

USO DO BIOCHAR PARA FINS AGRÍCOLAS: Principais vantagens

Gualter Guenther Costa da Silva¹; Priscila Lira de Medeiros², Anna Yanka de Oliveira Santos³;
Ermelinda Maria Mota Oliveira⁴; Alexandre Santos Pimenta⁵

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte, gualtermve@gmail.com; ²Universidade Federal do Rio Grande do Norte, lira.priscila@hotmail.com; ³Universidade Federal do Rio Grande do Norte, annayanka12@hotmail.com;
⁴Universidade Federal do Rio Grande do Norte, ermelindasolos@gmail.com; ⁵Universidade Federal do Rio Grande do Norte, alexandre_spimenta@hotmail.com

Resumo: O biochar (fino de carvão) é “qualquer” produto rico em carbono, obtido da pirólise de biomassa e destinado especificamente à aplicação ao solo. O número de pesquisas relacionadas ao tema cresce a cada ano. A maioria delas relata resultados positivos da aplicação e interação do produto com o solo e clima. Porém, também existem autores que encontraram resultados contrários, afirmando que a aplicação do biochar promoveu perda de produtividade vegetal, por exemplo. Nessa revisão de literatura são descritos resultados de pesquisas que podem auxiliar na explicação dos possíveis fenômenos que podem ter causado a obtenção desses divergentes resultados. São elencados desde propriedades físicas e químicas do biochar, até os efeitos do mesmo em diferentes condições edafoclimáticas. O crescente número de pesquisas existentes atualmente com o biochar permitiu o melhor entendimento dos mecanismos envolvidos na eficácia ou não do mesmo quando aplicado a diferentes tipos de solo e produzido a partir de biomassas de natureza diversa. Concluiu-se que a incorporação do biochar ao solo, principalmente em regiões de clima seco, pode trazer excelentes benefícios ligados à melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Além disso, o biochar é capaz de auxiliar no combate ao efeito estufa e seu uso pode possibilitar a implantação de cultivos em áreas salinas ou poluídas com metais pesados. No entanto, antes de adotar a técnica devem ser considerados diversos fatores, entre eles a real necessidade da aplicação e a existência de benefícios que compensem os altos custos de implantação, o que varia de caso para caso.

Palavras-chave: carvão vegetal, semiárido, biocarvão.

Introdução

O termo biochar é recente, mas a origem do mesmo é bem antiga (NEVES, 2004). Existem, na bacia amazônica, áreas com até dois metros de profundidade de “terra preta de índio”, solo rico em carvão e matéria orgânica. A ocorrência da terra preta somente é identificada em áreas habitadas, isso indica que provavelmente o homem é o responsável por sua criação. Alguns cientistas sugerem que essa terra preta era gerada através do corte para limpeza da vegetação e a queima dos resíduos posteriormente dentro de uma cova coberta. Através dessas teorias foram desenvolvidas formas de produzir o que hoje chamamos de biochar (TALBERG, 2009).

O termo comumente utilizado para designar o produto é considerado incorreto por alguns pesquisadores, pois traduzindo-se biochar do inglês significa biocarvão. No entanto, o biochar não precisa, necessariamente, ser proveniente do carvão que conhecemos (originário da queima controlada da madeira). Qualquer produto carbonado processado termicamente através de pirólise e que seja produzido com fins de aplicação ao solo pode ser chamado de biochar (NOVOTNY et al.,

2015). Segundo Talberg, (2009), a única diferença real entre o carvão e o biocarvão é a finalidade, pois ele nada mais é que carvão granulado em pó fino aplicado ao solo, provendo sua melhoria.

A produção do biochar se dá através de um processo conhecido como pirólise rápida, que consiste na decomposição térmica da biomassa em um ambiente quase anaeróbico com temperaturas que variam de 300 a 1000 ° C (Zhang et al., 2015; Sohi, 2012). O objetivo da pirólise é transformar biomassa em bio-óleo ou gás sintético, através, respectivamente, de liquefação ou gaseificação. O gás sintético também pode servir para sintetizar hidrocarbonetos (BOATENG et al, 2007; MESA-PEREZ et al., 2004; ROCHA et al., 2003).

No processo de pirólise são gerados os gases pirolíticos e o carvão fino, que pode ser utilizado para produção de pelotas de minério, briquetes, uso agrícola, etc. (ROCHA et al., 2003). Somente 25% da biomassa original se tornam biochar (carvão fino) um material poroso e enriquecido (LABEGALINI, 2013). Quanto maior o teor de lignina e celulose, e menor o teor de oxigênio, maior o rendimento em biochar durante o processo de pirólise rápida (BARROW, 2012).

O biochar ou biocarvão se diferencia do carvão ativado devido a ser gerado em temperaturas mais baixas, não sofrendo a carbonização por completo. A temperatura e o tempo de carbonização são fatores determinantes da qualidade do produto final. Chen et al (2011), avaliando a área superficial do biochar produzido de 400 a 900 ° C, verificou que o aumento da temperatura causou aumento da área superficial das partículas.

Cada fonte de biomassa utilizada na produção do biochar possui características intrínsecas, como a composição química, isto é, teores de lignina, extrativos, celuloses e hemiceluloses, por exemplo. A morfologia dos materiais também varia, assim como seu comportamento durante a pirólise. Desta forma, o produto obtido apresenta características físicoquímicas que dependem da composição do material de origem, variando quanto a porosidade, superfície específica, pH, capacidade de troca catiônica etc. A qualidade do produto final afeta, conseqüentemente, nas respostas da sua aplicação ao solo. Assim como, diferentes solos apresentarão diferentes resultados. Além disso, o efeito dos biochars sobre variados cultivos pode ser diferente (FREITAS, 2011).

Desde 1980, estudos com biochar têm sido realizados em todo o mundo a fim de conhecer os efeitos de diferentes tipos de biochar em solos específicos. Na maioria dos estudos, os solos ácidos são o objeto de investigação, geralmente em regiões tropicais ou subtropicais. São testadas diferentes doses, com ou sem aplicação de outros fertilizantes.

A maior parte dos estudos indica que a aplicação do biochar apresenta resultados positivos, como aconteceu com Steiner (2009), que constatou um aumento de 151% no rendimento da soja.

Outros experimentos não encontraram resultados satisfatórios, como a aplicação do biochar em plantações de banana no Brasil. Muitos estudos afirmam que o biochar auxilia na diminuição da acidez do solo e na disponibilização de nutrientes essenciais para as plantas (LEHMANN, 2006).

Chidumayo (1994) percebeu que a aplicação de biochar no solo para cultivo de sete tipos de plantas lenhosas nativas aumentou em 30% a germinação das sementes, em 24% o crescimento das plantas e 13% a produção de biomassa.

No Japão, o biochar já é utilizado para melhoria do solo, aumentando sua fertilidade há algumas décadas. Inclusive, associado a outros componentes como o ácido pirolenhoso, como adubo orgânico para o solo (KISHIMOTO, 1985). Diversos países já produzem substância húmicas a partir de carvões.

No Brasil, apesar da grande potencialidade para produzir o biochar, ainda predomina a importação. É utilizado principalmente na fruticultura e olericultura irrigadas com o objetivo de aumentar a eficiência de fertilizantes e reduzir o consumo de água da irrigação (BENITES et al.)

As doses adequadas, consideradas ótimas, de biochar para o crescimento ideal das plantas ainda não foram estabelecidas, além disso, há grande variação da resposta da aplicação do biochar em diferentes solos e para diferentes cultivos (MORALES, 2010; GLASER et al., 2002; LEHMANN et al., 2002).

Assim, o objetivo desta revisão bibliográfica é apresentar resultados de pesquisas que contribuam na explicação dos possíveis fenômenos que podem ter causado a obtenção desses divergentes resultados, enfatizando as vantagens do uso do biochar em regiões de clima seco.

Metodologia

Foi realizada pesquisa bibliográfica em literatura específica sobre o tema, reunindo resultados de trabalhos em diversos locais do mundo e variadas condições de solo e clima a fim de montar um compilado de informações que subsidiem a tomada de decisão sobre a escolha do biochar como estratégia para o aumento da produtividade agrícola. Para isso, são elencados desde propriedades físicas e químicas do biochar, até os efeitos do mesmo em diferentes condições de edafoclimáticas.

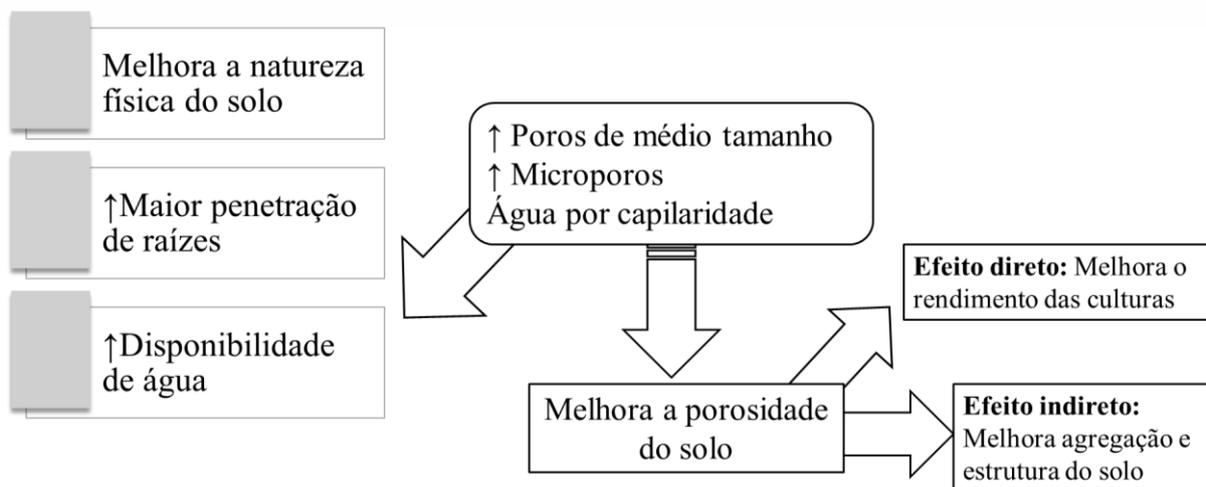
Resultados e discussão

O biochar é, atualmente, alvo de diversas pesquisas. A maioria delas relata resultados positivos da aplicação e interação do produto com o solo e clima. Porém, também existem autores

que encontraram resultados contrários, afirmando que a aplicação do biochar promoveu perda de produtividade, por exemplo.

Segundo Nóbrega (2011) a presença do biochar na mistura do solo contribuirá significativamente na natureza física do sistema, influenciando estrutura, textura, porosidade, profundidade e consistência porque muda a densidade da área superficial, distribuição, densidade e tamanho dos poros e das partículas. Estes efeitos físicos no solo têm um impacto direto no crescimento das plantas, pois a profundidade de penetração e a disponibilidade de ar e água na zona das raízes será muito maior comparado com os solos sem biochar (Figura 1) (van Zwieten et al., 2010).

Figura 1. Efeitos físicos do biochar no solo.



Fonte: Autor (baseado em van Zwieten et al., 2010).

Os mecanismos que levam o biochar a fornecer potenciais melhorias na retenção de água são relativamente simples. A adição ao solo pode ter efeitos diretos e indiretos sobre a retenção de água, que pode ser de curta ou longa duração. A retenção de água é determinada pela distribuição e conectividade dos poros de médio tamanho do solo, que são regulados pelo tamanho das partículas (textura), combinado com as características estruturais (agregação) e conteúdo em matéria orgânica (Nóbrega, 2011).

O efeito direto do biochar está relacionado com a sua grande superfície interna e pela elevada quantidade de microporos, onde se retém água pelos fenômenos de capilaridade (Karhu et al., 2011). Assim ao melhorar a porosidade total do solo, também se aumenta a água disponível para as plantas, o que será um efeito benéfico no rendimento das culturas. O efeito indireto relaciona-se com a hipótese de que a aplicação de biochar ao solo melhora a agregação ou a estrutura do mesmo.

O biochar pode afetar a agregação do solo devido às interações com a matéria orgânica do solo, minerais e microrganismos. As características da carga de superfície e o seu desenvolvimento ao longo do tempo determinarão o efeito a longo prazo sobre a agregação do solo. O biochar depois de algum tempo geralmente apresenta uma CTC alta, aumentando o seu potencial para atuar como agente de ligação de matéria orgânica e sais minerais. A elevada área de superfície do biochar pode, assim, levar ao aumento de retenção de água, mas o efeito dependerá da textura inicial do solo (Karhu et al., 2011).

Adicionalmente, este efeito pode ser provocado pelo aumento da capacidade de armazenamento de água e da CTC dos solos, devido à enorme área superficial do biochar. A redução da acidez e da disponibilidade de Al (devido a CTC do biochar) também favorecem o ambiente radicular, o que promove a retenção de nutrientes, como a absorção de N pela planta (van Zwieten et al., 2010).

A existência dos benefícios de alguns nutrientes e melhor disponibilidade destes é controlada pelo pH e pela força iônica do solo, como acontece com K, Ca e Mg. Com a redução do pH ocorre liberação de K e P, já Ca e Mg somente são liberados em solos ácidos. Sendo assim, o biochar não pode suprir as necessidades de Ca e Mg, a longo prazo (NÓBREGA, 2011).

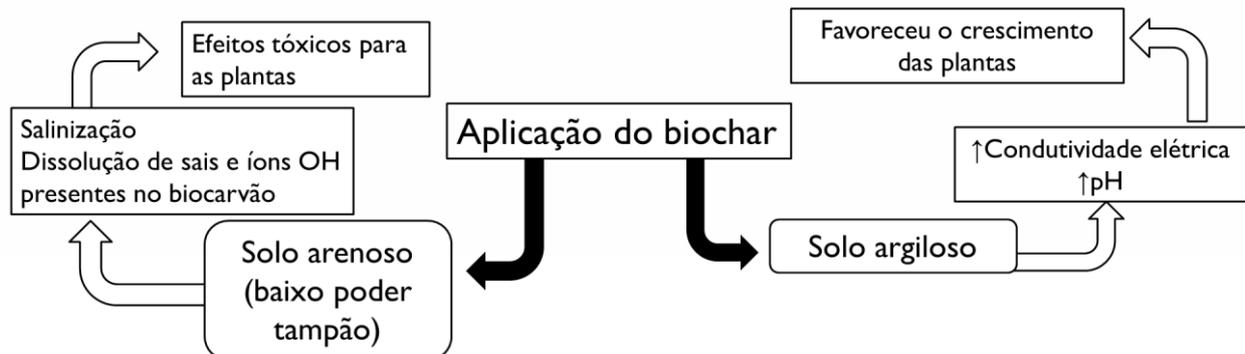
Nóbrega (2011) afirma que afetando as características físicas do solo, o biochar afeta diretamente a resposta do solo à água, agregação, arejamento, o trabalho durante a preparação do solo para cultivo, a elasticidade e a permeabilidade, assim como a sua capacidade de retenção de cations e a resposta a mudanças de temperaturas. Indiretamente, alguns aspectos químicos e biológicos da fertilidade do solo podem ser influenciados, como a presença física de locais para reações e fornecimento de habitats protetores para a população microbológica do solo (STEENWERTH et al., 2005).

Trazzi (2014), estudando o efeito da sua aplicação do biochar sobre a produção de mudas de *pinus* percebeu que houve uma contribuição para o aumento de pH, diminuição dos teores de alumínio e aumento na disponibilidade de bases no solo, afetando positivamente as mudas em campo, 30 meses após a aplicação.

Puga (2015) avaliou os efeitos da aplicação do biochar em solos com metais pesados advindos da mineralização, e chegou à conclusão de que o biochar proveniente da palha de cana de açúcar foi capaz de reduzir a lixiviação e disponibilidade dos metais pesados no solo, além de aumentar as concentrações de alguns macronutrientes.

Smider e Singh (2014) perceberam que a aplicação do biochar apresentou respostas contrárias em dois tipos de solos (Figura 2). No solo arenoso, com baixo poder tampão, o biochar promoveu efeitos tóxicos provenientes de salinização, devido à dissolução de sais e íons OH presentes no biochar. Já no solo argiloso o biochar promoveu aumento da condutividade elétrica e do pH do solo, favorecendo o crescimento das plantas.

Figura 2. Efeitos da aplicação do biochar em solo arenoso e argiloso.



Fonte: Autor (baseado nos resultados de Smider e Singh, 2014).

O biochar aumenta o teor de carbono do solo e a capacidade de retenção de água dependendo do tipo do solo e do biochar. Em solos de clima temperado a matéria prima do biochar pode não ser tão importante para o aumento do C e do pH do solo, mas pode influenciar na mineralização do N e na capacidade de retenção de água (STREUBEL et al., 2011).

A adição de biochar ao solo melhora a sua fertilidade e induz o rendimento das culturas nos solos agrícolas. Este efeito pode ser explicado pela estimulação dos organismos do solo que consequentemente leva a um aumento da reciclagem de nutrientes presos nos resíduos de biomassa.

Os efeitos do biochar sobre a microbiota do solo são contraditórios. Alguns autores defendem que o mesmo favorece o aumento da biomassa microbiana. Os poros podem servir de microhabitat para os microorganismos do solo (Figura 3) (BRUUN et al , 2011; . LUO et al , 2013; . STEINBEISS et al., 2009 ; ZIMMERMAN et al . , 2011), outros afirmam que a aplicação não apresenta efeito algum sobre esta variável (CASTALDI et al , 2011; . ZAVALLONI et al , 2011.). Existem, ainda, resultados que apontam toxicidade de altas doses do biochar (DEMPSTER et al . , 2012).

Figura 3. Efeitos positivos do biochar na microbiota do solo.



Fonte: Autor.

Estudos com doses do biochar indicam aumento da fertilidade do solo e manutenção ou favorecimento da vida microbiológica do mesmo (SANTOS, 2013). Manya (2012) afirma que biochar com elevada área superficial específica e porosidade pode favorecer a capacidade sorção do solo e o aumento da biomassa microbiana do mesmo.

A adição de biochar ao solo melhora a sua fertilidade e induz o rendimento das culturas nos solos agrícolas. Este efeito pode ser explicado pela estimulação dos organismos do solo que consequentemente leva a um aumento da reciclagem de nutrientes presos nos resíduos de biomassa. Adicionalmente este efeito pode ser provocado pelo aumento da capacidade de armazenamento de água e da CTC dos solos, devido à enorme área superficial do biochar. A redução da acidez e da disponibilidade de Al (devido a CTC do biochar) também favorecem o ambiente radicular, o que promove a retenção de nutrientes, como a absorção de N pela planta (Zwieten et al., 2010).

Lashari et al. (2013) estudando o efeito da aplicação de uma mistura de biochar com extrato pirolenhoso sobre a qualidade do solo e a produção de trigo na China observaram que a produção do trigo foi maior nas áreas onde foi aplicada a mistura ao solo. Nessas áreas houve diminuição da salinidade e pH do solo, mais significativas no segundo ano de plantio. Os autores afirmam que essa mistura auxilia no controle da salinidade, favorece a melhoria da estrutura do solo, manutenção da umidade e fertilidade do solo.

Experimento semelhante foi realizado por Lashari et al. (2014) em área cultivada com milho. Os resultados encontrados foram equivalentes, e os autores concluíram que a aplicação de biochar ao solo em mistura com o extrato pirolenhoso pode ajudar a combater o estresse causado pela salinidade, melhorando a produtividade em terras salinas de regiões áridas ou semiáridas.

Tsuzuki et al. (1989) verificou que a mistura de ácido pirolenhoso com o carvão no solo induziu a formação de raízes ramificadas, possivelmente devido a ação hormonal. O autor constatou também um maior crescimento das plantas de arroz e atribuiu esse resultado à maior produção das raízes ramificadas.

Conclusões

1. O crescente número de pesquisas existentes atualmente com o biochar permitiu o melhor entendimento dos mecanismos envolvidos na eficácia ou não do mesmo quando aplicado a diferentes tipos de solo e produzido a partir de biomassas de natureza diversa.

2. A incorporação do biochar ao solo, principalmente em regiões de clima seco, pode trazer excelentes benefícios ligados à melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Além disso, o biochar é capaz de auxiliar no combate ao efeito estufa e seu uso pode possibilitar a implantação de cultivos em áreas salinas ou poluídas com metais pesados.

3. A adoção ou não da técnica deve considerar diversos fatores, entre eles a real necessidade da aplicação e a existência de benefícios compensadores dos custos, pois o efeito da incorporação é diferente dependendo do tipo da matéria prima utilizada e das características de solo e clima. Além disso, as plantas respondem de maneira diferente a presença do biochar.

Referências

BARROW, C. J. Biochar: potential for countering land degradation and for improving agriculture. **Applied Geography**, Oxford, v. 34, p. 21-28, May 2012.

BENITES, V. de M.; TEIXEIRA, W. G.; REZENDA, M. E.; PIMENTA, A. S. Utilização de carvão e subprodutos da carbonização vegetal na agricultura: aprendendo com as terras pretas de índio. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, I. W. (Ed.). **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: EDUA/Embrapa Amazônia Ocidental, p. 286-297, 2010.

BOATENG, A. A. et al. Bench-scale fluidized-bed pyrolysis of Switchgrass for bio-Oil production. **Industrial Engineering Chemistry Research**, Washington, DC, v. 46, p. 1891-1897, 2007.

BRUUN, E.W., Hauggaard-Nielsen, H., Ibrahim, N., Egsgaard, H., Ambus, P., Jensen, P.A., Dam-Johansen, K. Influence of fast pyrolysis temperature on biochar labile fraction and short-term carbon loss in a loamy soil. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p.1182-1189, 2011.

CASTALDI, S., Riondino, M., Baronti, S., Esposito, Marzaioli, R., Rutigliano, F.A., Vaccari, F.P., Miglietta, F., Impact of biochar application to a Mediterranean wheat crop on soil microbial activity and greenhouse gas fluxes. **Chemosphere**, v. 85, p. 1464-1471, 2011.

CHEN, X. et al. Adsorption of copper and zinc by biochars produced from pyrolysis of hardwood and corn straw in aqueous solution. **Bioresource Technology**, Essex, v. 102, n. 19, p. 8877-8884, Oct. 2011.

CHIDUMAYO, E.N. Effects of wood carbonization on soil and initial development of seedlings in miombo woodland, Zambia. **Forest Ecology And Management**, [s.l.], v. 70, n. 1-3, p.353-357, dez. 1994. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0378-1127\(94\)90101-5](http://dx.doi.org/10.1016/0378-1127(94)90101-5).

DEMPSTER, D.N., GLEESON, D.B., SOLAIMAN, Z.M., JONES, D.L., MURPHY, D.V. Decreased soil microbial biomass and nitrogen mineralisation with Eucalyptus biochar addition to a coarse textured soil. **Plant and Soil**, v. 354, p. 311-324, 2011.

FREITAS, M. C. M. B. Produção de biocarvão a partir de diferentes fontes de biomassa. In: **IX Encontro Brasileiro de Substância Humicas**, 9., 2011, Aracaju-sergipe: Embrapa, 2011. 4 p. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/43276/1/2011-ClaudiaM-EBSHProducao.pdf>>. Acesso em: 18 maio 2016.

GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - a review. **Biology And Fertility Of Soils**, [s.l.], v. 35, n. 4, p.219-230, 1 jun. 2002. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s00374-002-0466-4>.

Karhu, K., Mattila, T., Bergström, I., and Regina, K.: Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity – results from short-term pilot field study, **Agr. Ecosyst. Environ.**, v. 140, p. 309–313, 2011.

KISHIMOTO, S.; SUGIURA G. Charcoal as a soil conditioner. **Int Achieve Future**, v. 5, p.12-23, 1985.

LABEGALINI, A. **Obtenção de biochar a partir da pirólise rápida da torta de pinhão manso : uso como adsorvente e suporte**. 2013. 116 p. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

LASHARI, M. S et al. Effects of amendment of biochar-manure compost in conjunction with pyroligneous solution on soil quality and wheat yield of a salt-stressed cropland from Central China Great Plain. **Field Crops Research**, [s.l.], v. 144, p.113-118, mar. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2012.11.015>.

LASHARI, M. S. et al. Biochar-manure compost in conjunction with pyroligneous solution alleviated salt stress and improved leaf bioactivity of maize in a saline soil from central China: a 2-year field experiment. **Journal Of The Science Of Food And Agriculture**, [s.l.], v. 95, n. 6, p.1321-1327, 15 ago. 2014. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.6825>.

LEHMANN, J., DA SILVA, J. P. JR., RONDON, M., DA SILVA, C. M., GREENWOOD, J., NEHLS, T., et al; Slash-and-char: a feasible alternative for soil fertility management in the Central Amazon. *Jornal 449, XIII Simpósio, 17th World Congress of the International Soil Science Society*, Bangkok/Thailand, p. 14-21, Agosto de 2002.

LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. Bio-char Sequestration in Terrestrial Ecosystems – A Review. **Mitigation And Adaptation Strategies For Global Change**, [s.l.], v. 11, n. 2, p.403-427, mar. 2006. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11027-005-9006-5>.

LUO, Y., DURENKAMP, M., De Nobili, M., Lin, Q., Devonshire, B.J., Brookes, P.C. Microbial biomass growth, following incorporation of biochars produced at 350°C or 700°C, in a silty-clay loam soil of high and low pH. **Soil Biology and Biochemistry**, 57:513-523, 2013.

MANYÀ, J. J. Pyrolysis for Biochar Purposes: A Review to Establish Current Knowledge Gaps and Research Needs. **Environmental Science & Technology**, [s.l.], v. 46, n. 15, p.7939-7954, 7 ago. 2012. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/es301029g>.

MESA-PEREZ, J. M. **Teste em uma planta de pirólise rápida de biomassa em leite fluidizado: critérios para sua otimização**. 2004. Tese (doutorado em engenharia de alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MORALES, M. M. **Efeito do biocarvão sobre o comportamento da matéria orgânica e do fósforo em solo degradado**. 2010. 88 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Agronomia (energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2010. Disponível em: <<http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0493.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2010.

NEVES, E. G.; PETERSEN, J. B.; BARTONE, R. N.; HECKENBERGER, M. J. The timing of terra preta formation in the Central Amazon: archaeological data from three sites. In: GLASER, B.; WOODS, W. I. (Eds.). **Amazonian Dark Earths: explorations in space and time**. New York: Springer, . p. 125-134. 2004

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

NOVOTNY, Etelvino Henrique et al. Biochar: pyrogenic carbon for agricultural use - a critical review. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, [s.l.], v. 39, n. 30 2, p.321-344, abr. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20140818>

PUGA, A. P. **Biocarvão na mitigação da toxicidade de metais pesados em solos de área de mineração**. 116 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agronômico, Campinas, SP, 2015.

ROCHA, J. D. et al. A tecnologia e leite fluidizado borbulhante em regime de pirólise rápida para obtenção de bio-óleo a partir de resíduos agro-industriais. In.: **Congresso Internacional de Biodiesel**, 1., 2003, Ribeirão Preto. Anais..., Ribeirão Preto, 2003. 2p.

SANTOS, J. L. S. **Biocarvão como condicionador da fertilidade e da microbiota de solo de Cerrado cultivado com soja**. 102 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

SMIDER, B.; SINGH, B. Agronomic performance of a high ash biochar in two contrasting soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 191, p. 99-107, 2014.

SOHI SP, KRULL E, LOPEZ-CAPEL E, BOL R. A review of biochar and its use and function in soil. In: Sparks DL, editor. **Advances in agronomy**. Waltham: Academic Press; 2010. v.105, p.47-82.

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

STEINBEISS, S., GLEIXNER, G. & ANTONIETTI, M. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 41, p. 1301– 1310, 2009.

STEINER, C.; TEIXEIRA, W. G.; ZECH, W. Slash and Char: An Alternative to Slash and Burn Practiced in the Amazon Basin. **Amazonian Dark Earths: Explorations in Space and Time**, [s.l.], p.183-193, 2004. Springer Berlin Heidelberg. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-05683-7_14.

STREUBEL, J. D. et al. Influence of Contrasting Biochar Types on Five Soils at Increasing Rates of Application. **Soil Science Society Of America Journal**, [s.l.], v. 75, n. 4, p.1402-1413, 2011. Soil Science Society of America. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2010.0325>.

TALBERG, Anita. **The basics of biochar**. Australia: Parliamentary Library, 2009. 9 p. Disponível em: <<https://www.aph.gov.au/binaries/library/pubs/bn/sci/biochar.pdf>>. Acesso em: 18 maio 2016.

TRAZZI, P. A., **Uso do biocarvão na produção de mudas e no crescimento inicial de *Pinus taeda* L.** 117 f. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. 117 Paraná, PR, 2014.

TSUZUKI, E. et al. Effect of pyroligneous acid and mixture of charcoal with pyroligneous acid on the growth and yield of rice plant. **Japanese Journal Of Crop Science**, [s.l.], v. 58, n. 4, p.592-597, 1989. Crop Science Society of Japan. <http://dx.doi.org/10.1626/jcs.58.592>.

VAN ZWIETEN, L. et al. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. **Plant And Soil**, [s.l.], v. 327, n. 1-2, p. 235-246, 19 jun. 2009. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-009-0050-x>.

VAN ZWIETEN, L.; KIMBER, S.; MORRIS, S.; CHAN, Y.K.; DOWNIE, A.; JOSEPH, S.; COWIE, A. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility, **Plant Soil**, 2010, pp. 327:235-246.

ZAVALLONI, C., ALBERTI, G., BIASIOL, S., VEDOVE, G.D., FORNASIER, F., LIU, J., PERESSOTTI, A. Microbial mineralization of biochar and wheat straw mixture in soil: a short-term study. **Applied Soil Ecology**, v. 50, p. 45-51, 2011.

ZHANG, HONGJIE. **Biochar Effects on Soil Microbial Biomass and Activity.** 2014. 117 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doctor Of Philosophy In Land Resource Science, The University Of Guelph, Guelph, Ontario, Canada, 2014.

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