



II SEMINÁRIO DE
ATUALIZAÇÃO FLORESTAL
XI SEMANA DE
ESTUDOS FLORESTAIS

Legislação Florestal e
O Código Florestal Brasileiro



BIOCHAR: UMA NOVA FERRAMENTA NO MANEJO DE SOLOS

Claudia Maria B F Maia

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira km 111, 83411-000 - Colombo, PR -(Brasil- Caixa-Postal: 319

Introdução

A agricultura está entre as principais atividades antropogênicas que interferem nas mudanças climáticas, seja pelas emissões de gases de efeito estufa (GEEs) devidas à produção de alimentos em si, seja pelas emissões destes gases causadas pelas mudanças no uso da terra. A produção de alimentos gera emissões em suas várias etapas, desde a produção de fertilizantes, o uso de combustível no transporte e a exportação de biomassa fotossintetizada. As mudanças de uso da terra envolvem alterações nos estoques de carbono na vegetação e no solo. O solos agrícolas, apesar de conterem apenas uma pequena proporção do carbono do planeta, podem provocar mudanças significativas no fluxo anual de carbono atmosférico. Daí a importância de manter ou aumentar os estoques de carbono no solo, visto seu potencial de armazenamento ser praticamente ilimitado (Sohi et al., 2010).

O que é biochar?

Biochar é qualquer material rico em carbono obtido de biomassa carbonizada sob baixa atmosfera de oxigênio, para uso como condicionador de solos. Praticamente qualquer fonte de biomassa pode ser carbonizada. A produção de biochar está estreitamente associada à cadeia de bioenergia, como a do carvão e a dos processos de pirólise para a produção de bioóleo, entre outras. Os finos de carvão das carvoarias por exemplo, até recentemente considerados resíduos do processo, hoje são de grande valor para uso agrícola. Entre as vantagens do uso do biochar em solos estão o aumento dos estoques de carbono a longo prazo, tendo em vista sua estabilidade, o aumento de produtividade e da capacidade de retenção hídrica.

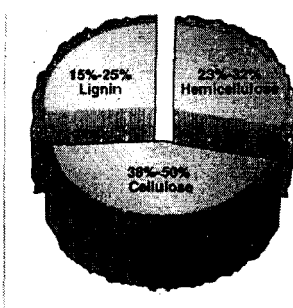
O carvão para uso no solo também é uma boa estratégia econômica, pois o Brasil é o maior produtor mundial de carvão vegetal (cerca de 38,5%). Anualmente são produzidos no país em torno de 10 milhões de t de carvão, dos quais cerca de 15% se perdem na forma de finos. Este subproduto da indústria carvoeira frequentemente não é utilizado na indústria siderúrgica (a maior consumidora de carvão) e, muitas vezes, torna-se um nocivo passivo ambiental. Existem diversas outras fontes importantes de biomassa residual nas cadeias da agroenergia: bagaço de cana, resíduos do babaçu, de soja, etc. Neste contexto, o biochar é uma tecnologia considerada "ganha-ganha-ganha": ganha o ambiente por substituir uma matriz energética não-renovável por bioenergia, por reciclar seus resíduos e por aumentar os estoques de carbono estável no solo, ganha a economia pelo aumento da produtividade das lavouras e pela redução no uso de fertilizantes químicos.

As origens da tecnologia

A idéia do biochar surgiu de estudos da matéria orgânica das *Terras Pretas de Índios* (TPI), solos amazônicos antropogênicos com excelentes características agrônômicas e ambientais, alta fertilidade e alto conteúdo de carbono estável (de origem pirogênica) em sua fração orgânica, o que forneceu um modelo de solo adequado ao sequestro de carbono. O conhecimento da sua estrutura e de suas propriedades vem possibilitando a busca por materiais e técnicas que visem mimetizá-lo através de práticas agrícolas (Novotny, 2009). As pesquisas indicam que o uso do biochar tem um potencial global de sequestro de CO₂ atmosférico da escala de bilhões de toneladas (109 t ano⁻¹) no espaço de 30 anos (Lehmann et al., 2009). No entanto, até agora, os resultados publicados refletem estudos de uso em pequena escala impedindo generalizações quanto a diferentes regiões geográficas e tipos de biochar (Sohi et al., 2009). O carvão vegetal se apresenta como um bom material para o alcance de um solo segundo o modelo TPI, pois apresenta grupos aromáticos condensados, que garantem a sua resistência à degradação química, ou recalcitrância, sendo potencialmente um eficiente material para sequestro de carbono.

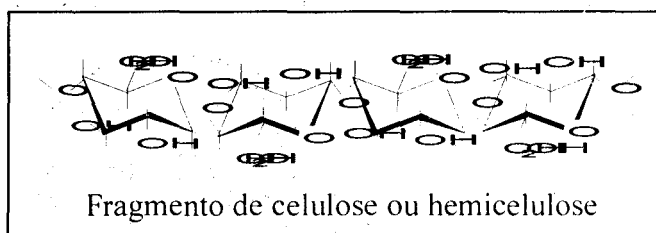
Os processos de pirólise

A biomassa é uma mistura complexa de polímeros naturais, tais como celulose e hemicelulose, além de lignina e pequenas quantidades de outras substâncias, como extrativos e cinzas. Cada material exibe uma característica particular quando é pirolisado devido à grande variabilidade da proporção destes componentes nas diferentes espécies vegetais.

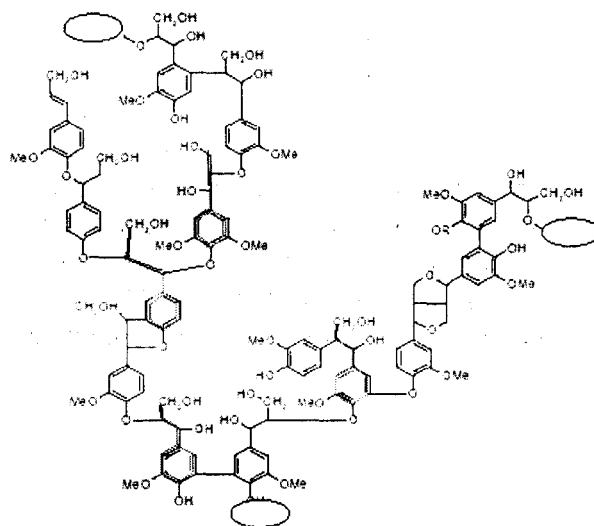


Por exemplo, a madeira de coníferas (pinus, araucária, ciprestes, etc) em médias possuem cerca de 42% de celulose, 28% de lignina e 25% de hemicelulose. Já as folhosas, como o eucalipto, em média apresentam 45% de celulose, 20% de lignina e 30% de hemicelulose. Espécies herbáceas em geral apresentam menor teor de lignina do que as arbóreas.

Composição química da madeira



Proposta de estrutura para a lignina →



Existem basicamente quatro métodos de conversão termoquímica da biomassa: a pirólise, a liquefação, a gaseificação e a combustão. Cada um desses processos gera diferentes produtos, determinados pelas condições de carbonização tais como temperatura e atmosfera. A pirólise e a liquefação da biomassa são os que proporcionam produtos predominantemente em forma líquida. A gaseificação, a pirólise e a carbonização, esta última conhecida como pirólise lenta, podem ser consideradas variações de um mesmo processo, conforme mostrado na Tabela 1.

O gás de síntese, ou gasogênio, produzido nos processos de pirólise é constituído principalmente por hidrogênio (H₂), o monóxido de carbono (CO) e o metano (CH₄), tendo também grande valor combustível.

A fase líquida é o licor pirolenhoso (também chamado de alcatrão ou bioóleo), uma mistura de compostos orgânicos de diversos tamanhos (tais como hidrocarbonetos saturados e aromáticos, ésteres, ácidos carboxílicos, alcoóis, aldeídos, cetonas e lactonas) e de caráter ácido (pH ~2,5). Embora quimicamente diferente do petróleo, pode ser considerado como tal por seu podercombustível. A fração fenólica do alcatrão pode substituir o fenoI petroquímico na formulação de resinas e outros processos industriais.

A fração sólida da carbonização é o carvão e sua qualidade, poder calorífico e rendimento dependem do processo de pirólise e do tipo de biomassa que o originou. A Tabela 2 mostra os resultados da análise imediata de um carvão produzido de madeira de eucalipto pelo processo artesanal conhecido como rabo-quente:

Tabela 1 Rendimentos de produtos de diferentes tipos de pirólise de madeira (base seca).

Processo	Características	Líquido	Carvão	Gás
Pirólise rápida	Temperatura de processo moderada (450-550°C), tempos de residência dos vapores e biomassa curtos (<2 s) com baixa granulometria.	75%	12%	13%
Carbonização	Baixas temperaturas (400-450°C), tempos de residência curtos (de horas ou dias), partículas grandes.	30%	35%	35%
Gaseificação	Alta temperatura (900°C), longos tempos de residência.	5%	10%	85%

Fonte: Rocha et al., 2004

Tabela 2. Análise imediata do carvão de eucalipto:

Umidade (%)	Cinzas (%)	Poder Calorífico (M/kg)	Materiais Voláteis (%)	Carbono Fixo (%)
37,34	29,46	16,61	28,39	42,14

Fonte: Maia, 2010

Aspectos químicos da carbonização

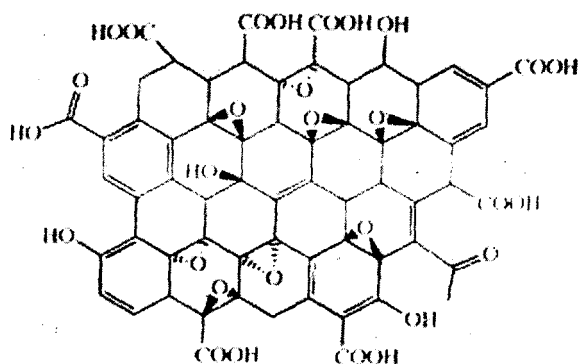
A química envolvida no processo de pirólise da biomassa é extremamente complicada, por várias razões: em primeiro lugar o termo biomassa é muito genérico, sendo usado para materiais vegetais os mais variados, tais como casca de coco, algas marinhas, madeira, casca de mandioca, etc.. Como mencionado anteriormente, de acordo com a origem, a biomassa apresenta diferentes características químicas. Em segundo lugar, ainda que considerando um único tipo de biomassa, as reações químicas envolvidas no processo de pirólise são pouco compreendidas. Os diferentes componentes químicos das plantas - principalmente celulose, hemiceluloses e lignina - sofrem diferentes tipos de reações durante a pirólise. Na primeira fase da pirólise, sob temperaturas mais baixas, a biomassa perde basicamente água e compostos voláteis. Conforme a temperatura aumenta, reações de degradação e recombinação começam a ocorrer. Estas reações se combinam de modo tão complexo que resultam em processos que ultrapassam o simples somatório de suas características individuais. Apesar destas dificuldades, já existe razoável informação sobre a química envolvida na pirólise de compostos mais simples.

Mecanismo de Radicais Livres

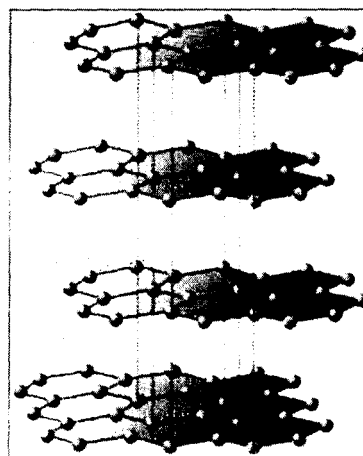
Todos os estudos sobre a degradação da madeira por pirólise apontam para reações protagonizadas por radicais livres. Estas reações são provavelmente as responsáveis pela quebra da celulose, hemicelulose e lignina durante a pirólise. As reações de radicais livres pode ser caracterizadas por etapas que podem ser generalizadas de acordo com a sequência abaixo:

- *Iniciação*: uma molécula se quebra em dois radicais livres. Apenas um pequeno número de moléculas 'precisa sofrer esta etapa para propagar' as etapas subsequentes e conduzir a reação.
- $\text{CH}_3\text{CH}_3 \sim 2 \text{CH}_3\cdot$
- *Eliminação de hidrogênio*: um radical livre pode arrancar um hidrogênio de outra molécula, criando outro radical que ajudará a propagar a reação.
- o, $\text{CH}_3\cdot + \text{CH}_3\text{CH}_3 \sim \text{C}\cdot + \text{CH}_3\text{CH}_2\cdot$ (produção de metano)
- *Decomposição radicalar*: um radical livre se quebra em duas moléculas, frequentemente criando um alqueno e hidrogênio radicalar.
- ti $\text{CH}_3\text{CH}_2\cdot \sim \text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}\cdot$ (produção de etileno e o precursor de gás hidrogênio - H_2)
- *Adição radicalar*: ao contrário da reação acima, um radical reage com um alqueno e produz um radical de cadeia mais longa o que, após várias etapas, pode levar a cadeias aromáticas.
- $\text{CH}_3\text{CH}_2\cdot + \text{CH}_2=\text{CH}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\cdot$
- *Terminação*: dois radicais livres interagem para formar uma molécula (sem radical). Dois tipos desta reação são a recombinação e a desproporcionamento.
- *Recombinação*: $\text{CH}_3\cdot + \text{CH}_3\text{CH}_2\cdot \sim \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$
- *Desproporcionamento*: $\text{CH}_3\text{CH}_2\cdot + \text{CH}_3\text{CH}_2\cdot \sim \text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{CH}_3\text{CH}_3$

O resultado é que, conforme a temperatura de carbonização aumenta, a estrutura do carvão vai se aproximando àquela do grafite, cadeia carbônica aromática pouco funcionalizada, ou seja, baixa razões O/C e H/C que conferem ao carvão alta estabilidade química e resistência a degradação.



Estrutura aromática funcionalizada



Estrutura do grafite

Uso agrícola do biochar

A maioria dos solos apresenta pequenos fragmentos de carvão vegetal ou *black carbon*, resultante de queimas naturais ou da ação do homem. No solo o carbono pirogênico é uma das frações com a maior média de vida dentre todas as frações contendo carbono (Pessenda et al.,

2001, citado por Petter, 2010). Frações contendo carbono pirogênico são encontradas nas TPI da Amazônia em grandes quantidades e com idades definidas através do método de radiocarbono que variam de 500-7000 anos (Neves et al., 2003, citado por Petter, 2010). Muito do que se sabe sobre a fração orgânica de solos ricos em carbono pirogênico vem do estudo de amostras de TPI. Fica evidente a longevidade desse material no solo, no entanto dinâmica de sua decomposição precisa ser ainda melhor estudada.

A presença de biochar pode contribuir para mudanças significativas nas propriedades físicas do solo, alterando características tais como: textura, estrutura, porosidade, diâmetro dos poros, distribuição granulométrica e densidade (Downie et al., 2009, citado por Petter, 2010). O carvão, devido à sua porosidade e à sua grande superfície específica, pode aumentar significativamente a capacidade de retenção de água, especialmente em solos de textura arenosa. Contudo, a estrutura aromática, que tem características hidrofóbicas, pode reduzir a penetração de água nos espaços porosos dos agregados do solo, aumentando assim a estabilidade dos agregados (Glaser et al., 2000, citado por Petter, 2010). Todas essas alterações nas propriedades físicas podem levar a mudanças em outras propriedades do solo, principalmente químicas e biológicas, em função do surgimento de sítios quimicamente reativos e habitats de proteção para microorganismos do solo (Brady & Weil, 2008, citado por Petter, 2010).

A estabilidade química do biochar é de fundamental importância no seu uso como ferramenta de manejo ambiental, por duas razões: primeiro, a estabilidade determina quanto tempo o carbono contido no biochar permanecerá sequestrado no solo e por quanto tempo pode influenciar as emissões de GEEs vindos da pedosfera e assim contribuir para a mitigação das mudanças climáticas. Segundo, a estabilidade determinará por quanto tempo o biochar beneficiará a qualidade do solo e da água. A conversão da biomassa em biochar seguida de sua aplicação no solo aumenta o tempo de residência de C no solo, quando comparado à mesma biomassa não carbonizada, o que pode resultar em uma retirada líquida de CO₂ atmosférico, dentro de determinada escala de tempo (Lehmann, 2007). Além disto, o biochar pode reduzir diretamente as emissões de outros gases estufa do solo, tais como o óxido nitroso e o metano (Yanai et al., 2007) e indiretamente através da maior eficiência no uso de fertilizantes e calcários obtida quando biochar é aplicado no solo (Lehmann et al., 2003).

O uso do carvão vegetal visando à melhoria dos atributos do solo vem sendo largamente estudado, mas pouco ainda se sabe de seu real potencial como condicionador e no sequestro de carbono. Estudos já realizados confirmam seu potencial para a melhoria das características químicas, físicas e biológicas do solo. Petter (2010) em recente revisão descreve que diversos autores (Tryon, 1948; Iswaran et al. 1980; Kishimoto & Sugiura, 1985) relatam efeito significativo da aplicação de carvão na fisiologia e produtividade da soja. Oguntunde et al. (2004) estudando o efeito do carvão vegetal na produção de milho observaram um incremento na produtividade de grãos em torno de 91% e na biomassa cerca de 44% em solo com carvão comparado com solo sem carvão. Major et al. (2005) verificou que a adição de carbono na forma de carvão vegetal aumentou a biomassa de plantas de arroz em 53%. Steiner et al. (2007) observaram o dobro de aumento na produtividade de arroz quando aplicado carvão vegetal junto com fertilizante. Vários trabalhos (Yamato et al., 2006; Rondon et al., 2006; Kmetu et al., 2008) demonstram efeito significativo na produtividade do arroz e outras gramíneas com a aplicação de carvão vegetal ao solo. Liang (2008) observou redução na respiração e aumento no C-biomassa microbiana com a aplicação de carvão e conseqüentemente aumento na eficiência metabólica dos microrganismos.

Maia & Sohi (2010) constataram que a adição de 30, 24 t de biochar ao solo ao longo de um ciclo de milho forrageiro resultou em um aumento de 2,7 vezes no teor de carbono total do solo, em relação aos tratamentos que não receberam este material. No mesmo estudo, houve aumento em 17% na produção de massa seca de milho forrageiro nas parcelas que receberam o biochar. Petter (2010), estudando o efeito do biochar em solos de cerrado, constatou que, na cultura da soja houve aumento significativo nos teores de C total de 0-10 cm no 10 ano de

aplicação de 16 Mg ha⁻¹ de carvão e de 10-20 em no 3º ano. As doses de 8 e 16 Mg ha⁻¹ de carvão proporcionaram maiores alturas e massa seca nas épocas avaliadas. Estes mesmos autores estudando a cultura do arroz, encontraram aumento significativo nos teores de P, Ca e pH e redução de Al e H+Al na camada de 0-10 em com a aplicação de 32 Mg ha⁻¹ de carvão. Neste estudo, a produtividade foi aumentada à medida que se aumentou as doses de carvão sendo que a maior eficiência no uso do N, P e K na dose de 32 Mg ha⁻¹.

Tecnologias de uso do biochar no solo

A maioria dos estudos sobre uso do carvão vegetal no solo são recentes e existem poucas informações sobre o efeito desta prática em experimentos de longo prazo. Os estudos mais antigos sobre o *black carbon* ou C pirogênico envolvem a prática do *slash-and-burn*, isto é, derrubada e queima da vegetação, desta forma enriquecimento do solo com as cinzas e carvão. Porém esta prática é muito questionável quanto aos efeitos ambientais, além do fato de que a queima nestas condições gera mais cinzas do que carvão.

No Brasil, devido à grande sua disponibilidade, o mais comum é o uso de resíduos de carvoaria. Porém, de acordo com a região, outros resíduos podem ter maior importância econômica.

Para a maior eficiência agrônômica, é interessante que o material carbonizado seja homogeneizado, podendo ser moído ou quebrado em fragmentos entre 2 e 10 mm. É importante proceder a análise do material para determinar seu teor de umidade, cinzas e carbono. Somente assim será possível saber as doses de biochar e de carbono que estão sendo efetivamente aplicadas ao solo. Adetenninação de cinzas é importante por seu efeito neutralizante à semelhança do calcário, pois a cinza é muito rica em potássio, cálcio e magnésio, entre outros íons. O biochar pode ser aplicado a lanço ou nas linhas de cultivo, manual ou mecanicamente. Devido a baixa densidade do biochar (em torno de 0,35 g cm⁻³), é importante incorporá-lo no solo para aumentar sua interação com as partículas minerais e com os agentes biológicos (raízes e organismos do solo). Em alguns experimentos, mesmo incorporado foi constatada grande mobilidade de material por ação do vento ou chuva. Em culturas anuais esta profundidade pode estar entre 10 e 15 cm. Para culturas perenes o material pode ser aplicado a maiores profundidades. O biochar pode ser incorporado com enxada rotativa, grade ou outro implemento, dependendo da profundidade desejada."

Não há ainda estudos suficientes para recomendações técnicas de doses de biochar a serem aplicadas: Portanto, a análise de fertilidade e física do solo, da composição química do biochar e as exigências da cultura são sempre necessárias. A frequência de aplicação também é outro aspecto a ser avaliado e um dos fatores que precisa ser considerado nesta prática é o custo econômico da operação, pois por mais barato que seja o biochar, os custos de seu transporte costumam ser altos.

Necessidades de pesquisa

Atualmente, os principais desafios de pesquisa sobre o biochar referem-se àqueles que ajudem a entender as seguintes questões:

- quais as melhores condições de carbonização para a produção de biochar?
- qual a melhor metodologia para medir o carbono pirogênico?
- que mecanismos estão envolvidos na interação do carvão com as partículas minerais e com as demais frações orgânicas do solo; além das interações iônicas, que outras forças estão envolvidas na retenção de nutrientes e de água;
- existem componentes no biochar tóxicos quando aplicados em doses muito altas? existe risco de percolação destes componentes? como o biochar no solo reage na presença de resíduos de agroquímicos;

- quais os custos envolvidos nos sistemas de produção que envolvem o biochar; quais as doses econômicas para diferentes sistemas?

- qual o balanço de carbono de sistemas de produção que adotam o biochar? quais os parâmetros necessários para o desenvolvimento de modelos matemáticos de predição do balanço de carbono;

Como pode-se ver, há muitas as perguntas que ainda não estão plenamente respondidas pela pesquisa: sobre o uso desta tecnologia há muitos os desafios a serem vencidos. Porém, o grande potencial em sequestrar carbono, vem atraindo cada vez mais cientistas pelo mundo inteiro e reforçando a velocidade com que os resultados são publicados.

Bibliografia citada e recomendada

Lehmann, J., Kern, D.E., Glaser, B., Woods, W.I., 2003. Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management, Amsterdam, p.523

Lehmann, J. 2007. Bio-energy in the Black, *Frontiers in Ecology*, Volume 5 (7)

Lehmann, 2009, Biochar for Environment Management, Earthscan Publishers Ltd (ISBN 978-1-84407-658-1) March 2009, Chapter 11, p. 184

Maia, C.M.B.E., Fios de carvão: fonte de carbono estável e condicionador de solos. Série Documentos, Embrapa Florestas, no prelo.

Maia, C.F.V.B.E., Sohi, S.P., The effect of biochar on soil-carbon stabilization in a highly SOM-depleted soil. 3rd IBI Meeting, Rio de Janeiro, Proceedings, 2010.

Novotny, E.H., Azevedo, E.R., Souza, A.A., Song, A., Nogueira, C.M., Mangrich, A.S., Hayes, M.H.B., Madari, B.E., Bonagamba, T., 2009. 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*, Volume 20, Number 6, p.1003 - 1010

Petter, F.A. Biomassa carbonizada como condicionador de solo: aspectos agronômicos do seu uso em solos de cerrado, Tese de Doutorado, UFGO, Ano de Obtenção: 2010.

Pyrolysis chemistry Disponível em:

[http://blogs.plncet.ox.ac.uk/chem333/f2006/biomass/bioV02chemistryprocessingJh1mCS'O\]_chemistly/](http://blogs.plncet.ox.ac.uk/chem333/f2006/biomass/bioV02chemistryprocessingJh1mCS'O]_chemistly/)

Rocha, I.O., Mesa Pérez, J.M., Cortez, L.A.B. Aspectos Teóricos e Práticos do Processo de Pirólise de Biomassa. Curso "Energia na Indústria de Açúcar e Alcool", UNIFEI, Itajubá, 2004. http://www.nest.unifei.edu.br/portugues/pags/novidades/curso_cytad/fil es/pdf/Tema%20%20-%20Processos%20e%20Tecnologias%20para%20a%20Conversao%20do%20Bagaco%20em%20Energia%20e%20Combustiveis/Pirolise.pdf

Sohi S.P., Krull E., Lopez-Capel E. and Boi R. 2010. A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy* 105:47-82

Sohi, S., Lopez-Capel, E., Krull, E., Boi, R., 2009. Biochar's roles in soil and climate change: A review of research needs. CSIRO Land and Water-Science Report 05/09, 64 pp.

Yanai, Y., Toyota, K., Okazaki, M., 2007. 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*, Volume 53(2), p.181 -188