

POSSIBILIDADES DE UTILIZAÇÃO E BENEFÍCIOS DA TECNOLOGIA DO BIOCHAR: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

 <https://doi.org/10.56238/arev7n5-357>

Data de submissão: 25/04/2025

Data de publicação: 25/05/2025

Moisés de Souza Mendonça

Doutorando em Desenvolvimento Rural e Sistemas Agroalimentares
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA)

E-mail: moises.mendonca@ifpa.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7898-2196>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7200606796227460>

Romier da Paixão Sousa

Doutor em Estudos Medioambientais
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA)

E-mail: romier.sousa@ifpa.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2925-5408>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4322101637185188>

RESUMO

Diante da crise econômica mundial, aumento dos impactos ambientais, explorações desordenadas do meio ambiente, perdas de fertilidades do solo, mudanças climáticas, agravamento do efeito estufa, aumento da demanda por alimentos, maior geração de resíduos, bem como da necessidade de se buscar meios de vida mais sustentáveis, precisa-se mudar nossas gestões e ações do viver diário, com estratégias que possibilitem e direcionem para um estilo de vida que proporcione a diminuição das agressões ao meio ambiente, mas que sejam igualmente social e economicamente sustentáveis. Este trabalho objetivou fazer uma busca bibliográfica, pontuando possibilidades e vantagens do uso da tecnologia do biochar como estratégia de reaproveitamento dos resíduos orgânicos. Utilizou-se como metodologia a revisão bibliográfica sistemática sobre a temática “biochar”. Observou-se que a tecnologia do biochar possibilita ser utilizada de diversas formas e proporções, podendo servir como: condicionador de solo; parte de substrato; recuperador de solos; fito remediador/biorremediador; alimentação animal; e gerador de energia. O uso do biochar traz diversos benefícios ao solo, planta, água, animais, gestão ambiental, colaborando com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Palavras-chave: Biocarvão. Pirólise. Sustentabilidade. Termo Conversão. Terra Preta.

1 INTRODUÇÃO

Diante da crise econômica mundial, aumento dos impactos ambientais, explorações desordenadas do meio ambiente, perdas de fertilidades do solo, mudanças climáticas, agravamento do efeito estufa, aumento da demanda por alimentos, maior geração de resíduos, bem como a necessidade de se buscar meios de vida mais sustentável, vivemos dias difíceis, onde o próprio planeta, com suas ações e reações, como catástrofes (terremotos, maremotos, tempestades, inundações, avalanches, queimadas, aquecimento global), alerta-nos quanto à necessidade de mudanças em nossas gestões e ações do viver diário.

Na busca por maior qualidade de vida, seja ela urbana e/ou rural, precisa-se buscar estratégias que possibilitem e direcionem para um novo estilo de vida que proporcione a diminuição das agressões ao meio ambiente, mas que sejam igualmente sustentáveis social e economicamente, necessidades essas que a pesquisa vem avançando na busca por alternativas.

Neste contexto problema, tem-se os resíduos sólidos orgânicos descartados inadequadamente, que se decompõem de forma anaeróbica e produzem gás metano (CH₄), um significativo poluidor de gás do efeito estufa (GEE), com aproximadamente 25 vezes o potencial de aquecimento global do dióxido de carbono (CO₂).

A expansão agrícola, com sua crescente prática de descarte inadequado dos resíduos, que, quando imprópria a coleta, disposição e destinação dos resíduos, tem causado danos constatados na degradação do solo (queima e diminuição dos nutrientes) e na saúde humana (LIMA *et al.*, 2005). As consequências da ineficiência desse sistema de gestão e manejo dos resíduos se agrava com a contaminação da água, solo e alimentos, acarretando na proliferação de insetos e outras pragas (MARTINI *et al.*, 2006).

Uma das possíveis estratégias para se ter um meio de vida mais sustentável é a perspectiva de reaproveitar os resíduos orgânicos produzidos, como é o caso da tecnologia do biochar.

No decorrer da história, povos indígenas utilizaram o biochar para aumentar a qualidade dos solos e a produtividade agrícola, sendo essa tecnologia também conhecida como biocarvão, que nada mais é do que a biomassa dos resíduos vegetais carbonizados por meio do processo de pirólise, isto é, produto da matéria orgânica aquecida em baixa atmosfera de oxigênio. O composto final é rico em carbono, pois mantém parte do carbono sequestrado do ar na nova biomassa (REINAUD, 2017). O biochar também pode ser confeccionado a partir de resíduos de animais e de lodo de esgoto (WANG *et al.*, 2018), onde o processo pirolítico de transformação do resíduo em biocarvão também é conhecido por termo conversão.

Por ser um dos principais componentes da “Terra Preta de Índio”, um solo antropogênico fértil de regiões amazônicas, a tecnologia do biochar vem sendo estudado em diversas linhas de pesquisa (LEHMANN; JOSEPH, 2009), trazendo benefícios não só no tratamento de resíduos, mas também no uso como matéria-prima com valor agregado, onde em um sistema de gestão de resíduos orgânicos urbanos e rurais, seu uso minimiza questões ambientais e sanitárias relacionadas ao processamento, armazenamento, transporte e uso dos resíduos para fins agronômicos. Ao pirolisar os resíduos, os nutrientes ficam concentrados, há imobilização de metais tóxicos na forma de óxidos e silicatos, não são mais gerados odores desagradáveis no armazenamento, são sanitariamente seguros, facilitando assim o transporte e manuseio (PHAM *et al.*, 2013).

Com tais informações iniciais, ainda ficam alguns questionamentos: o biochar serve apenas para aplicação no solo? Há mais alguma utilidade para essa tecnologia? Quais os benefícios que se tem com a utilização dessa nova biomassa?

Diante de tais questionamentos, esse trabalho objetivou fazer um apanhado bibliográfico pontuando algumas das possibilidades e vantagens do uso do biochar como estratégia de reaproveitamento dos resíduos orgânicos, demonstrando assim possibilidades para: a redução da deposição residual; tratamento adequado; reduções de impactos do aquecimento global; e colaboração com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).

2 METODOLOGIA

Este trabalho teve por método a revisão bibliográfica sistemática sobre a temática “biochar”, momento em que se limitou a ideia central de seleção de artigos, avaliando-os criticamente, para posterior sintetização dos estudos pertinentes, tendo ainda como questão direcionadora a seguinte: “Quais as possibilidades de utilização e benefícios que a tecnologia do biochar apresenta”?

Para o levantamento das informações, considerou-se fontes nos idiomas português (20%), inglês (71%) e espanhol (9%), em periódicos nacionais e internacionais, revisados por pares, com recorte temporal para os anos de 2012 a 2022, exceto para literaturas chaves ao desenvolvimento do trabalho.

Teve-se por bases de dados a busca online, com levantamento bibliográfico em artigos, no banco de dados da CAPES, utilizando-se como descritor o termo: “biochar”.

Realizou-se busca sobre a temática geral, tendo como objetivo identificar e listar trabalhos que tratasse de pesquisas que mencionassem as possibilidades de utilização e benefícios da tecnologia do biochar, com suas especificidades, até a sua aplicação e influências. Avaliou-se inicialmente os

títulos e resumos dos artigos pesquisados, para posterior análise da fundamentação teórica e dos resultados obtidos.

Consultou-se 196 fontes bibliográficas, dos quais foram efetivamente utilizadas/citadas 119 literaturas, pois eram os que estavam de acordo com a proposta desse trabalho.

3 POSSIBILIDADES DE UTILIZAÇÃO E BENEFÍCIOS DO BIOCHAR

Em tempos em que se buscam maior sustentabilidade nas produções, inclusive agropecuária e florestal, estratégia como o reaproveitamento de resíduos tem se mostrado alternativa eficiente nas novas formas de produção.

Neste sentido, estudos e pesquisas vêm avançando na investigação das possibilidades e estratégias de reaproveitamento dos resíduos gerados, sendo que, no que concerne aos resíduos sólidos orgânicos, tem-se a estratégia da tecnologia do biochar, possibilidade essa utilizada pelos primórdios e que apresenta vantagens sustentáveis, diminuindo os impactos ambientais, melhorando a qualidade de vida das pessoas, bem como sendo uma possibilidade econômica oportunizada.

O biochar é a biomassa carbonizada (biocarvão) rica em carbono. Este é confeccionado em processo de pirólise, isto é, matéria orgânica aquecida em baixa atmosfera de oxigênio, sendo uma tecnologia utilizada há séculos pelos povos indígenas, objetivando melhorar a qualidade dos solos e aumentar da produtividade agrícola (REINAUD, 2017).

Considerando o atual cenário mundial e os problemas econômicos vivenciados, há demanda por sistemas mais produtivos, com menor custo (MORGADO *et al.*, 2000), havendo necessidade de mudanças de atitudes rumo à produção mais sustentável.

Neste contexto, um dos setores que significativamente geram resíduos sólidos orgânicos são as atividades agropecuárias e o processamento de seus produtos, que, por vezes, ocasionam poluição no solo e água, apesar de serem ricos em material orgânico (MATOS, 2005).

No meio rural, mesmo grande parte dos resíduos gerados serem sólidos e orgânicos, o tratamento comumente que se faz é a queima, podendo acarretar perda de fertilidade, degradação do solo, lixiviação, assoreamento etc.

Entendendo que os resíduos agrícolas são fontes de matéria orgânica, sendo elemento essencial em solos amazônicos, por ser constituído por carboidratos, lipídeos, aminoácidos, proteínas, ligninas, ácidos nucleicos, pigmentos, ácidos orgânicos e ácidos fúlvicos, húmicos e huminas (PASSOS *et al.*, 2007; THENG *et al.*, 1989), o reaproveitamento e utilização dessa matéria orgânica favorece maior capacidade de retenção de água no solo, disponibilidade de nutrientes para as plantas, redução da densidade aparente e global, e aumento da porosidade do meio (CORDELL; FILER JUNIOR, 1984).

Para facilitar a visualização, relacionou-se abaixo (Quadro 2) as temáticas a serem trabalhadas como possibilidade de utilização do biochar, listando os autores e os países em que a pesquisa foi desenvolvida, bem como o percentual de literaturas encontradas dentro de cada temática trabalhada.

Quadro 1. Possibilidades de utilização do biochar listadas pelas temáticas abordadas, percentual (%), autores e país de realização da pesquisa.

Temáticas Abordadas	%	Autores e Ano	País da Pesquisa
Condicionador de solo	41,94%	Maekawa (2002)	Brasil
		Kämpf <i>et al.</i> (2003)	Brasil
		Oguntunde <i>et al.</i> (2004)	Gana
		Deluca <i>et al.</i> (2006)	USA
		Liang <i>et al.</i> (2006)	Brasil
		Steiner <i>et al.</i> (2007)	Brasil
		Yu <i>et al.</i> (2007)	USA
		Lehmann e Joseph (2009)	USA
		Morales (2010)	Brasil
		Gaskin <i>et al.</i> (2010)	USA
		Atkinson <i>et al.</i> (2010)	Inglaterra
		Singh <i>et al.</i> (2010)	Austrália
		Petter (2010)	Brasil
		Sohi <i>et al.</i> (2010)	Inglaterra
		Petter e Madari (2012)	Brasil
		Novotny <i>et al.</i> (2012)	Brasil
		Lin <i>et al.</i> (2012)	Austrália
		Petter, Madari, Silva <i>et al.</i> (2012)	Brasil
		Verheijen <i>et al.</i> (2012)	Portugal
		Pereira <i>et al.</i> (2012)	Brasil
		Freitas (2013)	Brasil
		Santos <i>et al.</i> (2013)	Brasil
		Pérez, Barrera e Ramírez (2015)	Colômbia
		Novotny <i>et al.</i> (2015)	Brasil
		Carvalho <i>et al.</i> (2016)	Brasil
		Figueiredo <i>et al.</i> (2017)	Brasil
		Silva, Fernandes <i>et al.</i> (2017)	Brasil
		Silva, Basílio, <i>et al.</i> (2017)	Brasil
		Martínez <i>et al.</i> (2017)	Colômbia
		Abad <i>et al.</i> (2018)	Equador
		Alberto <i>et al.</i> (2018)	México
		Petter <i>et al.</i> (2018)	Brasil
		Sato (2018)	Brasil
		Woiciechowski <i>et al.</i> (2018)	Brasil
		Machuca <i>et al.</i> (2019)	México
		Mendonça (2019)	Brasil
		Dominchin <i>et al.</i> (2019)	Argentina
		Fernandes <i>et al.</i> (2019)	Brasil
		Silva <i>et al.</i> (2019)	Brasil
		Santos <i>et al.</i> (2019)	Brasil
		Zelaya <i>et al.</i> (2019)	Brasil
		Rodrigues <i>et al.</i> (2019)	Portugal
		Gonzaga <i>et al.</i> (2019)	Brasil
		Matoso <i>et al.</i> (2019)	Brasil
		Araujo <i>et al.</i> (2019)	Brasil
		Moreno <i>et al.</i> (2019)	Colômbia
		Paiva <i>et al.</i> (2019)	Brasil

Substrato	24,19%	Farias <i>et al.</i> (2020)	Brasil
		Torres <i>et al.</i> (2020)	Brasil
		Marcelino <i>et al.</i> (2020)	Brasil
		Alam <i>et al.</i> (2020)	Indonésia
		Reinoso <i>et al.</i> (2020)	Colômbia
		Glaser <i>et al.</i> (2002)	USA
		Lehmann <i>et al.</i> (2003)	USA
		Yamato <i>et al.</i> (2006)	Indonésia
		Chan <i>et al.</i> (2008)	Austrália
		Lehmann e Joseph (2009)	USA
		Ruivo <i>et al.</i> (2009)	Brasil
		Madari <i>et al.</i> (2010)	Brasil
		Verheijen <i>et al.</i> (2010)	Portugal
		Marimon Júnior <i>et al.</i> (2012)	Brasil
		Schulz e Glaser (2012)	USA
		Freitas (2013)	Brasil
		Lima <i>et al.</i> (2015)	Brasil
		Andrade <i>et al.</i> (2015)	Brasil
		Glaser <i>et al.</i> (2015)	USA
		Lima, Marimon Junior, Santos <i>et al.</i> (2016)	Brasil
		Liu <i>et al.</i> (2016)	China
		Rezende <i>et al.</i> (2016)	Brasil
		Silva; Mackowiak <i>et al.</i> (2017)	USA
		Mendonça (2017)	Brasil
		Fornes e Belda (2018)	Espanha
		Herrera <i>et al.</i> (2018)	Peru
		Trazzi <i>et al.</i> (2018)	Brasil
		Gonzaga <i>et al.</i> (2018)	USA
		Wang <i>et al.</i> (2018)	China
		Costa <i>et al.</i> (2018)	Brasil
		Coelho <i>et al.</i> (2018)	Brasil
		Lorin <i>et al.</i> (2019)	Brasil
		Mendonça (2019)	Brasil
		Alvarez <i>et al.</i> (2019)	USA
		Crispim <i>et al.</i> (2020)	Brasil
		Kämpf <i>et al.</i> (2003)	Brasil
		Oguntunde <i>et al.</i> (2004)	Gana
		Liang <i>et al.</i> (2006)	Brasil
		Yu <i>et al.</i> (2007)	USA
		Libra <i>et al.</i> (2011)	Alemanha
		Bruun e EL-Zehery (2012)	Egito
		Freitas (2013)	Brasil
		Rebolledo <i>et al.</i> (2016)	México
		Carmo, Lima e Silva (2016)	Brasil
		Zhou e Chen (2017)	China
		Vendruscolo <i>et al.</i> (2018)	Brasil
		Choi <i>et al.</i> (2018)	Costa Rica
		Wang <i>et al.</i> (2018)	China
		Ribeiro <i>et al.</i> (2019)	Brasil
		Dominchin <i>et al.</i> (2019)	Argentina
		Petter <i>et al.</i> (2019)	Brasil
		Latawiec <i>et al.</i> (2019)	Brasil
		Marcelino <i>et al.</i> (2020)	Brasil
		Delaye, Ullé e Andriulo (2020)	Argentina
Recuperador de Solos	15,32%	Glaser <i>et al.</i> (2001)	USA
		Glaser <i>et al.</i> (2002)	USA
		Steiner <i>et al.</i> (2007)	Brasil
Fito remediador/ Biorremediador	16,13%		

		Harel <i>et al.</i> (2012)	Israel
		Alho <i>et al.</i> (2012)	Brasil
		Pereira e Rodrigues Júnior (2013)	Brasil
		Carvalho <i>et al.</i> (2013)	Brasil
		Petter <i>et al.</i> (2016)	Brasil
		Rodríguez-Vila <i>et al.</i> (2017)	Espanha
		Guimarães <i>et al.</i> (2018)	Brasil
		Costa <i>et al.</i> (2018)	Brasil
		Silva <i>et al.</i> (2018)	Brasil
		Casteblanco (2018)	Colômbia
		Borba <i>et al.</i> (2019)	Brasil
		Yamaguchi, Rubio e Bergamasco (2019)	Brasil
		Aguilar, Munoz e Guzman (2020)	Colômbia
		Batista <i>et al.</i> (2020)	Brasil
		Shikuku e Kimosop (2020)	Quênia
		Andrade <i>et al.</i> (2020)	Brasil
		Sousa <i>et al.</i> (2021)	Brasil
Alimentação Animal	0,81%	Roessler <i>et al.</i> (2017)	Gana
Gerador de Energia	1,61%	Ramos, Burgos e Prat (2016)	Colômbia
		Luperón <i>et al.</i> (2020)	Cuba

Orgs.: Os autores (2023).

Devido a sua potencialidade, o biochar é considerado um material com multifuncionalidades. Dentre as suas possibilidades de utilização e benefícios, abaixo destacamos algumas formas de aproveitamento da tecnologia do biochar:

3.1 CONDICIONADOR DE SOLO

As atividades agropecuárias e a agroindustrialização têm ocasionado poluições no solo e água, apesar de parte de seus resíduos possibilitar seu reaproveitamento e transformação em adubos para melhoria da qualidade dos solos (MATOS, 2005).

O Brasil consome cerca de 32 milhões de toneladas de fertilizantes por ano, das quais 75% são importados, trazendo impactos ao solo (FONGARO, 2016), contexto em que o biocarvão se destaca como material e ferramenta que propicia ganhos agronômicos, melhorando os atributos edáficos e saúde do solo (MARCELINO *et al.*, 2020).

O biochar pode ser produzido por meio de diferentes biomassas de origem vegetal, podendo ser inserido puro ao solo e/ou fazer parte da composição de substrato com destinação para a agricultura (LEHMANN; JOSEPH, 2009).

Sabendo que os resíduos orgânicos podem ser transformados em biochar, essa tecnologia apresenta grande utilização junto aos solos e produções agropecuárias, pois ao sequestrarem carbono do ar para formação da biomassa e sofrerem carbonização sob limitação de oxigênio, o biochar contribui para melhor performance na estrutura física, química, aeração e permeabilidade do solo; aumenta a retenção de água (STEINER *et al.*, 2007); maior inserção mineral (N, K, P, Ca, Mg, B, Si,

Cl, Cu, Mn, Mo e Zn) (FREITAS, 2013; MAEKAWA, 2002; MORALES, 2010); e favorece o crescimento da fauna microbiana no solo, influenciando na fixação de nitrogênio e decomposição de matéria orgânica (DELUCA *et al.*, 2006).

Além de melhorar os atributos físicos (capacidade de agregação, porosidade, aeração e armazenamento de água) e químicos do solo, o biochar também ajuda nos atributos biológicos; eleva os níveis de pH (FREITAS, 2013; OGUNTUNDE *et al.*, 2004; YU *et al.*, 2007); aumenta a capacidade de troca de cátions; e melhora na capacidade de agregação das partículas do solo (KÄMPF *et al.*, 2003; LIANG *et al.*, 2006; OGUNTUNDE *et al.*, 2004; YU *et al.*, 2007).

Com a inserção do biochar ao solo, Mendonça (2019) constatou aumento da umidade do solo, aumento na capacidade de retenção de água (CRA) e maior atividade enzimática das fosfatases, arilsulfatases e da hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA), o que é corroborado por Petter e Madari (2012), pois encontraram melhora nos atributos físico-químicos do solo, ocasionando aumento da produtividade, seja devido as características da superfície e por sua estrutura aromática, seja pelo efeito eletrofisiológico, concluindo que o biocarvão contribui para a redução da emissão de gases de efeito estufa e que pode substituir os fertilizantes agroquímicos sintéticos e ainda serem utilizados como condicionador de solos, o que é corroborado por Reinoso *et al.* (2020) ao constatarem que, ao melhorar as características físico-químicas do solo, a aplicação do biochar na agricultura acarreta em respostas positivas no comportamento fitossanitário das plantas (aumento da germinação, acúmulo de matéria seca, fotossíntese, qualidade etc.).

Assim, o biochar possui poder de fertilização (P, Ca, K, Mg, Mn, Zn e B), com características químicas que alteram o pH e os sais do solo (MORALES, 2010), bem como outras características como: melhora o equilíbrio nutritivo; reduz o uso de fertilizantes mineral (GASKIN *et al.*, 2010); melhora o desenvolvimento dos microrganismos no solo, assim como de raízes (ATKINSON *et al.*, 2010); são mais resistentes à degradação microbiana; e suas qualidades persistem por um longo tempo no solo (SOHI *et al.*, 2010).

Pesquisas têm comprovado os inúmeros benefícios de se utilizar o biochar como condicionador de solo, seja em hortaliças, culturas anuais, perenes e até na produção florestal.

Silva, Fernandes *et al.* (2017) constataram que a aplicação de biochar no cultivo do feijoeiro aumenta a massa seca da raiz, massa seca da parte aérea, massa seca de grãos, número de vagens e número de grãos, igualmente encontrado por Silva *et al.* (2019) ao estudarem a influência do biochar no crescimento e nutrição de mamoeiro, e na fertilidade do solo, observando resultados positivos de crescimento da parte aérea e das raízes, bem como nas características químicas do solo, proporcionando aumento no crescimento e nutrição do mamoeiro e da fertilidade do solo.

Constatou-se ainda que o uso de biocarvão aumenta o acúmulo de nutrientes nos grãos (SILVA; BASÍLIO *et al.*, 2017), o que foi comprovado por Abad *et al.* (2018) ao verificarem a influência do uso de biocarvão no milho (*Zea mays L.*), encontrando aumento no rendimento e de proteína no grão.

Na produção vegetal, os atributos de produtividade e qualidade, quando relacionados à solos com aplicação de biochar, tem-se resultados de melhorias nos atributos altura de planta e matéria verde (ALBERTO *et al.*, 2018), o que é corroborado por Zelaya *et al.* (2019) que encontraram, na produção de beterraba, aumento da fertilidade do solo, das raízes finas e da eficiência de absorção de nutrientes pelas plantas, bem como por Farias *et al.* (2020) que constataram maior crescimento e produtividade de plantas de quiabo, e por Petter, Madari, Silva *et al.* (2012) que observaram resultados positivos na fertilidade do solo, no crescimento das plantas e no acúmulo de massa de matéria seca em terras altas no Cerrado.

Associando biocarvão com fertilizante fosfatado e sua influência na eficiência de seu uso na produção vegetal, verificou-se resultados favoráveis quanto a matéria seca, conteúdo de P na planta e P disponível no solo (SANTOS *et al.*, 2019), havendo inclusive aumento do pH no solo, da CTC, de teores de nutrientes e do crescimento vegetativo (TORRES *et al.*, 2020). Ressalta-se que o aumento nos parâmetros de carbonização (temperatura e/ou tempo de residência) geram diferentes estruturas de fosfatos (maior simetria e menor polarizabilidade cruzada), ocasionando um fosfato com menor solubilidade (NOVOTNY *et al.*, 2012).

A adição de biochar ainda influencia na disponibilidade de fósforo em solo ácido, apresentando sorção menor, aumentando a concentração de P solúvel, o que beneficia as propriedades de retenção deste (MARTÍNEZ *et al.*, 2017), possuindo maior disponibilidade quando o P é adicionado após o processo de pirólise, pois durante este, o aquecimento do fertilizante fosfatado resulta em maior cristalinidade dos fosfatos e menor teor de frações lábeis (MATOSO *et al.*, 2019).

Relacionando a eficiência de absorção de nitrogênio e fósforo na produção vegetal, o uso de biocarvão proporciona aumento no crescimento das plantas e melhora a eficiência quanto a absorção de N (GONZAGA *et al.*, 2019), tendo Carvalho *et al.* (2016) detectado que após a aplicação do biochar, o espaço poroso preenchido por água diminuiu e os fluxos de N₂O-N e a disponibilidade de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ no solo aumentaram após as aplicações de N.

A adsorção do NH₃ pelo carvão funcionalizado apresenta correlação positiva com a quantidade de grupos carboxílicos e fenólicos, porém correlação negativa com o valor de pH e o ponto isoelettrico (PAIVA *et al.*, 2019), diferentemente do que ocorre com os teores de C no solo após a inserção do biochar, que aumenta (RODRIGUES *et al.*, 2019), pois o processamento térmico aumenta a reação do biochar e afeta a distribuição das frações de carbono orgânico dissolvido, levando-o à imobilização e

a um aumento na concentração de substâncias neutras com baixo peso molecular no biochar (LIN *et al.*, 2012).

Quanto à salinidade do solo, o biochar causa alterações positivas, promovendo aumento da condutividade elétrica, pH, Na e K (FERNANDES *et al.*, 2019), além do aumento do carbono orgânico total e da relação C/N, havendo ainda, em altas concentrações de biochar, aumento da atividade hidrolisante do FDA, de bactérias Gram negativas e de ácidos graxos fosfolipídicos totais no solo (DOMINCHIN *et al.*, 2019).

Sabe-se que a matéria prima para a confecção do biochar pode variar. Dentre essas possibilidades, tem-se o lodo de esgoto, capaz de oportunizar um biocarvão com características de condicionador de solo agrícola, com alto teor de nutrientes e baixo risco ambiental (MACHUCA *et al.*, 2019), resíduo esse estudado por Figueiredo *et al.* (2017) que verificaram diminuição das relações O/C e H/C com o aumento da temperatura de pirólise, gerando maior estabilidade do C e taxas de liberação de nutrientes (Cd, Cr, Ni e Pb).

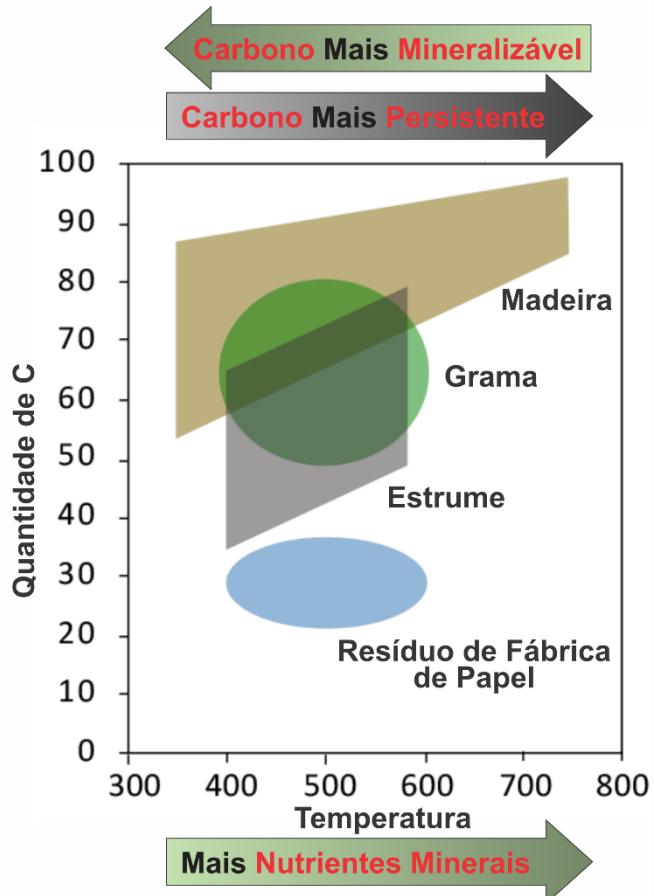
O uso de biochar ainda possui efeito direto no controle do patógeno *Macrophomina phaseolina* (ARAUJO *et al.*, 2019); aumento da atividade enzimática (urease, β -glucosidase e FDA) no solo (PETTER *et al.*, 2018), quantidade de água transpirável no solo e do limiar de umidade; além de reduzir a taxa de transpiração normalizada, inclusive retardando o ponto em que a transpiração declina e afeta a produtividade (PEREIRA *et al.*, 2012).

Especificamente na produção florestal, Woiciechowski *et al.* (2018) quantificaram os nutrientes e umidade do solo após a inserção de biocarvão em um plantio de *Eucalyptus benthamii*, detectando incrementos relacionados ao teor de cinzas na constituição do condicionador, tendo Moreno *et al.* (2019) encontrado melhorias nos atributos altura de planta e matéria verde. Na integração de plantações florestais comerciais em biorrefinaria termoquímica, Pérez, Barrera e Ramírez (2015) constataram que a Colômbia possui potencial na silvicultura, com nichos de mercado (bioenergia e bioproductos) inexplorado.

Num cenário econômico ambiental, a estratégia mais favorável para o consórcio da produção de soja com kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) é otimizar com a aplicação de biocarvão nos cultivos (ALAM *et al.*, 2020).

Vale ressaltar que, as características finais do biocarvão dependerá do seu material de origem, bem como do processo de pirólise (tempo e temperatura), pois ao comparar os materiais de origem animal (dejetos) com os de origem vegetal, aqueles costumam possuir maior pH, quantidade de nutrientes (N, P, K, S, Ca, Mg) e maior capacidade de troca catiônica, porém, tendem apresentar menor quantidade de C (Figura 1) (SINGH *et al.*, 2010).

Figura 1 – Comparação do tipo de matéria prima com a quantidade de carbono e de nutrientes.



Fonte: Adaptado de <https://biochar.international/guides/properties-fresh-aged-biochar/> (acesso em 24/06/2023)

Além dessas diferenciações, tem-se as diferentes interações ocorridas de acordo com o solo, pois nos solos arenosos os efeitos positivos são facilmente observados devido à estrutura porosa do biochar que favorece a retenção de água, diferentemente do que ocorre em solos argilosos, que apresentam efeitos mais neutros (zero) (MARCELINO *et al.*, 2020), isto é, a absorção de nutrientes e/ou o crescimento das plantas não são tão evidenciados com o uso de biochar em solos argilosos, apresentando baixo efeito sinérgico positivo, pois as condições são menos estressantes às plantas (RODRIGUES *et al.*, 2019).

Sendo assim, os efeitos do biochar no solo não é um assunto exaurido, pelo contrário, precisa-se avançar ainda mais nas pesquisas, pois existem variáveis limitantes quanto à qualidade do biochar usado na agricultura (PETTER, 2010; SANTOS *et al.*, 2013), bem como verificar a influência nas características físico-químicas e biológicas do solo e as respostas em outras plantas, quando esse material é misturado ao solo, em doses e granulometrias diferentes.

Contribuindo com as possibilidades de uso do biochar na agricultura, Novotny *et al.* (2015) trazem uma revisão com temas como: a forma de produção de biocarvão; composição química da

matéria-prima; influência da temperatura na termo decomposição da biomassa; tratamento termoquímico de biomassa; pirólise, gaseificação e combustão; métodos padrão para qualificar biochar; potencial agronômico; fatores determinantes e efeitos potenciais do biocarvão nas relações solo, planta e atmosfera etc.

Ao olhar para as temáticas sustentabilidade, certificação e regulamentação do biochar, sabe-se que os efeitos e o comportamento do biochar devem ser modelados em escalas temporais similares às de seu tempo de vida funcional nos solos, sendo que onde os dados existentes sobre as características do solo forem insuficientes, procedimentos de amostragem e análise do solo devem ser descritos como parte do procedimento de certificação do biochar (VERHEIJEN *et al.*, 2012).

3.2 SUBSTRATO

Além de condicionador de solo, o biochar pode fazer parte da composição de substrato com destinação à agricultura, apresentando significativos benefícios à produção de mudas (LEHMANN; JOSEPH, 2009), uma vez que ao aumentar as doses do biochar, teores de N, P, K, Ca e Mg também aumentam (FREITAS, 2013), refletindo direta e indiretamente no desenvolvimento e rendimento das culturas, e no sequestro de carbono (WANG *et al.*, 2018).

Ao utilizar biochar na produção de mudas, obtém-se aumento do crescimento vegetativo e vigor das plantas e maior capacidade de germinação (HERRERA *et al.*, 2018; MADARI *et al.*, 2010; MENDONÇA, 2017), entendimento corroborados por Mendonça (2019) ao detectar melhora nos atributos altura da planta, diâmetro, nº de folhas, área foliar, massa seca das raízes, massa seca das folhas, massa seca dos caules e ramos, e massa seca total na produção de mudas de pimenta do reino (*Piper nigrum* L.); por Crispim *et al.* (2020) ao verificarem que aspectos nutricionais do biocarvão proporcionaram melhor desenvolvimento de mudas de rúcula (*Eruca sativa*); e por Lima *et al.* (2015) ao constatarem melhores resultados quanto aos parâmetros altura, diâmetro e biomassa aérea de mudas do tingui (*Magonia pubescens* St. Hil).

O aumento da produção de biomassa das plantas pode ser decorrente de melhorias na parte física, química e biológica do solo, pois o uso do biocarvão misturado aos substratos favorece a maior capacidade de retenção de água, melhora a estabilidade dos agregados, aumenta porosidade e taxa de infiltração de água (GLASER *et al.*, 2002; LIU *et al.*, 2016; VERHEIJEN *et al.*, 2010), aumenta o pH e a CTC do solo (LEHMANN *et al.*, 2003), fornece nutrientes direta e indiretamente para as plantas (CHAN *et al.*, 2008), melhora a saturação por bases (SCHULZ; GLASER, 2012), a disponibilidade de P (YAMATO *et al.*, 2006), além de favorecer as interações do solo com a microfauna (RUIVO *et al.*, 2009).

Glaser *et al.* (2015) verificaram que a adição de biochar no composto elevou a produtividade de milho (*Zea mays* L.), resultado positivo também encontrado na produção de mudas de jiló (*Solanum gilo* RADDI, Solanaceae) utilizando substratos com adição de biochar, obtendo maior número de folhas, comprimento radicular e valores de fitomassa verde e seca (MARIMON JÚNIOR *et al.*, 2012).

Outras influências encontradas foram a redução dos lixiviados de nutrientes na produção de plantas ornamentais, diminuição do uso de fertilizantes químicos, redução do risco de contaminação por substâncias químicas (ALVAREZ *et al.*, 2019), melhora no desempenho, relações ar/água e condutividade elétrica (FORNES; BELDA, 2018; LORIN *et al.*, 2019).

A utilização do biochar, combinada com minerais (N, P, K etc.), apresenta melhora na eficiência de uso e nas questões nutricionais, possibilitando maior assimilação (COELHO *et al.*, 2018), conforme também observado por Lima, Marimon Junior, Santos *et al.* (2016), obtendo benefícios na qualidade e a concentração foliar de Mg, refletindo mudas com maior qualidade e eficiência no uso dos nutrientes Ca e K; e por Andrade *et al.* (2015) na mineralização do carbono, obedecendo à cinética química de primeira ordem, encontrando taxas significativas de mineralização do C, bem como incrementos da CTC, consequentemente elevação do pH e de alterações do teor de C no solo.

Quanto às mudas de essências florestais, Rezende *et al.* (2016) observaram que a adição de biochar possibilitou maior desenvolvimento em altura e diâmetro do coletor em mudas de teca (*Tectona grandis*), assim como a utilização de biocarvão de lodo de esgoto melhorou a qualidade das mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden), aumentando a altura, crescimento e características morfológicas das plantas (GONZAGA *et al.*, 2018), reduzindo os riscos ambientais (SILVA; MACKOWIAK *et al.*, 2017).

Constatações como essas corroboram para o potencial de uso do biochar na produção de mudas de qualidade, favorecendo o sucesso de práticas de restauração florestal em regiões com baixa fertilidade do solo e sujeitas a períodos de estresse hídrico.

Desta forma, constata-se que o biochar apresenta alto teor de carbono e grau de aromaticidade, justificando seu alto nível de recalcitrância, onde sua composição química e estrutural depende da matéria-prima e das condições de pirólise. Aplicado ao solo e substrato, o biocarvão pode aumentar o pH, a capacidade de troca de cátions, o teor de carbono orgânico e a disponibilidade de nutrientes; altera a abundância e funcionamento de fungos micorrízicos, promovendo refúgio para microrganismos nos micro poros do biocarvão; melhora a estrutura do solo e disponibilidade de água, apresentando assim efeitos positivos para o crescimento vegetal; e contribui para o sequestro de carbono, sendo considerado como “carbono negativo”, pois possui capacidade de promover o crescimento vegetativo e estabilidade no solo (TRAZZI *et al.*, 2018).

3.3 RECUPERADOR DE SOLO

Entendendo a importância do uso do biochar como condicionador de solo e substrato, percebe-se que suas características são igualmente importantes para a recuperação de solos degradados, pois além de melhorar nos atributos físicos (capacidade de agregação, porosidade, aeração e armazenamento de água) e químicos, também ajuda nos atributos biológicos do solo; elevação dos níveis de pH (FREITAS, 2013; OGUNTUNDE *et al.*, 2004; YU *et al.*, 2007); aumento da capacidade de troca de cátions; e melhora na capacidade de agregação das partículas do solo (KÄMPF *et al.*, 2003; LIANG *et al.*, 2006; OGUNTUNDE *et al.*, 2004; YU *et al.*, 2007).

O incremento de biochar proporciona mineralização mais lentamente e reduz a mineralização da matéria orgânica, não reduzindo a estabilidade da matéria orgânica do solo ou aumento a degradação dos resíduos orgânicos e/ou matéria orgânica do solo (BRUUN; EL-ZEHERY, 2012). Carmo, Lima e Silva (2016) constataram que, além de aumento do pH e maior disponibilidade de P, K+, Ca²⁺ e Zn²⁺, a adição de biochar contribui para maior condutibilidade elétrica, o que é corroborado por Delaye, Ullé e Andriulo (2020) acrescentando que, em solo degradado, há maior relação C/N, aumento acentuado na umidade atual e disponibilidade de água útil; e por Petter *et al.* (2019) encontrando aumento de carbono orgânico total e de nitrogênio.

Nos atributos físicos do solo, o biochar proporcionou maior macroporosidade do solo (VENDRUSCOLO *et al.*, 2018), resultado semelhante ao encontrado por Zhou e Chen (2017) em solo arenoso, pois verificaram que a taxa de infiltração e a infiltração cumulativa aumentaram com a inserção de nanocarbono, acarretando redução dos teores de água abaixo da camada solo, porém aumento dos teores de água saturada, água residual e parâmetro empírico.

A aplicação de biochar em ambientes de restauração florestal proporciona aumento na produção de biomassa e melhora um conjunto de características do solo (CHOI *et al.*, 2018). Em pastagens degradadas ocorre aumento da produção média de braquiária, dos teores de macronutrientes, do pH no solo e da CTC (LATAWIEC *et al.*, 2019).

No quesito biológico, Ribeiro *et al.* (2019) informam que a enzima lipase pode ser facilmente imobilizada no biocarvão. Ao analisar o biochar do esterco de aves, Dominchin *et al.* (2019) observaram aumento da atividade hidrolisante do FDA no solo, aumento de bactérias Gram negativas, e aumento nos ácidos graxos fosfolipídicos totais, indicando aumento na biomassa e da atividade microbiana total.

Essas melhorias trazem como consequência maior produtividade de plantações, sendo uma forma recalcitrante de carbono, retardando seu retorno à atmosfera e mitigando a mudança climática. Além disso, o biochar reduz a quantidade de resíduos orgânicos; diminui a poluição ambiental; é fonte

potencial de emprego, geração de renda extra, agregação de valor aos resíduos orgânicos, gerando produto com valor comercial (REBOLLEDO *et al.*, 2016); ganhos sanitários; reduz a emissão de potenciais GEE (MARCELINO *et al.*, 2020); aumenta a produção de biogás e produção de energia mais limpa (WANG *et al.*, 2018); proporciona o sequestro de carbono; aumenta a matéria orgânica no solo; é fonte de energia e nutrientes para a biota do solo; possibilita o balanço do uso de fertilizantes (LIBRA *et al.*, 2011).

3.4 FITO REMEDIADOR/BIORREMEDIADOR

Além de melhorar a nutrição vegetal, do solo e substrato, sabe-se que o biochar enseja maior absorção de nutrientes e produção das culturas, reduzindo a lixiviação de minerais aplicados ao solo (STEINER *et al.*, 2007) e adsorvendo poluentes orgânicos hidrofóbicos e aumentando a sua produtividade (GLASER *et al.*, 2002), benefícios consequentes de seus grupos carboxílicos aromáticos estáveis que diminuem a degradação química e microbiana da matéria orgânica (GLASER *et al.*, 2001).

Assim, a biomassa carbonizada tem funcionalidade de fito remediação, isto é, a remoção/adsorção de poluentes do solo e de corpos hídricos, sendo este um dos problemas ambientais enfrentados na indústria.

Buscando soluções para essa problemática, Sousa *et al.* (2021) observaram a eficiência da adsorção do corante Verde Malaquita de corpos hídricos pelo carvão ativado do caroço de açaí, consequência da presença de grupos funcionais ácidos, carregando negativamente a superfície de CAG-A e CAG-B, favorecendo o processo de adsorção do corante catiônico.

No tratamento da água para consumo, Pereira e Rodrigues Júnior (2013) também utilizaram o carvão ativado do caroço de açaí, atingindo eficiência equivalente ao carvão ativado industrial, pois obtiveram melhor qualidade da água, com nível de potabilidade condizente com os padrões do Ministério da Saúde (Port. 518/2004).

Quanto a avaliação do efeito da utilização do biochar nas emissões de óxido nitroso pelo solo, há efeito cúbico dos níveis de biochar sobre as emissões de N₂O, sendo que doses de biochar acima de 5 mg/ha⁻¹ mitigam as emissões no solo (ALHO *et al.*, 2012).

A implantação de sistema integrado de remediação de solos por meio da incorporação gradativa de árvores, plantas herbáceas, plantas aquáticas, biocarvão, bactérias e micorrizas arbusculares, possibilita limpeza de solos contaminados e evita o compartilhamento de chumbo e cádmio do solo para as culturas de interesse comercial (CASTEBLANCO, 2018).

Em solos com elevados teores de cobre e zinco pode ocorrer a fitotoxicidade às plantas e contaminação das águas superficiais e subterrâneas. Devido ser funcionalizado, o biochar possui alta

CTC e capacidade de adsorver Cu e Zn, controlando sua disponibilidade no solo e na água, pois o carvão funcionalizado aumenta os grupos carboxílicos e fenólicos, sem alterar sua área superficial específica, e a adsorção competitiva com Zn reduziu a quantidade total de Cu adsorvido e diminui a afinidade do Cu pela matéria orgânica (GUIMARÃES *et al.*, 2018).

Assim, o uso de biochar é eficaz na redução das concentrações de metais na água e do risco de toxicidade, pois a sua aplicação melhora as condições do solo (pH, carbono total, carbono orgânico dissolvido) e na água (diminui a concentração de Al, Co, Cu, Fe e Ni) (RODRÍGUEZ-VILA *et al.*, 2017), assim como observado por Aguilar, Munoz e Guzman (2020) ao perceberem que o biocarvão remove metais pesados como o chumbo presentes em águas residuais.

Nessa perspectiva de adsorção, o carvão ativado ou biochar ainda apresenta potencial de utilização na adsorção da proteína de soro de leite fresco (BATISTA *et al.*, 2020), assim como, avaliando a massa seca e teores de nutrientes de plantas de milho sob efeito de águas salinas e biochar, Costa *et al.* (2018) constataram que o biochar mitiga a salinidade da água de irrigação.

Quanto à resposta da digestão anaeróbia de esterco de galinha poedeira com adição de biochar, maiores níveis de biochar reduz gradualmente o nitrogênio amoniacal total (ANDRADE *et al.*, 2020), sendo ainda o biochar uma alternativa para a remediação da lixiviação de herbicidas no solo, como o diuron, ação justificada devido à contribuição do biochar para os teores de carbono orgânico total e C-humina, e destes para o diuron por meio de interações hidrofóbicas e pontes de hidrogênio (PETTER *et al.*, 2016), onde solos condicionados apresentam coeficientes de sorção 1300 vezes maiores do herbicida clomazone (SILVA *et al.*, 2018), consistindo em adsorvente de baixo custo e com alta eficiência de remoção de contaminantes orgânicos da água como o sulfametoxazol, com adsorção espontânea, exotérmica e física (SHIKUKU; KIMOSOP, 2020).

Além de adsorver herbicida do solo, o biochar serve como adsorvente para remoção de formulação comercial de glifosato em meio aquoso (BORBA *et al.*, 2019), podendo o biochar estar impregnado com manganês e ferro, possibilitando aumento da adsorção de glifosato, pois a adsorção ocorre por multicamadas (YAMAGUCHI; RUBIO; BERGAMASCO, 2019).

Para além de todos esses benefícios, Carvalho *et al.* (2013) trazem a relação do uso do biochar com a incidência de doenças em plantas, identificando redução da infestação da brusone do arroz (*Oryza sativa*), assim como Harel *et al.* (2012) relataram efeitos positivos do biocarvão na diminuição de infecções fúngicas foliares de tomate (*Solanum lycopersicum*), pimenta (*Capsicum*) e morango (*Fragaria × ananassa*), confirmando que a aplicação de biochar ao solo pode ser benéfica, trazendo um maior poder de resposta das plantas às doenças.

3.5 ALIMENTAÇÃO ANIMAL

Outra possibilidade de utilização do biochar é na alimentação animal, conforme retrata Roessler *et al.* (2017) ao estudarem os efeitos de farinhas de tubérculos de inhame (*Dioscorea*) e carvão vegetal na produção de frangos de corte e parâmetros sanguíneos, momento que substituíram parte da ração comercial por farelos do tubérculo, investigando os efeitos no desempenho de crescimento, taxa de conversão alimentar e parâmetros sanguíneos dos frangos.

Neste caso, os frangos alimentados com porções de carvão de madeira obtiveram pesos corporais maiores, podendo ser incluído até 50 g/kg em dietas de frangos de corte sem quaisquer efeitos adversos em seu desempenho e parâmetros sanguíneos (ROESSLER *et al.*, 2017).

3.6 GERADOR DE ENERGIA

Além das estratégias anteriores, tem-se ainda a opção de uso do biochar na geração de energia, onde na análise comparativa da carbonização de cascas de dendê em reatores de leito fixo, constatou-se aumento na taxa de aquecimento, promovendo redução da carbonização, com aumento de gás e de produtos líquidos. Aumentando o tamanho do reator, os rendimentos de carvão e gás maximiza, isto é, a massa e fenômenos de transporte de calor e reações secundárias são promovidos, fenômeno este gerador de maiores rendimentos gasosos e de carvão, com maior poder calorífico (RAMOS; BURGOS; PRAT, 2016).

Obtendo bioproductos por pirólise lenta para uso como fontes de energia e fertilizantes, Luperón *et al.* (2020) converteram resíduos lignocelulósico em produtos com valor agregado (biocarvão, biocombustível e gás), onde ao avaliar o desempenho e o potencial energético desses materiais confeccionados pelo processo de pirólise lenta, observou que tais fonte de energia renovável são mais adequadas para a produção de gás e biocombustível, onde a caracterização do biocarvão indicou altos teores de C, Ca, K, N e compostos oxigenados, possibilitando-os para o uso como fertilizantes do solo (LUPERÓN *et al.*, 2020).

Assim, percebe-se que o biochar possui diversas possibilidades de utilização, podendo ser: condicionador de solo na produção vegetal; parte de substrato na produção de mudas; recuperador de solos degradados; fito remediador/biorremediador, descontaminando os solos e água; alimentação animal; e gerador de energia sustentável.

Além de suas múltiplas aplicabilidade, o biochar traz diversos benefícios ao meio, como: recuperação e melhoria da saúde de solos; redução das mudanças climáticas; redução dos impactos e danos ambientais, inclusive do aquecimento global; aumento da produtividade das culturas; estratégia para melhorar a gestão de resíduos, inclusive com redução da deposição residual e tratamento

adequado; diminuição dos riscos sanitários animal; diminuição das contaminações ambientais por microrganismos patogênicos, metais pesados, pesticidas e contaminantes farmacêuticos; possui propriedades promissoras para a confecção de filtro de água e gases; geração de renda; colaboração com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) etc.

Apesar desses resultados, pouco se sabe a respeito dos efeitos causados pela adição de biochar confeccionado do caroço-de-açaí ao solo, necessitando de avanços da pesquisa, bem como em desenvolver tecnologias sustentáveis de baixo custo, portanto acessível à agricultura familiar, que possibilite a termo conversão dos resíduos agrícolas orgânicos em biochar, propiciando uma produção mais sustentável, orgânica e de base agroecológica.

4 CONCLUSÃO

O biochar possui diversas possibilidades de utilização, podendo ser: condicionador de solo na produção vegetal; parte de substrato na produção de mudas; recuperador de solos degradados; fito remediador/biorremediador, descontaminando os solos e água; alimentação animal; e gerador de energia sustentável.

Além de suas múltiplas aplicabilidade, o biochar traz diversos benefícios ao meio como: recuperação e melhoria da saúde de solos; redução das mudanças climáticas; redução dos impactos e danos ambientais, inclusive do aquecimento global; aumento da produtividade das culturas; estratégia para melhorar a gestão de resíduos, inclusive com redução da deposição residual e tratamento adequado; diminuição dos riscos sanitários animal; diminuição das contaminações ambientais por microrganismos patogênicos, metais pesados, pesticidas e contaminantes farmacêuticos; possui propriedades promissoras para a confecção de filtro de água e gases; geração de renda; colaboração com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) etc.

Este trabalho possibilitou divulgar informações de trabalhos publicados na temática proposta, isto é, potenciais alternativas de utilização e benefícios da tecnologia do biochar.

REFERÊNCIAS

- ABAD, S. I.; ORIHUELA, J. A.; MACÍAS, C. S.; MORENO, J. E. El rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) mejora con el uso del biochar de eucalipto. *Scientia Agropecuaria*, 9(1) 25 – 32. 2018.
- AGUILAR, D. L. G.; MUÑOZ, J. A. E.; GUZMAN, D. B.; (2020). Tecnologías no convencionales para la remoción de plomo presente en aguas residuales: una revisión bibliográfica 2010-2019. *Tecnura*, 24(64). 97-116. 2020.
- ALAM, T.; SURYANTO, P.; HANDAYANI, S.; KASTONO, D.; KURNIASIH, B. Optimizing application of biochar, compost and nitrogen fertilizer in soybean intercropping with kayu putih (*Melaleuca cajuputi*). *Rev Bras Cienc Solo*. 44:e0200003. 2020.
- ALBERTO, E. C.; RESÉNDEZ, A. M.; CARRILLO, M. G.; GARZA, H. M. Q.; GARCÍA, O. Á. Influencia del biocarbón aplicado al suelo sobre atributos de rendimiento y calidad de avena forrajera. *Terra Latinoamericana* 36: 3. 221-228. 2018.
- ALHO, C. F. B. V.; CARDOSO, A. da S.; ALVES, B. J. R.; NOVOTNY, E. H. Biochar and soil nitrous oxide emissions. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.47, n.5, p.722-725, mai., 2012.
- ALVAREZ, J. M.; PASIAN, C.; LAL, R.; LÓPEZ, R.; FERNÁNDEZ, M. Vermicompost and biochar substrates can reduce nutrients leachates on containerized ornamental plant production. *Hortic. bras.*, Brasília, v.37, n.1, jan.-mar., 2019.
- ANDRADE, C. A. de; BIBAR, M. P. S.; COSCIONE, A. R.; PIRES, A. M. M.; SOARES, Á. G. Mineralização e efeitos de biocarvão de cama de frango sobre a capacidade de troca catiônica do solo. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.50, n.5, p.407-416, mai., 2015.
- ANDRADE, W. R.; FERREIRA, C. de F. S.; GATES, R. S.; BORGES, A. C.; SANTOS, T. M. B. dos. Response from anaerobic digestion of laying hen manure with biochar addition. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.40, n.3, p.315-321, may.-jun., 2020.
- ARAUJO, A. S. de; BLUM, L. E. B.; FIGUEIREDO, C. C. de. Biochar and *Trichoderma harzianum* for the Control of *Macrophomina phaseolina*. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. Vol.62: e19180259, 2019.
- ATKINSON, C. J.; FITZGERALD, J. D.; HIPPS, N. A. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant and soil*, v. 337, n. 1-2, p. 1-18, 2010.
- BATISTA, G. A.; SILVA, M. L. M.; GOMES, W. de P.; NEVES, I. C. O.; MÓL, P. C. G.; RESENDE, J. V. de; VERÍSSIMO, L. A. A.; SOARES, J. R. Preparation of mesoporous activated carbon from defective coffee beans for adsorption of fresh whey proteins. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 42, e45914, 2020.
- BORBA, L. L.; CUBA, R. M. F.; TERÁN, F. J. C.; CASTRO, M. N.; MENDES, T. A. Use of Adsorbent Biochar from Pequi (*Caryocar Brasiliense*) Husks for the Removal of Commercial Formulation of Glyphosate from Aqueous Media. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. Vol.62: e19180450, 2019.

BRUUN, S.; EL-ZEHERY, T. Biochar effect on the mineralization of soil organic matter. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.47, n.5, p.665-671, mai., 2012.

CARMO, D. L.; LIMA, L. B.; SILVA, C. A. Soil Fertility and Electrical Conductivity Affected by Organic Waste Rates and Nutrient Inputs. *Rev Bras Cienc Solo*. 40:e0150152. 2016.

CARVALHO, M. T. de M.; MADARI, B. E.; BASTIAANS, L.; OORT, P. A. J. V.; LEAL, W. G. de O.; SOUZA, D. M. de; SANTOS, R. C. dos; MATSUSHIGE, I.; MAIA, A. de H. N.; HEINEMANN, A. B.; MEINKE, H. Nitrogen availability, water-filled pore space, and N₂O-N fluxes after biochar application and nitrogen fertilization. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.51, n.9, p.1203-1212, set., 2016.

CARVALHO, M. T. M.; MADARI, B. E.; BASTIAANS, L.; VAN OORT, P. A. J.; HEINEMANN, A. B.; DA SILVA, M. A. S.; MAIA, A. H. N.; MEINKE, H. Biochar improves fertility of a clay soil in the Brazilian Savannah: short term effects and impact on rice yield. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics (JARTS)*, v. 114, p. 101-107, 2013.

CASTEBLANCO, J. A. Técnicas de remediación de metales pesados con potencial aplicación en el cultivo de cacao. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 27(1):21-35. 2018.

CHAN, K. Y.; VAN ZWIETEN, L.; MESZAROS, I.; DOWNIE, A.; JOSÉ, S. D. Using poultry litter biochars as soil amendments. *Soil Research*, v. 46, n. 5, p. 437-444, 2008.

CHOI, J. J.; TREUER, T. L. H.; WERDEN, L. K.; WILCOVE, D. S. Organic Wastes and Tropical Forest Restoration. *Tropical Conservation Science*, 11 (1). SAGE Publishing. 2018.

COELHO, M. A.; FUSCONI, R.; PINHEIRO, L.; RAMOS, I. C.; FERREIRA, A. S. The combination of compost or biochar with urea and NBPT can improve nitrogen-use efficiency in maize. *An Acad Bras Cienc*. 90, 2. 2018.

CORDELL, C. E.; FILER JUNIOR, T. H. Integrated nursery pest management. In: LANDZ, C. W. (Ed.). *Southern Pine Nursery Handbook*. Atlanta, USDA: Forest Service, Southern Region. p. 1-17. 1984.

COSTA, M. E. da; MIRANDA, N. de O.; PIMENTA, A. S.; NASCIMENTO, E. K. Á.; RODRIGUES, A. P. M. dos S.; MENDONÇA JÚNIOR, A. F. de. Massa seca e teores de nutrientes de plantas de milho sob efeito de águas salinas e biochar. *Revista Verde - ISSN 1981-8203 - (Pombal - PB)* v. 13, n.4, p.672-682, out.-dez., 2018.

CRISPIM, J. F.; LIMA, J. S. S. de; SILVA, J. K. B. da; SILVA, A. G. C. da; FERDANDES, G. K. F.; BENTO, J. E. A. Aspecto nutricional do biocarvão na produção de mudas de rúcula em condições semiáridas. *Colloquium Agrariae*, v. 16, n.3, p. 12-17, mai.-jun., 2020.

DELAYE, L. A. M.; ULLÉ, J. Á.; ANDRIULO, A. E. Aplicación de biochar en un suelo degradado bajo producción de batata. Efecto sobre propiedades edáficas. *Cienc. Suelo (Argentina)* 38 (1): 162-173, 2020.

DELUCA, T. H.; MACKENZIE, M. D.; GUNDALE, M. J.; HOLBEN, W. E. Wildfire-Produced Charcoal Directly Influences Nitrogen Cycling in Ponderosa Pine Forests. *Soil Science Society of America Journal*, v. 70, n. 2, p. 448-453. 2006.

DOMINCHIN, M. F.; VERDENELLI, R. A.; GIL, S. V.; AOKI, A.; MARIN, R. H.; MERILES, J. M. Efecto de la aplicación de biochar avícola sobre las propiedades químicas y microbiológicas de un suelo haplustol típico con diferentes intensidades de uso. *Cienc. Suelo (Argentina)* 37 (2): 315-327, 2019.

FARIAS, D. B. dos S.; FREITAS, M. I. de; LUCAS, A. A. T.; GONZAGA, M. I. S. Biochar and its impact on soil properties, growth and yield of okra plants. *Colloquium Agrariae*, v. 16, n.2, mar.-abr., p. 29-39. 2020.

FERNANDES, J. D.; CHAVES, L. H. G.; MENDES, J. S.; CHAVES, I. B.; TITO, G. A. Alterations in soil salinity with the use of different biochar doses. *Revista de Ciências Agrárias*, 42(1): 89-98. 2019.

FIGUEREDO, N. A. de; COSTA, L. M. da; MELO, L. C. A.; SIEBENEICHLERD, E. A.; TRONTO, J. Characterization of biochars from different sources and evaluation of release of nutrients and contaminants. *Revista Ciência Agronômica*, v. 48, n. 3, p. 395-403, jul.-set., 2017.

FONGARO, G. A Higienização de Dejetos suinícolas visando reciclo agrícola sanitariamente seguro. *Tese*, 244 f. Programa de Biotecnologia e Biociência, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

FORNES, F.; BELDA, R. M. Biochar versus hydrochar as growth media constituents for ornamental plant cultivation. *Sci. Agric.* v.75, n.4, p.304-312, jul.-aug., 2018.

FREITAS, A. F. de. Adição de carvão vegetal no substrato para formação de mudas de leguminosas arbóreas. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA. p. 1-106. 2013.

GASKIN, J. W.; SPEIR, R. A.; HARRIS, K.; DAS, K. C.; LEE, R. D.; MORRIS, L. A.; FISHER, D. S. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agronomy Journal*, v. 102, n. 2, p. 623–633. 2010.

GLASER, B.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. The “Terra Preta” phenomenon: A model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften*, v. 88, n. 1, p. 37–41. 2001.

GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - a review. *Biology And Fertility Of Soils*, v. 35, n. 4, p.219-230. 2002.

GLASER, B.; WIEDNER, K.; SEELIG, S.; SCHMIDT, H.-P.; GERBER, H. Biochar organic fertilizers from natural resources as substitute for mineral fertilizers. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2):667-678, 2015.

GONZAGA, M. I. S.; MACKOWIAK, C.; ALMEIDA, A. Q. de; CARVALHO JÚNIOR, J. I. T. de. Sewage sludge derived biochar and its effect on the growth and morphological traits of *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden SEEDLINGS. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 687-695, abr.-jun., 2018.

GONZAGA, M. I. S.; SOUZA, D. C. F. de; ALMEIDA, A. Q. de; MACKOWIAK, C.; LIMA, I. da S.; SANTOS, J. C. de J.; ANDRADE, R. S. de. Nitrogen and phosphorus uptake efficiency in Indian mustard cultivated during three growth cycles in a copper contaminated soil treated with biochar. Ciência Rural, Santa Maria, v.49:01, e20170592, 2019.

GUIMARÃES, G. G. F.; GIROTO, A. S.; TEIXEIRA, B. C.; VERGÜTZ, L.; CANTARUTTI, R. B. Functionalized charcoal as a buffering matrix of copper and zinc availability. Rev Bras Cienc Solo. 42:e0170366. 2018.

HAREL, Y. M.; ELAD, Y.; RAV-DAVID, D.; BORENSTEIN, M.; SHULCHANI, R.; LEW, B.; GRABER, E. R. Biochar mediates systemic response to strawberry to fungal pathogens. Plant and Soil. volume 357, 245–257. 2012.

HERRERA; E. L.; FEIJOO; C. Y.; ALFARO; R.; SOLÍS; J. L.; GÓMEZ; M. M.; KEISKI; R. L.; CRUZ, G. J. F. Producción de biocarbón a partir de biomasa residual y su uso en la germinación y crecimiento en vivero de *Capparis scabrida* (Sapote). Scientia Agropecuaria 9(4): 569 – 577. 2018.

KÄMPF, N.; WOODS, W. I.; SOMBROEK, W.; KERN, D. C.; CUNHA, T. J. F. Classification of Amazonian Dark Earths in the Brazilian Amazon. In: LEHMANN, J. et al. (Eds.). Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. p. 77–102. 2003.

LATAWIEC, A. E.; STRASSBURG, B. B. N.; JUNQUEIRA, A. B.; ARAUJO, E.; MORAES, L. F. D. de; PINTO, H. A. N.; CASTRO, A.; RANGEL, M.; MALAGUTI, G. A.; RODRIGUES, A. F.; BARIONI, L. G.; NOVOTNY, E. H.; CORNELISSEN, G.; MENDES, M.; BATISTA, N.; GUERRA, J. G.; ZONTA, E.; JAKOVAC, C.; HALE, S. E. Biochar amendment improves degraded pasturelands in Brazil: environmental and cost-benefit analysis. Scientific Reports. 9:11993. 2019.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for Environmental Management: Science and Technology. London - Sterling, VA: Earthscan. p. 271-282. 2009.

LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GLASER, B.; WOODS, W. I. (Ed.). Amazonian dark earths: origin properties management. Springer Science & Business Media, 2003.

LIANG, B.; LEHMANN, J.; SOLOMON, D.; KINYANGI, J.; GROSSMAN, J.; O'NEILL, B.; SKJEMSTAD, J. O.; THIES, J.; LUIZÃO, F. J.; PETERSEN, J.; NEVES, E. G. Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils. Soil Science Society of America Journal, v. 70, n. 5, p. 1719–1730. 2006.

LIBRA, J. A.; RO, K. S.; KAMMANN, C.; FUNKE, A.; BERGE, N. D.; NEUBAUER, Y.; TITIRICI, M.-M.; FÜHNER, C.; BENS, O.; KERN, J.; EMMERICH, K.-H. Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. Biocombustíveis, 2:1, 71-106. 2011.

LIMA, A. A. de; FARIAS, M. S. S. de; LIRA, V. M. de; FRANCO, E. S.; SILVA, M. B. R. da. Lixo Rural: O Caso do Município de João Alfredo (PE). Revista Caminhos de Geografia, v. 1, n. 16, p. 1–5. 2005.

LIMA, S. L.; MARIMON JUNIOR, B. H.; SANTOS, K. da S. M.; REIS, S. M.; PETTER, F. A.; VILAR, C. C.; MARIMON, B. S. Biochar no manejo de nitrogênio e fósforo para a produção de mudas de angico. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.51, n.2, p.120-131, fev., 2016.

LIMA, S. L.; TAMIOZZO, S.; PALOMINO, E. C.; PETTER, F. A.; MARIMON-JUNIOR, B. H. Interactions of biochar and organic compound for seedlings production of *Magonia pubescens* A. St-Hil. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.39, n.4, p.655-661, 2015.

LIN, Y.; MUNROE, P.; JOSEPH, S.; HENDERSON, R. Migration of dissolved organic carbon in biochar and biochar-mineral complexes. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.47, n.5, p.677-686, mai., 2012.

LIU, C.; CANG, H.; TANG, X.; GUAN, Z.; REID, B. J.; RAJAPAKSHA, Â. U.; OK, Y. S.; SUN, H. Biochar increased water holding capacity but accelerated organic carbon leaching from a sloping farmland soil in China. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 23, n. 2, p. 995-1006, 2016.

LORIN, H. E. F.; COSTA, M. S. S. de M.; CHIARELOTTO, M.; SANTOS, F. T. dos; COSTA, L. A. de M. Addition of boiler charcoal waste to compost for use as substrate for vegetable seedlings. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.39, n.6, p.753-762, nov.-dec., 2019.

LUPERÓN, L. M.; RODRÍGUEZ, M. H.; HERNÁNDEZ, J. F.; CALVIS, A. O. Obtaining bioproducts by slow pyrolysis of coffee and cocoa husks as suitable candidates for being used as soil amendment and source of energy. *Rev. Colomb. Quim.*, vol. 49, no. 2, pp. 23-29, 2020.

MACHUCA, M. A. V.; SORIANO, J. R. E.; GONZÁLEZ, J. V.; SOTO, J. L. M.; EQUIHUA, J. L. P.; NAVIA, M. M. Caracterización física y química de biochar de lodos residuales. *Terra Latinoamericana* 37: 3. 243-251. 2019.

MADARI, B. E.; CUNHA, T. J. F.; NOVOTNY, E. H.; MILORI, D. M. B. P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V. de 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. *Embrapa Arroz e Feijão*, p. 172–188. 2010.

MAEKAWA, K. Curso sobre produção de carvão, extrato pirolenhoso e seu uso na agricultura. Botucatu/SP, 2002.

MARCELINO, I. P.; LOSS, A.; ANDRADE, M. A. N. Aspectos gerais do uso do biochar para sustentabilidade com ênfase aos atributos edáficos: a revisão. *Revista Gestão e Sustentabilidade*, Florianópolis, v. 9, n. esp., p. 301-319, mai., 2020.

MARIMON JÚNIOR, B. H.; PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; MADARI, B. E.; MARIMON, B. S.; SCHLOSSER, T. R.; GONÇALVES, L. G.; BELÉM, R. Produção de mudas de jiló em substrato condicionado com Biochar. *Comunicata Scientiae* 3(2): 108-114, 2012.

MARTÍNEZ, M. J. C.; ESPAÑA, J. C. A.; DÍAZ, J. de J. V. Effect of *Eucalyptus globullus* biochar addition on the availability of phosphorus in acidic soil. *Agronomía Colombiana* 35(1), 75-81, 2017.

MARTINI, R.; COSTA, C. D.; BOTEON, M. Gestão do lixo: um estudo sobre as possibilidades de reaproveitamento do lixo de propriedades hortícolas. *XLIV Congresso da Sober*, p. 1–11. 2006.

MATOS, A. T. de. Tratamento de Resíduos Sólidos. Fundação Estadual do Meio Ambiente, p. 1-34. 2005.

MATOSO, S. C. G.; WADT, P. G. S.; SOUZA JÚNIOR, V. S. de.; PÉREZ, X. L. O. Synthesis of enriched biochar as a vehicle for phosphorus in tropical soils. *Acta Amazonica* 49: 4, 268-276. 2019.

MENDONÇA, A. R. Crescimento de cenoura em solo com diferentes combinações de doses e granulometrias de carvão vegetal. Jaboticabal/SP, 2017. 51 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal/SP: 2017.

MENDONÇA, M. de S. Biochar de caroço de açaí como condicionador de solo na produção de mudas de pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.). Jaboticabal/SP, 2019. 65 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal/SP: 2019.

MORALES, M. M. Efeito do biocarvão sobre o comportamento da matéria orgânica e do fósforo em solo degradado. Botucatu/SP, 2010. 88 p. Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas. Botucatu/SP: 2010.

MORENO, G. R.; CONTRERAS, A. E. D.; LESMES, D. A. R. Design of a surface response model to determine the optimal value for wood volume in *Acacia mangium* Willd. by applying different doses of biochar to the soil. *Revista DYNA*, 86(211), pp. 26-31, oct.-dec., 2019.

MORGADO, I. F.; CARNEIRO, J. G. de A.; LELES, P. S. dos S.; BARROSO, D. G. Resíduos agroindustriais prensados como substrato para a produção de mudas de cana-de-açúcar. *Scientia Agricola*, v. 57, n. 4, p. 709–712. 2000.

NOVOTNY, E. H.; AUCCAISE, R.; VELLOSO, M. H. R.; CORRÊA, J. C.; HIGARASHI, M. M.; ABREU, V. M. N.; ROCHA, J. D.; KWAPINSKI, W. Characterization of phosphate structures in biochar from swine bonés. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.47, n.5, p.672-676, mai., 2012.

NOVOTNY, E. H.; MAIA, C. M. B. de F.; CARVALHO, M. T. de M.; MADARI, B. E. BIOCHAR: Pyrogenic carbon for agricultural use – a critical review. *R. Bras. Ci. Solo*, 39:321-344, 2015.

OGUNTUNDE, P. G.; FOSÚ, M.; AJAYI, A. E.; GIESEN, N. V. de. Effects of charcoal production on maize yield, chemical properties and texture of soil. *Biology and Fertility of Soils*, v. 39, n. 4, p. 295–299. 2004.

PAIVA, D. M.; GUIMARÃES, G. G. F.; TEIXEIRA, B. C.; CANTARUTTI, R. B. Value of functionalized charcoal for increasing the efficiency of urea N uptake: insights into the functionalization process and the physicochemical characteristics of charcoal. *Rev Bras Cienc Solo*. 43: e0180200. 2019.

PASSOS, R. R.; RUIZ, H. Á.; MENDONÇA, E. de S.; CANTARUTTI, R. B.; SOUZA, A. P. de. Substâncias húmidas, atividade microbiana e carbono orgânico labil em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 4, p. 1119–1129. 2007.

PEREIRA, E. N.; RODRIGUEZ JUNIOR, V. C. Carvão do caroço de açaí (*euterpe oleracea*) ativado quimicamente com hidróxido de sódio (NaOH) e sua eficiência no tratamento de água para o consumo. Prêmio Jovem Cientista. 2013.

PEREIRA, R. G.; HEINEMANN, A. B.; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. T. de M.; KLIEMANN, H. J.; SANTOS, A. P. dos. Transpiration response of upland rice to water deficit changed by different levels of eucalyptus biochar. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.47, n.5, p.716-721, mai., 2012.

PÉREZ, J.; BARRERA, R.; RAMÍREZ, G. Integración de plantaciones forestales comerciales colombianas en conceptos de biorrefinería termoquímica: una revisión. *Colombia Forestal*, 18(2),273-294. 2015.

PETTER, F. A. Biomassa carbonizada como condicionador de solo: aspectos agronômicos e ambientais do seu uso em solos de cerrado. Goiânia/GO, 2010. 130 p. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Goiás (UFG). Goiânia/GO: 2010.

PETTER, F. A.; FERREIRA, T. S.; SINHORIN, A. P.; LIMA, L. B. de; MORAIS, L. A. de; PACHECO, L. P. Sorção e dessorção de diuron em Latossolo sob a aplicação de biochar. *Bragantia*, Campinas, v. 75, n. 4, p.487-496, 2016.

PETTER, F. A.; LEITE, L. F. C.; MACHADO, D. M. de; LIMA, L. B. de; PACHECO, L. P.; ARAÚJO, A. S. F. de. Effect of biochar on enzymatic activity in a brazilian oxisol. *Cienc. Suelo (Argentina)* 36 (2): 142-145, 2018.

PETTER, F. A.; LEITE, L. F. C.; MACHADO, D. M. de; MARIMON JÚNIOR, B. H. de; LIMA, L. B. de; FREDDI, O. da S.; ARAÚJO, A. S. F. de. Microbial biomass and organic matter in na oxisol under application of biochar. *Bragantia*, Campinas, v. 78, n. 1, p.109-118, 2019.

PETTER, F. A.; MADARI, B. E. Biochar: Agronomic and environmental potential in Brazilian savannah soils. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.16, n.7, p.761–768, 2012.

PETTER, F. A.; MADARI, B. E.; SILVA, M. A. S. da; CARNEIRO, M. A. C.; CARVALHO, M. T. de M.; MARIMON JÚNIOR, B. H.; PACHECO, L. P. Soil fertility and upland rice yield after biochar application in the Cerrado. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.47, n.5, p.699-706, mai., 2012.

PHAM, M.; SCHIDEMAN, L.; SHARMA, B. K.; ZHANG, Y.; CHEN, W.-T. Effects of hydrothermal liquefaction on the fate of bioactive contaminants in manure and algal feedstocks. *Bioresource technology*, v. 149, p. 126-135, 2013.

RAMOS, D. F. F.; BURGOS, J. B.; PRAT, S. L. R. Análisis comparativo de la carbonización de cuesco de palma de aceite en reactores de lecho fijo. *Revista Tecnura*, 20 (49), 45-58. 2016.

REBOLLEDO, A. E.; LÓPEZ, G. P.; MORENO, C. H.; COLLADO, J. L.; ALVES, J. C.; PACHECO E. V.; BARRA, J. D. E. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana* 34: 367-382. 2016.

REINAUD, G. Biochar, A Terceira Revolução Verde. *Pró Natura Internacional*. p. 1-5. 2017. Disponível em: <http://www.pronatura.org/?page_id=521&lang=pt>. Acesso em: 23 jun. 2022.

REINOSO, A. D. S.; PEDRAZA, E. A. Á.; DÍAZ, H. R. Use of Biochar in Agriculture. *Acta biol. Colomb.* 25(2):327-338. May.-Jul., 2020.

REZENDE, F. A.; SANTOS, V. A. H. F. dos; MAIA, C. M. B. de F.; MORALES, M. M. Biochar in substrate composition for production of teak seedlings. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.51, n.9, p.1449-1456, set., 2016.

RIBEIRO, L. M. O.; MEILI, L.; GOIS, G. N. S. B.; ALMEIDA, R. M. R. G.; DUARTE, J. L. da S. Immobilization of lipase in biochar obtained from *Manihot esculenta* Crantz. *rev.ion*; 32(2):7-13. 2019.

RODRÍGUEZ-VILA, A.; FORJÁN, R.; GUEDES, R. S.; COVELO, E. F. Effect of waste mixed with biochar as soil amendment on trace element solubility in a mine soil. *SJSS. Spanish Journal of Soil Science*. VOLUME 7, ISSUE 2. 2017.

RODRIGUES, M. A.; GARMUS, T.; ARROBAS, M.; GONÇALVES, A.; SILVA, E.; ROCHA, L.; PINTO, L.; BRITO, C.; MARTINS, S.; VARGAS, T.; CORREIA, C. M. Combined biochar and organic waste have little effect on chemical soil properties and plant growth. *SJSS. Spanish Journal of Soil Science*. VOLUME 9 ISSUE 3. 2019.

ROESSLER, R.; AMPRAKO, L.; SAYIBU, A. R.; MOHAMMED, A.; MENEZES, R. C.; HÖLSCHER, D.; ALENYOREGE, B.; DEI H. K.; STEINER, C. Effects of false yam tuber meals and charcoal on broiler chicken production and blood parameters. *South African Journal of Animal Science*, 47 (No. 6), 2017.

RUIVO, M. de L. P.; AMARANTE, C. B. do; OLIVEIRA, M. de L. S.; MUNIZ, I. C. M.; SANTOS, D. A. M. dos. Microbial population and biodiversity in Amazonian Dark Earth soils. In: *Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision*. Springer, Dordrecht, p. 351-362. 2009.

SANTOS, R. C. dos; CARNEIRO, A. de C. O.; PIMENTA, A. S.; CASTRO, R. V. O.; MARINHO, I. V.; TRUGILHO, P. F.; ALVES, I. C. N.; CASTRO, A. F. N. M. Energy potential of species from forest management plan for the Rio Grande do Norte State. *Ciência Florestal*, v. 23, n. 2, p. 491-502. 2013.

SANTOS, S. R. dos; LUSTOSA FILHO, J. F.; VERGÜTZ, L.; MELO, L. C. A. Biochar association with phosphate fertilizer and its influence on phosphorus use efficiency by maize. *Ciência e Agrotecnologia*, 43:e025718, 2019.

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

SHIKUKU, V. O.; KIMOSOP, S. J. Efficient Removal of Sulfamethoxazole onto Sugarcane Bagasse-derived Biochar: Two and Three-parameter Isotherms, Kinetics and Thermodynamics. *S. Afr. J. Chem.*, 73, 111–119, 2020.

SILVA, I. C. B. da; BASÍLIO, J. J. N.; FERNANDES, L. A.; COLEN, F.; SAMPAIO, R. A.; FRAZÃO L. A. Biochar from different residues on soil properties and common bean production. *Sci. Agric.* v.74, n.5, p.378-382, sep.-oct., 2017.

SILVA, I. C. B. da; FERNANDES, L. A.; COLEN, F.; SAMPAIO, R. A. Growth and production of common bean fertilized with biochar. Ciência Rural, Santa Maria, v.47: 11, e20170220, 2017.

SILVA, M. I.; MACKOWIAK, C.; MINOGUE, P.; REIS, A. F.; MOLINE, E. F. da V. Potential impacts of using sewage sludge biochar on the growth of plant forest seedlings. Ciência Rural, v.47, n.1, 2017.

SILVA, M. R. F. da; QUEIROZ, M. E. L. R. de; NEVES, A. A.; SILVA, A. A. da; OLIVEIRA, A. F. de; OLIVEIRA, R. L. de; AZEVEDO, M. M. Impact of percentage and particle size of sugarcane biochar on the sorption behavior of clomazone in Red Latosol. An Acad Bras Cienc. 90, 4. 2018.

SILVA, R. V. da; RODRIGUES, L. A.; SILVA, M. G. da; SILVA, B. G. da; MARTINS, M. A. Biochar and mucuna increase papaya plant growth and nutrition, as well as soil fertility. Pesq. Agropec. Trop., Goiânia, v. 49, e55210, 2019.

SINGH, B.; SINGH, B. P.; COWIE, A. L. Characterisation and evaluation of biochars for their application as a soil amendment. Soil Research, v. 48, n. 7, p. 516-525, 2010.

SOHI, S. P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, E.; BOL, R. A review of biochar and its use and function in soil. em: Advances in agronomy. Academic Press, p. 47-82., 2010.

SOUZA, A. A. O. de; OLIVEIRA, T. S.; AZEVEDO, L. E. C. de; NOBRE, J. R. C.; STEFANELLI, W. F. R.; COSTA, T. A. P. de S.; SILVA, J. P. S. da; BARRAL, A. V. S. Adsorption of the basic Malachite Green dye via activated carbon from the açaí seed. Research, Society and Development, [S. l.], v. 10, n. 2, p. e49110212871, 2021.

STEINER, C.; TEIXEIRA, W. G.; LEHMANN, J.; NEHLS, T.; MACÊDO, J. L. V. de; BLUM, W. E. H.; ZECH, W. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. Plant and Soil, v. 291, n. 1–2, p. 275–290. 2007.

THENG, B. K. G.; TATE, K. R.; SOLLINS, P. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. In: Coleman, DC, Oades, JM, Uehara, G (Eds.). Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Hawaii: NifTAL Project. p. 5–32. 1989.

TORRES, W. G. A.; COLEN, F.; PANDEY, S. D.; FRAZÃO, L. A.; SAMPAIO, R. A.; FERNANDES, L. A. Phosphorus availability in soil amended with biochar from rice rusk and cattle manure and cultivated with common bean. Ciência e Agrotecnologia, 44:e014620, 2020.

TRAZZI, P. A.; HIGA, A. R.; DIECKOW, J.; MANGRICH, A. S.; HIGA, R. C. V. Biocarvão: realidade e potencial de uso no meio florestal. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 875-887, abr.- jun., 2018.

VENDRUSCOLO, E. P.; ALVES, M. C.; LEAL, A. J. F.; SOUZA, E. J. de; SOUTO FILHO, S. N. Efeitos do biochar, culturas de cobertura e lodo de esgoto nos atributos físicos do solo. Cienc. Suelo (Argentina) 36 (1): 1-10, 2018.

VERHEIJEN, F. G. A.; MONTANARELLA, L.; BASTOS, A. C. Sustainability, certification, and regulation of biochar. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.47, n.5, p.649-653, mai., 2012.

VERHEIJEN, F.; JEFFERY, S. L.; BASTOS, A. C.; VAN DER VELDE, M.; DIAFAS, I. Biochar application to soils. A critical scientific review of effects on soil properties, processes, and functions. EUR, v. 24099, p. 162, 2010.

WANG, G.; LI, Q.; DZAKPASU, M.; GAO, X.; YUWEN, C.; WANG, X. C. Impacts of different biochar types on hydrogen production promotion during fermentative co-digestion of food wastes and dewatered sewage sludge. Waste management, v. 80, p. 73-80, 2018.

WOICIECHOWSKI, T.; LOMBARDI, K. C.; GARCIA, F. A. de O.; GOMES, G. S. Nutrientes e umidade do solo após a incorporação de biocarvão em um plantio de *Eucalyptus benthamii*. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 1455-1464, out.-dez., 2018.

YAMAGUCHI, N. U.; RUBIO, A. J.; BERGAMASCO, R. Activated carbon loaded with manganese and iron for glyphosate adsorption: Kinetics, isotherms and thermodynamic studies. Rev. Ambient. Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science. Taubaté, vol. 14 n. 6, e2414 - 2019.

YAMATO, M.; OKIMORI, Y.; WIBOWO, I. F.; ANSHORI, S.; OGAWA, M. Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. Soil science and plant nutrition, v. 52, n. 4, p. 489-495, 2006.

YU, F.; DENG, S; CHEN, P; LIU, Y.; WAN, Y.; OLSON, A.; KITTELSON, D.; RUAN, R. Physical and chemical properties of bio-oils from microwave pyrolysis of corn stover. Applied Biochemistry And Biotechnology, v. 137-140, n. 1-12, p.957-970. 2007.

ZELAYA, K. P. S.; ALVES, B. S. Q.; COLEN, F.; FRAZÃO, L. A.; SAMPAIO, R. A.; PEGORARO, R. F.; FERNANDES, L. A. Biochar in sugar beet production and nutrition. Ciência Rural, Santa Maria, v.49:05, e20180684, 2019.

ZHOU, B.; CHEN, X. Effect of Nanocarbon on Water Holding Capacity in a Sandy Soil of the Loess. Earth Sciences Research Journal, 21(4). 189-195. 2017.