	-	-	-	0,72**
60	$\hat{y} = 94,0310 - 0,6042^{**} x$	-	-	-	0,84***
DENSIDADE RADICULAR (mm mm⁻²)					
0	$\hat{y} = 0,13008 - 0,00152^{**} x + 0,00003^{**} x^2$	mínima	22,44	0,11	0,58*
DIÂMETRO RADICULAR					
60	$\hat{y} = 0,63302 + 0,00207^{**} x$	-	-	-	0,63*
PRODUTIVIDADE (kg ha⁻¹)					
60	$\hat{y} = 2648,73 - 77,30^{***} x + 1,90^{***} x^2$		19,88	1880,38	0,89***

4. CONCLUSÃO

- A aplicação de biochar proporcionou incrementos na nodulação das raízes, no desenvolvimento radicular e na produtividade da cultura da soja, em virtude das melhorias dos atributos químicos do solo, principalmente no que condiz aos Latossolos;
- A adubação fosfatada elevou a massa radicular e produtividade de soja, principalmente quando associado a altas doses de biochar.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ, V.H. Apresentação de equações de regressão e suas interpretações. **Boletim informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.28, n.3, p.28-32. 2003.

BASTOS, E.A.; JÚNIOR, A.S.A.; RODRIGUES, B.H.N. Boletim agrometeorológico de 2011 para o município de Parnaíba-Piauí, **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**. Teresina. Piauí. Embrapa Meio-Norte, 37p. 2012. (Documentos/Embrapa Meio-Norte, ISSN 0104-866x ; 221).

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

BENITES, V.M., MADARI, B.E., MACHADO, P.L.O.A. Matéria Orgânica do Solo. In Wadt, P.G.S. (ed) **Manejo do Solo e Recomendação de Adubação para o Estado do Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, p.93-120. 2005.

CANNAVAN, F.S.; GERMANO, M.G.; MEMDES, L.W.; TSAI, S.M. Bacterial diversity in Biochar and Amazonian Dark Earth soil by pyrosequencing and T-RFLP. In: 3rd International Biochar Conference: Progressing from Terra Preta de Índios to the Whole World. 2010. **Anais em CD...**

DOWNIE, A.; CROSKY, A.; MUNROE, P. Physical Properties of Biochar. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S (ed). **Biochar for Environmental Management: Science and Technology**. 1. Ed. Londres: earthscan, 2009. 416p.

DUIKER, S.W. & BEEGLE, D.B. Soil fertility distributions in long-term no-till, chisel/disk and moldboard plow/disk systems. **Soil & Tillage Research**, v.88, p.30-41, 2006.

FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F.; DUARTE, A.R.; PERES, F.S.C. Compactação do solo e produção de cultivares de milho em Latossolo Vermelho, intervalo hídrico ótimo e sistema radicular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.805-818, 2009.

GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. **Biol Fertil Soils**. v.35. p.219–230. 2002.

GRABER, E.R.; HAREL, Y.M.; KOLTON, M.; CYTRYN, E.; SILBER, A.; DAVID, D.R.; TSECHANSKY, L.; BORENSHTEIN, M.; ELAD, Y. Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. **Plant Soil**. v.337. p.481–496. 2010.

JEFFERY, S.; VERHEIJEN, F.G.A.; VELDE, M.V.D.; BASTOS, A.C. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. **Agric Ecosyst Environ**. v.144. p.175–187. 2010.

KOLB, S.E.; FERMANICH, K.J.; DORNBUSH, M.E.; Effect of charcoal quantity on microbial biomass and activity in temperate soils. **Soil Sci Soc Am J**. v.73. p.1173–1181. 2009.

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

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

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

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

MADARI, B.E.; CUNHA, T.J.F.; NOVOTNY, E.H.; MILORI, D.M.B.P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V.M.; COELHO, M.R.; SANTOS, G.A. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (terra preta de índio). Suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In TEIXEIRA, W.G.; KERN, D.C.; MADARI, B.E.; LIMA, E.N.; WOODS, W.I. As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas. **1º. ed. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental**. p.172-188. 2009.

MAJOR, J.; RONDON, M.; MOLINA, D.; RIHA, S.J.; LEHMANN, J. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. **Plant Soil**. v.333. p.117-128. 2010.

NOGUERA, D.; RONDÓN, M.; LAOSSI, K.R.; HOYOS, V.; LAVELLE, P.; CARVALHO, M.H.C.; BAROT, S. Contrasted effect of biochar and earthworms on rice growth and resource allocation in different soils. **Soil Biology & Biochemistry**. ed.42. p.1017-1027. 2010.

PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.911-920, 2008.

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

PETTER, F.A. **Biomassa carbonizada como condicionador de solo: aspectos agronômicos e ambientais do seu uso em solos de cerrado**. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010. 130p.

QUILLIAM, R.S.; DELUCA, T.H.; JONES, D.L. Biochar application reduces nodulation but increases nitrogenase activity in clover. **Plant Soil**, v.366. p.83-92. 2013.

QUAGGIOTTI, S., RUPERTI, B., PIZZEGHELLO, D., FRANCIOSO, O., TUGNOLI, V., NARDI, S. Effect of low molecular size humic substances on nitrate uptake and expression of

genes involved in nitrate transport in maize (*Zea mays* L.). **Journal of Experimental Botany**, v.55. p.803–813, 2004.

RONDON, M.A.; LEHMANN J.; RAMIREZ, J.; HURTADO, M. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. **Biol Fert Soils** v.43. p.699–708. 2007.

SAS INSTITUTE. SAS® 9.2 Software. Cary, 2014. Disponível em: <<http://support.sas.com/software/92/>> Acesso em: 4 de fevereiro de 2014.

SANTOS, F.; RASGADO, M.S; BIRD , J.A.A degradação biológica da matéria orgânica em solos florestais pyrogenic temperadas. **Biologia do Solo e Bioquímica** , v.51, p.115-124, 2012. SINGH, B.P.; HATTON, B.J.; SINGH, B.; COWIEA, A.L.; KATHURIA, A. Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils. **J Environ Qual**. v.39. p.1224–1235. 2010.

SOHI, S.P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, E.; BOL, R.A Review of Biochar and its use and function in soil. **Advances in Agronomy**, v.105, p.47-82, 2010.

VALADÃO JÚNIOR, D.D.; BERGAMIN, A.C.; VENTUROSO, L.R.; SCHLINDWEIN, J.A.; CARON, B.O. & SCHMIDT, D. Adubação fosfatada na cultura da soja em Rondônia. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.9, n.3. p.369-375. 2008.

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

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

CAPÍTULO 3

DINÂMICA DE CARBONO E NITROGÊNIO DOS ATRIBUTOS BIOLÓGICOS NUM LATOSSOLO SOB BIOCHAR E ADUBAÇÃO FOSFATADA

RESUMO

MEDEIROS, ISNARA REGINA ASSUNÇÃO. **Dinâmica de carbono e nitrogênio dos atributos biológicos num Latossolo sob biochar e adubação fosfatada.** 2014. 20p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí, PI¹

O biochar ou biocarvão é um subproduto da produção de carvão, e uma alternativa para melhoria dos solos pobres em nutrientes. Com características físico-químicas e moleculares favoráveis, quando aplicado ao solo, pode proporcionar benefícios nos atributos químicos, físicos e biológicos, aumentando a produtividade das culturas e influenciando na mitigação dos gases de efeito estufa. No Brasil, ainda são escassos estudos sobre a influência do carvão sobre a qualidade do solo. Este estudo objetivou a avaliar os efeitos de diferentes doses de biochar e da adubação fosfatada sobre a dinâmica do carbono e seus compartimentos em Latossolo Amarelo cultivado com soja. O experimento foi instalado na unidade da Embrapa Meio-Norte, no município de Parnaíba-PI, sob delineamento de blocos casualizados 5x2 com quatro repetições, totalizando 40 parcelas. Os níveis de biochar foram de 0, 5, 10, 20 e 40 Mg.ha⁻¹, com 0 e 60 kg.ha⁻¹ de P₂O₅. As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0-10 e 10-20 cm para determinação dos totais de carbono orgânico (COT) e de nitrogênio (NT), carbono da biomassa (Cmic), nitrogênio da biomassa (Nmic), respirometria e os quocientes metabólico e microbiano. Os estoques de COT e NT foram influenciados positivamente pelo biochar com adubação fosfatada. O biochar contribuiu com a biomassa microbiana junto com adubação fosfatada para o aumento da respiração e dos teores de C e N microbiano. Os quocientes metabólico e microbiano só tiveram interação com as doses de biochar na ausência da adubação fosfatada. O biochar interage positivamente com adubação fosfatada, contribuindo com a melhoria dos atributos biológicos do solo, proporcionando condições favoráveis para estocar C e nutrientes ao solo, sendo uma alternativa viável como condicionador do solo.

Palavras-chave: biomassa microbiana, atividade microbiana, matéria orgânica.

¹Orientador: Dr. Luiz Fernando Carvalho Leite – Embrapa Meio-Norte - PI.

¹Co-orientador: Dr. Herony Ulisses Mehl – Embrapa Meio-Norte - PI.

ABSTRACT

MEDEIROS, Isnara Regina Assunção. **Carbon and nitrogen dynamics of biological attributes under greenhouse conditions under biochar and phosphorus fertilization.** 2014. 20p. Dissertation (Master in Soil and Plant Nutrition) - Federal University of Piauí, PI¹

The biochar or biochar is a byproduct of coal production, and an alternative to improve nutrient-poor soils. Physico-chemical characteristics and favorable molecular, when applied to the soil, can provide benefits in the chemical, physical and biological attributes, increasing crop productivity and influencing at mitigating made greenhouse gases. In Brazil, there are few studies on the influence of coal on soil quality. This study aimed to evaluate the effects of different doses of biochar and phosphate fertilization on the dynamics of carbon and its pools in Oxisol cultivated with soybeans. The experiment was installed on drive Embrapa Mid-North, in the city of Parnaíba-PI, in a randomized block design with four replications 5x2 total of 40 plots. The biochar levels were 0, 5, 10, 20 and 40 Mg ha⁻¹, with 0 to 60 kg ha⁻¹ of P₂O₅. Soil samples were collected at 0-10 cm for determination of total organic carbon (TOC) and nitrogen (TN), biomass carbon (C_{mic}), biomass nitrogen (N_{mic}), respirometry and the metabolic and microbial quotients. The TOC and TN stocks were positively influenced by the biochar with phosphorus fertilization. The biochar contributes to microbial biomass with phosphorus fertilization to increased respiration and microbial C and N contents. The metabolic and microbial quotients only had interaction with biochar doses in the absence of P fertilization. Biochar interacts positively with phosphorus fertilization, contributing to the improvement of biological soil properties, creating conditions favorable to stock C and nutrients to the soil, being a viable alternative as a soil conditioner.

Keywords: microbial biomass, microbial activity, organic matter.

¹Adviser: Dr. Luiz Fernando Carvalho Leite – Embrapa Meio-Norte - PI.

¹Co-adviser: Dr. Herony Ulisses Mehl – Embrapa Meio-Norte - PI.

1. INTRODUÇÃO

O carbono pirogênico, denominado de “Biochar” (LEHMANN et al., 2003), tem potencial para aumentar a fertilidade dos solos em estado de degradação, especialmente por representar uma forma estável da matéria orgânica (MO) em função de suas estruturas aromáticas, constituindo em eficiente ferramenta para promover o aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) do solo (MADARI et al., 2009).

A estabilidade do biochar é de fundamental importância para o manejo ambiental, pois, determina quanto tempo o carbono (C) contido no biochar permanecerá sequestrado no solo, e por quanto tempo pode influenciar as emissões de gases de efeito estufa vindos da pedosfera, contribuindo assim, para a mitigação das mudanças climáticas, além de determinar por quanto tempo o biochar influencia a qualidade do solo (MAIA, 2010).

O carbono orgânico retido no biochar é constituído em sua maior parte de estruturas aromáticas, caracterizadas pela ligação em forma de anel benzênico de átomos de C com oxigênio (O) ou hidrogênio (H) (LEHMAN & JOSEPH, 2009). Essas ligações entre C-O e C-H, governam as estruturas aromáticas estáveis do biochar, sendo utilizadas para medir o grau de aromaticidade dos compostos (HAMMES & SCHMIDT, 2009). As substâncias húmicas nas Terras Pretas de Índio apresentam características diferentes daquelas observadas em solos não antrópicos, resultando em maior potencial de fertilidade desses solos, exercendo papel importante na acumulação de carbono e na retenção e disponibilização de nutrientes para as plantas (CUNHA, (2005) e CUNHA et al., 2007).

A aplicação do biochar no solo, aumenta o tempo de residência de C no solo, comparativamente à aplicação da mesma biomassa não carbonizada diretamente ao solo, por se tratar de um material estável de degradação lenta pelos microrganismos (LEHMANN, 2007). Além disso, o biochar aplicado no solo pode reduzir diretamente as emissões de gases de efeito estufa do solo, tais como o óxido nitroso ou metano (YANAI et al., 2007).

O sequestro de carbono nos solos agrícolas tem sido repetidamente considerado como opção interessante, devido principalmente a grande quantidade de carbono potencialmente pode ser armazenada nos solos. Mudanças nas práticas de lavoura, nas rotações de culturas e

aplicação de resíduos orgânicos (composto, resíduos agrícolas, estrumes), possibilitam o aumento no conteúdo de carbono orgânico ao solo devido ao aumento das entradas de carbono e a redução das taxas de decomposição (MESA et al., 2009).

Em solos brasileiros, a matéria orgânica pode contribuir em até 80% das cargas negativas do solo. Assim, uma variação na quantidade e qualidade da matéria orgânica pode causar grande efeito sobre as propriedades e processos que ocorrem no sistema solo. A matéria orgânica pode, ainda, desempenhar importantes papéis na ciclagem de nutrientes, cuja dinâmica é pouco conhecida. Portanto, o manejo da matéria orgânica visando à conservação e melhoria de sua qualidade é fundamental para a manutenção da sustentabilidade dos agroecossistemas tropicais (MADARI et al., 2010).

O objetivo deste estudo foi avaliar os compartimentos de C e N e os indicadores biológicos num Latossolo com o incremento de biochar em diferentes doses, com e sem adubação fosfatada em um Latossolo Amarelo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e histórico da área experimental

O experimento foi instalado no campo experimental da Embrapa Meio-Norte em Parnaíba-PI, (03°05'00" S e 41°46'05" W, altitude 46,8 m) na região norte do estado (Figura 1).



Figura 1. Localização da área experimental

O clima da região é do tipo Aw (tropical chuvoso) segundo a classificação de Köppen, com verões chuvosos e invernos secos, apresentando precipitação média anual (Figura 2) de 1,077 mm (BASTOS, et al. 2012). O solo da área em estudo é um Latossolo Amarelo.

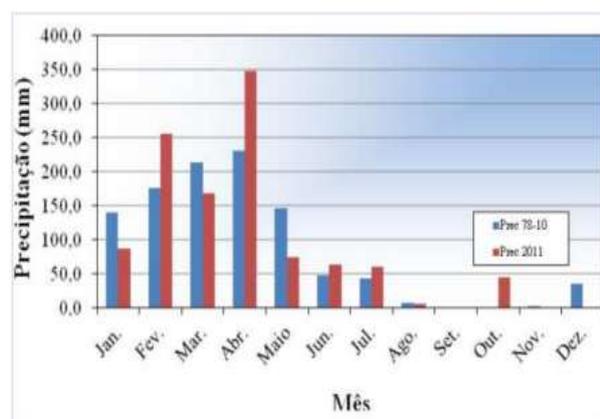


Figura 2. Totais mensais da precipitação pluviométrica referentes a 2011 e valores médios dos totais mensais da precipitação pluviométrica referentes ao período de 1978 a 2010. Parnaíba, PI.

O experimento foi conduzido com plantio com gramíneas após a remoção da floresta nativa, até o ano de 2010, onde foi realizada uma gradagem e aração. A área vem sendo

utilizada há três anos, com o quinto ciclo consecutivo de plantio de soja, com os mesmos procedimentos de adubações de um ciclo para outro. As características granulométricas e químicas do solo no início do experimento em 2011 e de 2013 na camada 0-20 cm são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características granulométricas e químicas da área antes da instalação do experimento no Município de Parnaíba-PI. Ano de 2011 e 2013.

DADOS DO ANO 2011								
pH	MO	Ca	Mg	Al	H+Al	P	K	Na
H ₂ O	g kg ⁻¹	.....	mmol _c dm ⁻³	.....	.....	mg dm ⁻³	.....	cmol _c dm ⁻³
7,2	6,59	1,45	0,68	0,02	2,06	24,20	0,05	0,01
AG*	AF**	Silte	Argila	CTC	CT***	v****	m*****	SB
.....	%.....	.....	.....	cmol _c dm ⁻³	Areia	.....	%.....	cmol _c dm ⁻³
48,95	39,65	2,80	8,60	4,25	franca	51,50	0,90	2,19
DADOS DO ANO 2013								
pH	MO	Ca	Mg	Al	H+Al	K	P	
H ₂ O	g/kg	.....	mmol _c dm ⁻³	.....	.....	mg dm ⁻³	...mg dm ⁻³	
7,13	1,63	5,70	0,722	0,005	1,77	0,101	15,95	

*AG= Areia Grossa; **AF= Areia Fina; ***CT=Classificação textural; ****v= saturação por bases; *****= saturação por Al;

O biochar utilizado no experimento foi obtido por pirólise lenta com aproximadamente 450°C de material lenhoso, nesse caso foi o *Eucalypto sp.*. O tamanho das partículas foi uniformizado com auxílio de triturador de forragem, de modo a passarem em peneira de 2 mm. O material foi aplicado manualmente ao solo e incorporado com enxada na camada de 0-10 cm. Posteriormente, foram abertos sulcos para efetuar a adubação e o plantio. As características químicas do biochar empregado são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Características químicas do biochar que foi adicionado ao solo na área experimental no Município de Parnaíba-PI.

..... pH		Ca	Mg	Al	H+Al	P	K	Cu
H ₂ O	KCl(1M)	.....	mmol _c dm ⁻³	.....	.....	.....	mg dm ⁻³	.....
7,2	6,15	23,67	7,62	0	0	64,5	789	0,2
Zn	Fe	Mn	CO*	C _{tot}	N _{tot}	NH ₄	NO ₃	CE**
.....	mg dm ⁻³	.....	g kg ⁻¹	.....	% .....	.....	mg kg ⁻¹	.....
1,5	12,85	2,3	94,2	74,3	1,18	17,4	0	3573

*CO= Carbono Oxidável (Walkley-Black); ** CE= Condutividade Elétrica (cm⁻¹).

Nas adubações, a fonte de fósforo utilizada foi o superfosfato simples (P₂O₅). Adicionalmente, todas as parcelas do experimento foram adubadas com 20 kg ha⁻¹ de óxidos

de potássio (K_2O) no sulco de fundação e 40 kg ha^{-1} de K_2O em cobertura, 30 dias depois do plantio. Também foi utilizado o FTE (Fritted Trace Elements) como fonte de micronutrientes, sendo 50 kg ha^{-1} . A cultivar de soja utilizada foi a BRS Tracajá, cujas sementes foram inoculadas antes do plantio com estirpes do gênero *Bradyrhizobium*, a BR-3262 na taxa de 500g de inoculante para 50 kg de sementes.

2.2. Tratamentos e delineamento experimental

Foram avaliadas no presente estudo, cinco doses de biochar (0, 5, 10, 20 e 40 Mg ha^{-1}) sem e com adubação fosfatada (0 e 60 kg ha^{-1} de P_2O_5). Adotou-se o delineamento experimental de blocos casualizados, no esquema fatorial 5×2 , com quatro repetições. As unidades experimentais foram constituídas de parcelas de $2 \times 3 \text{ m}$ (6 m^2), totalizando 240 m^2 de área útil, as plantas foram arranjadas com espaçamentos de 0,07 m entre plantas e 0,40 m entre fileiras.

2.3. Amostragem do solo

Realizou-se uma amostragem de solo, em julho de 2013, correspondente ao período posterior à colheita da soja. De cada parcela experimental, foram retiradas com o auxílio de um trado, doze amostras simples, para formar uma composta, nas camadas de 0-10 cm. Uma parte das amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2,0 mm de malha, para a obtenção de terra fina seca ao ar TFSA, a outra parte as amostras foram colocadas numa caixa de isopor e posteriormente levadas para um refrigerador, mantendo a temperatura ideal para as análises microbiológicas.

2.4. Análises do solo

2.4.1. Determinação dos atributos biológicos

Foram determinados o carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana, pelo método da irradiação-extração, utilizando forno de microondas (ISLAM & WEIL, 2000), quantificado por meio de procedimento por oxidação úmida (YEOMANS & BREMNER, 1988) e a atividade microbiana, pelo método da respirometria (evolução de CO_2), com a umidade das amostras de solo ajustadas para 80% de sua capacidade de campo.

2.4.2. Determinação dos teores de carbono orgânico total, nitrogênio total, e dos respectivos estoques.

As amostras de TFSA para determinação do COT e do nitrogênio total (NT) foram moídas em gral de porcelana. O COT foi quantificado por meio de oxidação da matéria orgânica via úmida, empregando-se solução de dicromato de potássio em meio ácido, com fonte externa de calor (YEOMANS & BREMNER, 1988) e o NT por meio de digestão sulfúrica e dosado por destilação Kjeldhal (BREMNER, 1996).

Os estoques de COT em cada camada foram calculados a partir da expressão: $Est.COT = (COT \times Ds \times e)$, em que Est.COT é o estoque de carbono orgânico total em determinada camada; COT é o teor de carbono orgânico total; Ds é a densidade do solo e e , a espessura da camada considerada. O cálculo dos estoques de NT foi efetuado de acordo com a seguinte expressão: $Est. NT = (NT \times Ds \times e)$, em que Est. NT é o estoque de nitrogênio total do solo e NT o teor de nitrogênio total.

2.4.3. Quociente Microbiano

O quociente microbiano (qM) foi calculado de acordo com Sparling (1992), pela fórmula:
 $qM = (C-BMS/COT)/100$

Onde:

qM= quociente microbiano (%);

C-BMS= carbono da biomassa microbiana ($mg\ C\ kg^{-1}$)

COT= carbono orgânico total ($g\ kg^{-1}$).

2.4.4. Quociente Metabólico

O quociente metabólico (qCO_2) foi calculado pela razão entre a taxa de respiração microbiana e o carbono da biomassa microbiana, sendo expresso em $mg\ C-CO_2\ g^{-1}\ solo\ seco / mg\ C-CO_2\ g^{-1}\ solo\ seco$.

$qCO_2 = RM/C-BMS$

Onde:

qCO_2 = quociente metabólico ($mg\ C-CO_2\ g^{-1}\ solo\ seco / mg\ C-CO_2\ g^{-1}\ solo\ seco$);

RM= respiração microbiana ($mg\ C-CO_2\ g^{-1}\ solo\ seco$);

C-BMS= carbono biomassa microbiana do solo ($mg\ C\ g^{-1}\ solo\ seco$).

2.4.4. Análises Estatísticas

Os resultados das variáveis estudadas foram submetidos à análise de variância pelos quadrados médios. Quando constatado efeito significativo dos tratamentos, os dados foram analisados por meio de equações de regressão com modelos de primeiro e segundo grau. Em função do teste t, obteve-se a seleção do melhor modelo, com o auxílio das significâncias de cada parâmetro, aceitando-se o nível de significância até o limite de 5% de probabilidade. Seguiu-se também a metodologia de Alvarez (2003), para que uma equação seja significativa, não é necessário que todos os coeficientes sejam significativos, mas, a significância do modelo deve estar explicitamente apresentada na equação (em cada coeficiente de regressão) e não somente com apresentação da significância do R^2 .

Para indicar adequadamente as significâncias usaram-se os símbolos: n.s.: não significativo; *: significativo ($0.05 > p > 0.01$); **: significativo ($0.01 > p > 0.001$); ***: significativo ($p < 0.001$). Para todas as análises, usou-se o software SAS (SAS INSTITUTE, 2014).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As doses de biochar aplicadas e incorporadas ao solo proporcionaram efeitos significativos nos tratamentos com e sem adubação fosfatada para a maioria das variáveis estudadas na camada de 0-10 cm em profundidade. A variação entre os tratamentos permitiu ajustes de modelos lineares e quadráticos (Tabela 3).

Observou-se efeito significativo para as doses de biochar para o teor de N total, ocorrendo interação nas diferentes doses de biochar com e sem adubação fosfatada (Figura 3A), sendo ajustada ao modelo quadrático com máxima na dose 9 Mg ha⁻¹ para os tratamentos sem adubação fosfatada e de 19,84 Mg ha⁻¹ para os tratamentos com adubação fosfatada (Tabela 3). Para o estoque de N no solo, observou-se também resultado semelhante ao N total (Figura 3B), onde os tratamentos sem adubação foram inferiores aos que receberam adubação fosfatada com dose máxima de 22,25 Mg ha⁻¹.

Corroborando com Machado (2013), que encontrou resultados significativos para as doses de biochar com adubação de NPK, pois, na ausência de adubação, em seu trabalho, não foi observado significância entre os tratamentos, afirmando assim que o aporte de grandes quantidades de biomassa vegetal ao solo, pode minimizar o efeito da alta relação C:N do biochar, e conseqüentemente reduzir a imobilização de N.

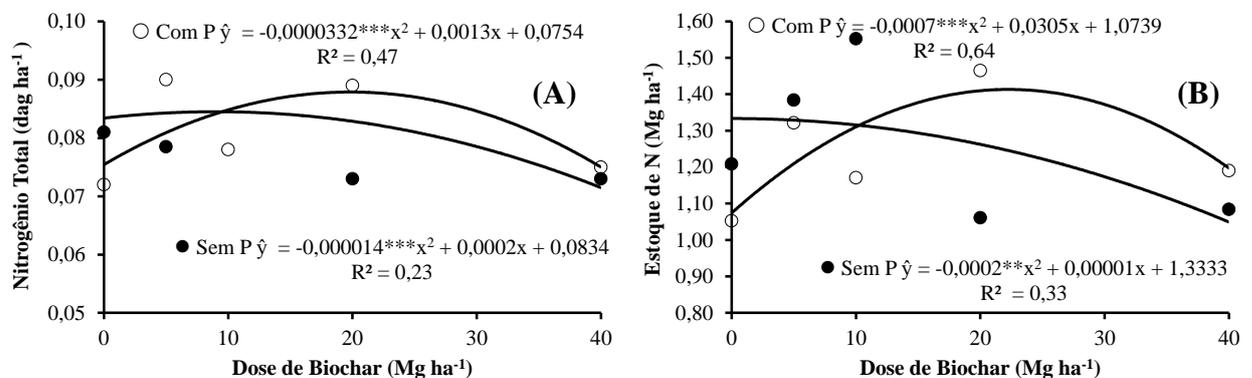


Figura 3. Teores de Nitrogênio Total (A) e Estoque de N (B), em função de diferentes doses de biochar, sem e com adubação fosfatada (0 e 60 kg ha⁻¹) em Parnaíba - PI, 2013. ns: não significativo; *: significativo (0.05 > p > 0.01); **: significativo (0.01 > p > 0.001); ***: significativo (p < 0.001).

Segundo Petter et al. (2012), elevadas doses de biochar podem provocar deficiência induzida de nitrogênio, devido à alta relação C/N, principalmente em função da estabilidade molecular proporcionado pelas estruturas aromáticas, resultados estes semelhantes aos que foram observados no presente estudo, no qual, o uso de biochar tem sido uma alternativa para o aumento na qualidade e na fertilidade desses solos. Por outro lado Rondon et al. (2007), observaram que o aumento das concentrações de metais ou hidrocarbonetos pesados

alelopáticos, muitas vezes estão também associados ao biochar, que em altas taxas de aplicação poderia inibir a fixação de N₂.

De acordo com Arantes et al. (2012), os teores de MOS provenientes de resíduos vegetais são maiores até 10 cm de profundidade, o que pode ter favorecido o acúmulo de N na camada 0-10 cm, tendo em vista que a MOS é fonte natural desse elemento. Contudo, pode ocorrer acúmulo de MOS nas camadas mais profundas em decorrência do processo de iluviação (CARDOSO et al., 2010), favorecendo o aumento do teor de N nessa camada.

Para o teor de carbono orgânico total verificou-se interação entre as doses de biochar com e sem adubação fosfatada na camada de 0-10 cm do solo (Figura 4A), apresentando tendência quadrática significativa com dose máxima de 10,97 Mg ha⁻¹ com adubação e de 20,36 Mg ha⁻¹ sem adubação fosfatada (Tabela 3). O estoque de C foi influenciado significativamente pelas doses de biochar com e sem adubação fosfatada, com tendência linear crescente (Figura 4B). O biochar é um material rico em C, além de suas propriedades físicas serem bastante favoráveis para o sequestro de C no solo, com isso ele pode vir a ser uma alternativa muito importante para o sequestro de carbono no solo, aumentando o aporte do mesmo por mais tempo no solo. Corroborando com Machado (2011), que encontrou resultados semelhantes para estas variáveis com adubação de NPK.

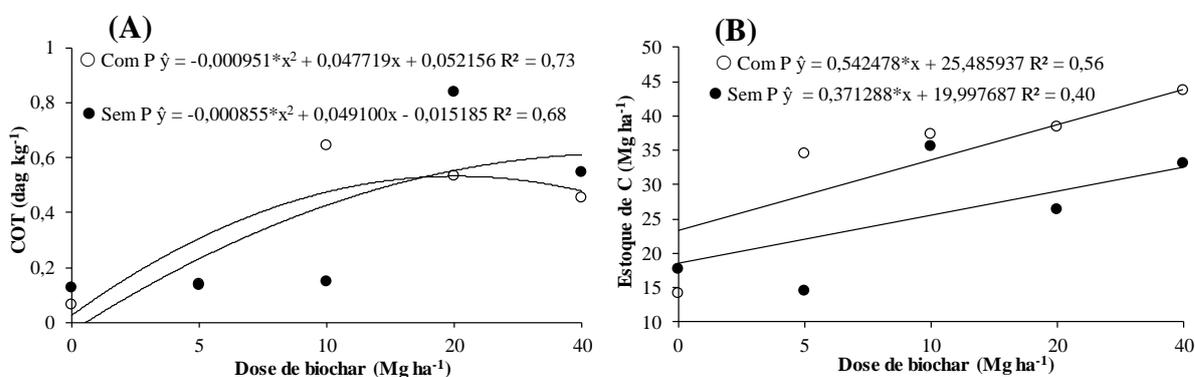


Figura 4. Teores de Carbono Total (A) e Estoque de C (B), em função de diferentes doses de biochar, sem e com adubação (0 e 60 kg ha⁻¹) em Parnaíba - PI, 2013. ns: não significativo; *: significativo (0.05>p>0.01); **: significativo (0.01>p>0.001); ***: significativo (p<0.001).

Novak et al. (2009), verificaram significativo aumento nos teores de carbono orgânico total com a aplicação de carvão, 67 dias após a aplicação, com níveis de C orgânico total em torno de 2,9% a 3,2%. Lehmann & Rondon (2006), também observaram acréscimo significativo nos níveis de C orgânico total no solo com a aplicação de biochar, sendo que seus valores foram bem maiores do que a sua testemunha.

De acordo Lehmann (2009), o biochar é bifásico, contendo uma parte de C lábil e outra de C estável, onde a parte lábil apresenta uma parcela alifática que é mais rapidamente mineralizável e existe em menor abundância no biochar produzido a altas temperaturas, a parte estável apresenta uma porção aromática que é oxidada mais lentamente (talvez principalmente abioticamente), formando grupos funcionais, como o ácido carboxílico.

Segundo Nóbrega (2011), o biochar pode incentivar a formação de agregados minerais no solo, que potencialmente é possível proteger tanto o C pirogênico quanto o carbono orgânico da degradação. O autor relata ainda que as emissões de CO₂ podem ser reduzidas devido à adsorção de C orgânico dissolvido na superfície do biochar ou porque este promove a formação de agregados do solo, dentro do qual a MO do solo pode ser protegida de decomposição, onde a estimulação ou supressão da mineralização de C variam com o tipo de solo e de biochar, devido à sua estrutura aromática altamente condensada e quimicamente recalcitrante.

Petter (2010), relata em seu trabalho que observou uma resposta significativa para a matéria orgânica, passando a ter uma grande inércia, que foi crescendo com o aumento de carvão adicionado ao solo. O autor explica que isso é extremamente importante para a fertilidade e qualidade do solo, sendo a M.O. um importante componente das mesmas.

De acordo com Madari et al. (2010), biochar é uma fonte de matéria orgânica e um condicionador do solo, pois, à medida que aumentam as doses de biochar conseqüentemente aumenta o teor de MOS presente, visando à melhoria dos atributos do solo. Zimmerman et al., (2011), relatam que uma grande proporção de matéria orgânica do solo mineralizada pode ser adsorvida na superfície do biochar e tornar-se indisponível, pois, geralmente a mineralização de C é suprimida em solos com baixos teores de matéria orgânica, como nos Latossolos.

Para a atividade microbiana do solo, houve interação entre as doses de biochar com e sem adubação fosfatada (Figura 5A), e se ajustou ao modelo quadrático com dose máxima de biochar 26,09 Mg ha⁻¹ para os tratamentos com adubação e dose mínima de biochar 21,76 Mg ha⁻¹ nos tratamentos sem adubação fosfatada (Tabela 3). Por outro lado, o quociente metabólico só apresentou efeito significativo para as doses de biochar nos tratamentos sem adubação fosfatada com ajuste ao modelo quadrático com máxima na dose 15,79 Mg ha⁻¹ de biochar sem adubação fosfatada (Tabela 3). Tais resultados podem estar associados ao fato da quantidade de nutrientes presentes neste solo sob a influência do biochar e do fósforo,

proporcionaram melhor atividade metabólica dos microrganismos, e com isso favoreceram o aumento do processo de mineralização.

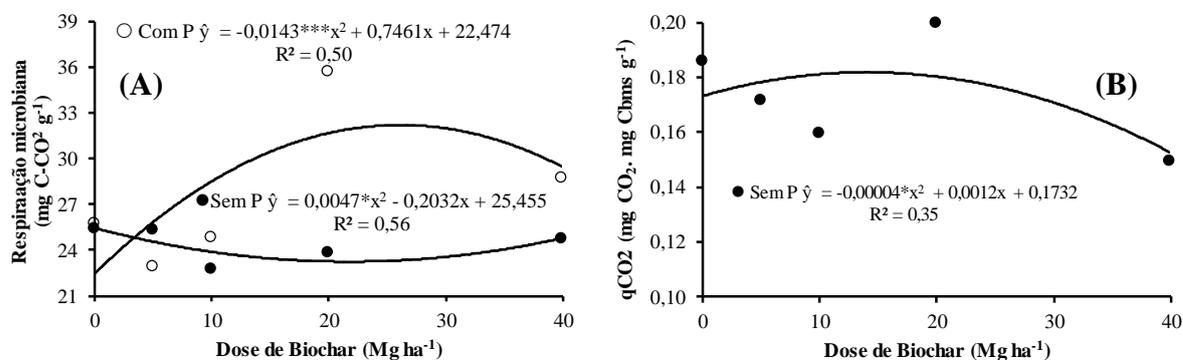


Figura 5. Atividade microbiana (A) e do Quociente metabólico (B), em função de diferentes doses de biochar, sem e com adubação fosfatada (0 e 60 kg ha⁻¹) em Parnaíba - PI, 2013. ns: não significativo; *: significativo (0.05>p>0.01); **: significativo (0.01>p>0.001); ***: significativo (p<0.001).

Outra explicação seria devido à composição química e física do biochar que foi trabalhado neste estudo, além da umidade, temperatura e as características do solo, e que possivelmente promoveu um ambiente adequado para a atividade biológica juntamente com adubação. Estes dados corroboram com trabalhos encontrados na literatura (MERCANTE et al. 2008; MACHADO, (2013) e KIELAK et al. 2008).

A adição de biochar pode influenciar diretamente nas alterações da estrutura na comunidade microbiana e na atividade microbiana, mediada por mudanças no pH do solo e disponibilidade de micronutrientes (Quilliam et al. 2012 e Jones et al. 2012).

Souza et al. (2010), ao avaliarem em diferentes manejos do solo em pastagens, observaram aumento da respiração dos microrganismos, reportando que importantes fatores biológicos contribuem para o aumento de nutrientes na biomassa microbiana do solo (BMS), sendo, porém, melhores determinados pelos resíduos disponíveis no solo e em sua superfície. Dessa forma, quanto maior a presença de raízes, maior deve ser a exsudação de compostos orgânicos, que servirão como fonte de C e energia à BMS, ocorrendo estímulo ao aumento desta. Tais resultados assemelham-se aos observados no presente estudo, pois o biochar ao ser incrementado ao solo possui como característica principal o condicionamento de melhorias para o solo, além de propiciar abrigo para os microrganismos.

O carbono da biomassa microbiana e o N microbiano foram influenciados significativamente pelas doses de biochar com e sem adubação fosfatada (Figura 6A e Figura 6B), sendo reflexo do aumento da quantidade de C disponível no solo e da atividade metabólica. Os ajustes para estas variáveis foram representados pelo modelo quadrático em

ambas, na qual, o C microbiano teve dose máxima 32,20 Mg ha⁻¹ com adubação fosfatada e mínima de 17,38 Mg ha⁻¹ para os tratamentos sem adubação fosfatada, e o N microbiano nos tratamentos que receberam adubação fosfatada máxima de 44,25 Mg ha⁻¹ e os tratamentos sem adubação 13,77 Mg ha⁻¹ (Tabela 3). Tais efeitos estão ligados à eficiência metabólica dos microrganismos.

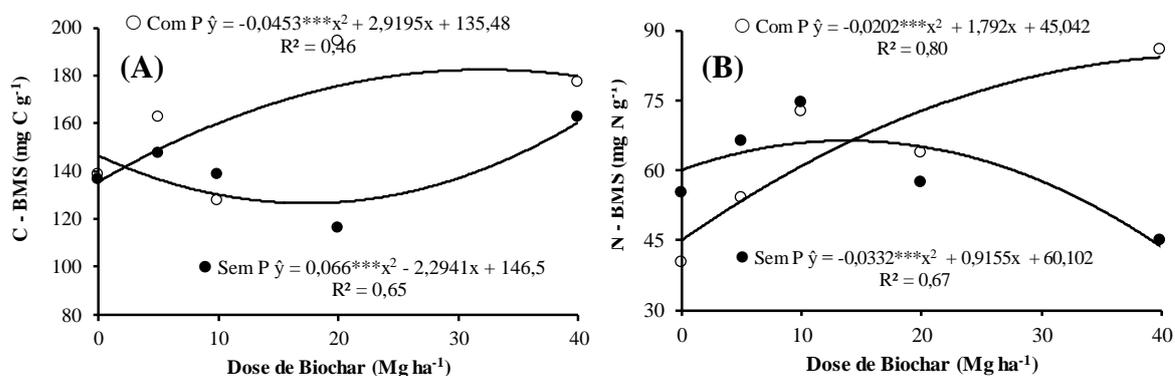


Figura 6. Carbono da biomassa (A) e Nitrogênio da biomassa (B), em função de diferentes doses de biochar, sem e com adubação fosfatada (0 e 60 kg ha⁻¹) em Parnaíba - PI, 2013. ns: não significativo; *: significativo (0.05>p>0.01); **: significativo (0.01>p>0.001); ***: significativo (p<0.001).

Machado (2013), também verificou respostas significativas para os teores de N microbiano entre as doses de biochar com e sem adubação de NPK, com os tratamentos sem adubação sendo semelhantes ao observado neste trabalho, porém, os tratamentos com a adubação de NPK apresentaram efeito linear decrescente ao contrário do observado neste trabalho com adubação fosfatada que foi quadrática, evidenciando assim que o fósforo apresenta melhor interação com o biochar, colaborando para aumento da fixação de N pela biomassa microbiana do solo o ponto máximo da dose de biochar, diminuindo logo em seguida.

O quociente microbiano foi influenciado significativamente pelas doses de biochar sem adubação fosfatada (Figura 7), por outro lado não houve efeito significativo para os tratamentos que receberam adubação fosfatada, no qual foi ajustado no modelo quadrático com dose mínima 24,35 Mg ha⁻¹ (Tabela 3).

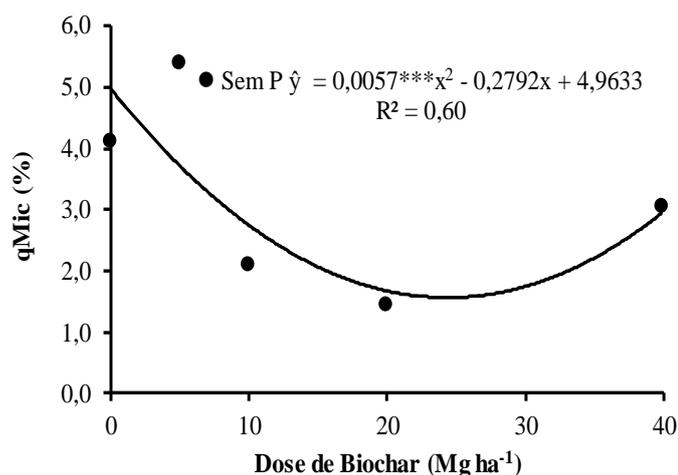


Figura 7. Quociente microbiano do solo, em função de diferentes doses de biochar, sem e com adubação fosfatada (0 e 60 kg ha⁻¹) em Parnaíba - PI, 2013. ns: não significativo; *: significativo (0.05>p>0.01); **: significativo (0.01>p>0.001); ***: significativo (p<0.001).

De acordo com Schloter et al. (2003), a biomassa microbiana é a fração viva da matéria orgânica do solo, representando assim, um reservatório de nutrientes para as plantas. No processo de decomposição da matéria orgânica, há promoção da sustentabilidade biológica e a produtividade nos ecossistemas. O presente estudo foi conduzido em solo que propiciou melhorias para o aumento da atividade metabólica dos microrganismos, fato ligado principalmente à adição do biochar ao solo associado à adubação fosfatada.

A elevada mineralização de C também pode ser atribuída ao aumento da decomposição da matéria orgânica nativa do solo, devido à adição do substrato. No entanto, mecanismos indiretos podem também ser responsáveis, tais como estimulação da atividade microbiana por meio da adição de P e/ou outros minerais ou pela melhoria da aeração do solo, que é proporcionada pela presença do biocarvão, da umidade ou estrutura física do biocarvão (KUZUYAKOV et al., 2009). Mostrando assim sua eficiência como indicador biológico, promovendo aumento nas atividades metabólicas dos microrganismos com o auxílio da adubação fosfatada.

Tabela 3. Equações de regressão com doses de biochar 0, 5, 10, 20 e 40 Mg ha⁻¹ sem e com adubação fosfatada (0 e 60 kg ha⁻¹) na camada de 0-10 em profundidade num Latossolo Amarelo, em Parnaíba - PI, 2013.

Níveis de P	Equações	Tipo	Nível crítico	Valor estimado	R ²
VARIÁVEIS					
NITROGÊNIO TOTAL (dag ha⁻¹)					
0	$\hat{y} = 0,083400 + 0,000244*x - 0,000014***x^2$	máxima	9,0	0,08	0,22***
60	$\hat{y} = 0,075415 + 0,001256***x - 0,0000332***x^2$	máxima	19,84	0,09	0,47***

ESTOQUE N (Mg ha⁻¹)						
0	$\hat{y} = 1,36775 - 0,00732***x$	-	-	-	-	0,33**
60	$\hat{y} = 1,07393 + 0,03049***x - 0,00069***x^2$	máxima	22,25	1,43		0,64***
CARBONO ORGÂNICO TOTAL (dag ha⁻¹)						
0	$0,0155185 + 0,0491x - 0,000855*x^2$	máxima	20,36	0,86		0,73*
60	$0,052156 + 0,047719x - 0,000951*x^2$	máxima	10,97	0,64		0,68*
ESTOQUE C (Mg ha⁻¹)						
0	$19,997687 + 0,371288*x$	-	-	-		0,40*
60	$25,485937 + 0,542478*x$	-	-	-		0,56*
RESPIRAÇÃO (mg C-CO₂ g⁻¹)						
0	$\hat{y} = 25,4547 - 0,2032*x + 0,0047*x^2$	mínima	21,76	23,24		0,56*
60	$\hat{y} = 22,4740 + 0,746***x - 0,0143***x^2$	máxima	26,09	32,20		0,50***
QUOCIENTE METBÓLICO (mg CO₂ mg C-CBM mg⁻¹)						
0	$\hat{y} = 0,1732 + 0,0012*x - 0,00004*x^2$	máxima	15,79	20,71		0,35*
C MICROBIANO (mg C g⁻¹)						
0	$\hat{y} = 146,501 - 2,294***x + 0,066***x^2$	mínima	17,38	126,56		0,65***
60	$\hat{y} = 135,484 + 2,919***x - 0,045***x^2$	máxima	32,20	182,48		0,46***
N MICROBIANO (mg N g⁻¹)						
0	$\hat{y} = 60,1019 + 0,9155***x - 0,0332***x^2$	máxima	13,77	66,41		0,67***
60	$\hat{y} = 45,0422 + 1,7920***x - 0,02202***x^2$	máxima	44,25	84,69		0,80***
QUOCIENTE MICROBIANO (%)						
0	$\hat{y} = 4,96333 - 0,27918***x + 0,00573***x^2$	mínima	24,35	1,56		0,60***

4. CONCLUSÃO

- A utilização do biochar promoveu efeitos diversos e em conjunto com a adubação fosfatada, alguns desses efeitos foram melhores evidenciados, como o aumento da atividade microbiana, C e N microbiano.
- O teor de N e C e os seus respectivos estoques de N e C foram influenciados pelo biochar incorporado ao solo independente da adubação fosfatada, conseqüentemente, houve aumento dos mesmos.
- A adubação fosfatada não influenciou nos quocientes metabólico e microbiano.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, V.H. Apresentação de equações de regressão e suas interpretações. **Boletim informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.28, n.3, p.28-32. 2003.
- ARANTES, E.M.; CREMON, C.; LUIZ, M.A.C. Alterações dos atributos químicos do solo cultivado no sistema orgânico com plantio direto sob diferentes coberturas vegetais. **Revista Agrarian**. Dourados, v.5, n.15, p.47-54, 2012.
- BASTOS, E.A.; JÚNIOR, A.S.A.; RODRIGUES, B.H.N. Boletim agrometeorológico de 2011 para o município de Parnaíba-Piauí, **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**. Teresina. Piauí. Embrapa Meio-Norte, 37p. 2012. (Documentos/Embrapa Meio-Norte, ISSN 0104-866x ; 221).
- BREMNER, J.M. Nitrogen Total. In: SPARKS, D.L. *Methods of Analysis: Part 3*. Madison, **SSA Book Series**, v.5. p.1085-1121, 1996.
- CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.; SILVA, C.A.; CURI, N; FREITAS, D.A.F. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira Brasília**, v.45, p.1028-1035, 2010.
- CUNHA, T.J.F. **Ácidos húmicos de solos escuros da Amazônia (Terra Preta de Índio)**. 2005. 118p. Tese de Doutorado. Universidade Federal Rural de Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.
- CUNHA, T.J.F.; MADARI, B.E.; BENITES, V.M.; CANELLAS, L.P.; NOVOTNY, E.H.; MOUTTA, R.O.; TROMPOWSKY, P.M.; SANTOS, G.A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta). **Acta Amazonica**. v.37, n.1, p.91 – 98, 2007.
- HAMMES K. & SCHMIDT M. Changes of Biochar in Soil. In ‘Biochar for Environmental Management: Science and Technology’. Eds J Lehmann and S Joseph). **Earthscan: London, UK**. p.169-182. 2009.
- ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture Ecosystem Environment**, v.79, p.9-16, 2000.
- JONES, D.L.; ROUSK, J.; EDWARDS-JONES, G.; DELUCA, T.H.; MURPHY, D.V. Biochar-mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial. **Soil Biol Biochem**. v.45. p.113–124. 2012.
- KIELAK, A.; PIJL, A.S.; VAN VEEN, J.A; KOWALCHUK, G.A. Differences in vegetation composition and plant species identity lead only minor changes in soil-borne microbial communities in a former arable field. **FEMS Microbiol Ecology**, v.63, p.372-382, 2008.
- KUZYAKOV, Y.; SUBBOTINA, I.; CHEN, H.Q.; BOGOLOMOVA, I.; XU, X. Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by ¹⁴C labeling. **Soil Biology and Biochemistry**. v.41, p.210-219. 2009.

LEHMANN, J. Carbon sequestration in dryland ecosystems. **Environmental Management**. v.33. p.528-544. 2007.

LEHMAN, J.; RONDON, M. Bio-char soil management on highly weathered soils in the humid tropics. Biological Approaches to Sustainable Soil Systems. In: UPHOFF, N. **Biological approaches to sustainable soil systems**. Boca Raton. v.36. p.517-530, 2006.

LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GERMAN, L. A.; MCCANN, J.; MARTINS, G. C.; MOREIRA, A. Soil Fertility and Production Potential. In LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GLASER, B.; WOODS, W. I. (eds) **Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management**, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, p.105-124. 2003.

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. earthscan**, Londres, p.4-18. 2009.

MACHADO, D. M. **Indicadores biológicos e dinâmica da matéria orgânica em Latossolo sob aplicação de biomassa carbonizada no leste de Mato Grosso**. 2013. 82p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí, PI.

MADARI, B. E.; PETTER, F. A.; CARVALHO, M. T. M.; MACHADO, D. M.; SILVA, O. M.; FREITAS, F. C. OTONI, R. F. Biomassa Carbonizada como Condicionante de Solo para a Cultura do Arroz de Terras Altas, em Solo Arenoso, no Cerrado: Efeito Imediato para a Fertilidade do Solo e Produtividade das Plantas. Comunicado Técnico 197. **Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão**. Santo Antônio de Goiás. 2010. 8p.

MADARI, B.E.; CUNHA, T.J.F.; NOVOTNY, E.H.; MILORI, D.M.B.P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V.M.; COELHO, M.R.; SANTOS, G.A. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (terra preta de índio). Suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In TEIXEIRA, W.G.; KERN, D.C.; MADARI, B.E.; LIMA, E.N.; Woods, W.I. **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas**. 1º. ed. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. p.172-188. 2009.

MAIA, C.M.B.F. Finos de carvão: fonte de carbono estável e condicionador de solos. **Embrapa Florestas**. Dados eletrônicos. - Colombo, 2010.

MERCANTE, F.M.; SILVA, R.F.; FRANCELINO, C.S.F.; CAVALHEIRO, J.C.T.; OTSUBO, A.A. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.34, n.4, p.479-485, 2008.

MESA, J.M.; ROCHA, J.D.; OLIVARES, E.; BARBOZA, L.A.; BROSSARD, J.E.; BROSSARD JUNIOR, L.E.. Pirólise rápida em leito fluidizado: Uma opção para transformar biomassa em energia limpa, **Revista Analytica**, n.4, p.32-36. 2009.

NÓBREGA, I.P.C. **Efeitos do Biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: Sequestro de carbono no solo**. 46p. Lisboa, 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente). Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa.

NOVAK, J.M.; BUSSCHER, W.J.; LAIRD, D.L.; AHMEDNA, M.; WATTS, D.W.; NIANDOU, A.S. Impact of Biochar Amendment on Fertility of a Southeastern Coastal Plain Soil. **Soil Science**, v.174, n.2, p.105-112, 2009.

PETTER, F. A. **Biomassa carbonizada como condicionador de solo: aspectos agronômicos e ambientais do seu uso em solos de cerrado**. 2010. 130p. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

PETTER, F.A.; MADARI, B.E.; CARNEIRO, M.A.C.; MARIMON JUNIOR, B.H.; CARVALHO, M.T.M.; PACHECO, L.P. Soil fertility and agronomic response of rice to biochar application in the Brazilian savannah. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47. p.699-706. 2012.

QUILLIAM, R.S.; MARSDEN, K.; GERTLER, G.; ROUSK, J.; DELUCA, T.H.; JONES, D.L. Nutrient dynamics, microbial growth and weed emergence in biochar amended soil are influenced by time since application and reapplication rate. **Agric Ecosyst Environ**. v.158. p.192–199. 2012.

RONDON, M.A.; LEHMANN J.; RAMIREZ, J.; HURTADO, M. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. **Biol Fert Soils** v.43. p.699–708. 2007.

SAS INSTITUTE. SAS® 9.2 Software. Cary, 2014. Disponível em: <<http://support.sas.com/software/92/>> Acesso em: 4 de fevereiro de 2014.

SCHLOTTER, M.; DILLY, O.; MUNCH, J.C. Indicators for evaluating soil quality. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v.98, p.255-262, 2003.

SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C. V. S. de; CARVALHO, C. de F.; MARTINS, A. P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:79-88, 2010.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Aust. J. Soil Res.**, v.30. p.195-207, 1992.

YANAI, Y.; TOYOTA, K.; OKAZAKI, M. Effects of charcoal addition on N₂O emissions from soil resulting from rewetting air-dried soil in short-term laboratory experiments. **Soil Science and Plant Nutrition**. v.53, n.2. p.181-188. 2007.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications Soils Science Plant Analysis**, v.19. p.1464-1476, 1988.

ZIMMERMAN, A.R.; GAO, B.; AHN, M.Y. Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar-amended soils, **Soil Biology and Biochemistry**, v.43, p.1169-1179. 2011.