

## Resposta do biocarvão de casca de coco babaçu e açaí nos atributos do solo e na emissão de gases

 <https://doi.org/10.56238/sevened2024.023-008>

### **Ana Luisa da Conceição de Sousa Meneses**

Graduanda em agronomia pela Universidade Federal do Maranhão/UFMA, campus de Chapadinha, Brasil.

E-mail: ana.meneses@discente.ufma.br

### **Letícia Maria Gomes de Sousa**

Graduanda em agronomia pela Universidade Federal do Maranhão/UFMA, campus de Chapadinha, Brasil.

E-mail: leticia.fnt@hotmail.com

### **Alan Teixeira Alves**

Graduando em agronomia pela Universidade Federal do Maranhão/UFMA, campus de Chapadinha, Brasil.

E-mail: alan.teixeira@discente.ufma.br

### **Manoel Gustavo Lopes Silva**

Graduando em agronomia pela Universidade Federal do Maranhão/UFMA, campus de Chapadinha, Brasil.

E-mail: manoel.gustavo@discente.ufma.br

### **Hellen Patrícia Lemos Cordovil**

Graduação em agronomia pelo Instituto Federal do Amapá/IFAP, campus Porto Grande, Brasil.

E-mail: hellen.lemos2018@gmail.com

### **Leane Castro de Souza**

Doutora em agronomia pela Universidade Federal Rural da Amazônia/UFRA, Campus Belém, Brasil.

E-mail: leane\_castro@hotmail.com.br

### **Luma Castro de Souza**

Doutora em agronomia (Ciência do solo) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho/UNESP, Campus de Jaboticabal, Brasil.

E-mail: lc.souza@ufma.br

### **Raphael Leone Cruz Ferreira**

Mestre em agronomia (Ciência do solo) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho/UNESP, Campus de Jaboticabal, Brasil.

E-mail: raphael.ferreira@ifap.edu.br

### **Cândido Ferreira de Oliveira Neto**

Doutor em Ciências Agrárias pela Universidade Federal Rural da Amazônia/UFRA, Campus Belém, Brasil.

E-mail: candido.neto@ufra.edu.br

### **Kamila Cunha de Meneses**

Doutora em agronomia (Ciência do solo) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho/UNESP, Campus de Jaboticabal, Brasil.

E-mail: kamilacmeneses@hotmail.com

### **Nilvan Carvalho Melo**

Doutor em agronomia (Ciência do solo) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho/UNESP, Campus de Jaboticabal, Brasil.

E-mail: nilvan.melo@ifap.edu.br

### **Flávio José Rodrigues Cruz**

Doutor em Agronomia (Produção Vegetal) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho., campus de Jaboticabal, Brasil.

E-mail: fjrcpp@outlook.com

## RESUMO

O biocarvão de resíduos produzido por pirólise, beneficia a fertilidade do solo, incrementa a retenção de água e nutrientes e reduz a emissão de gases do efeito estufa, promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis. Assim, o objetivo deste estudo foi investigar os benefícios do biocarvão produzido a partir de cascas de coco babaçu e açaí nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, bem como na mitigação das emissões de gases de efeito estufa. Foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente, explorando artigos e livros em bases de dados científicos. Os resultados demonstraram que o biocarvão de casca de coco babaçu e açaí apresentam impactos significativos no solo. Em termos de atributos do solo, observou-se aumento na capacidade de retenção de água, melhoria na estrutura do solo e aumento na disponibilidade de nutrientes essenciais para as plantas. Além disso, houve redução na emissão de gases como dióxido de carbono-CO<sub>2</sub>, metano-CH<sub>4</sub> e óxido nitroso-N<sub>2</sub>O, importantes gases de efeito estufa, indicando o potencial do biocarvão na mitigação das mudanças climáticas quando incorporado em práticas agrícolas.



**Palavras-chave:** Biochar, Resíduos, Pirólise, Efeito estufa, Qualidade do solo.

## 1 INTRODUÇÃO

A emissão de gases começou a ser uma preocupação para a comunidade científica por volta de 1988, pois, houve uma mudança drástica e rápida nas condições climáticas, sendo os combustíveis fósseis os principais responsáveis pelo aumento da concentração de gases de efeito estufa (Hansen *et al.*, 1988; Rezende, 2011; WMO, 2020).

Os combustíveis fósseis são a principal fonte de energia primária no mundo, representando mais de 85% do suprimento total de energia (Rezende, 2011). O restante do suprimento energético é composto por energia nuclear, hidroelétrica e fontes renováveis, como biocombustíveis, energia eólica, geotérmica e solar (IEA, 2020; Rezende, 2011; WEC, 2019).

Diante da grande quantidade de gases emitidos na atmosfera, o biochar surge como uma solução rápida, econômica e eficaz para armazenar carbono no solo e melhorar sua qualidade. O biocarvão, também conhecido como biochar, é produzido pela queima de biomassa vegetal em alta temperatura, com uma quantidade reduzida e controlada de oxigênio (Jeffery *et al.*, 2011; Lehmann; Joseph, 2009; Lehmann *et al.*, 2011; Maia, 2011).

Além disso, o biochar possui uma estrutura heterogênea composta por carbono aromático e minerais provenientes das cinzas, resultantes do processo de pirólise de biomassa obtida de maneira sustentável, utilizando tecnologias limpas e em condições controladas (Maia, 2011; SSSA, 2024). A biomassa utilizada pode ser constituída por materiais de origem vegetal, incluindo resíduos como casca de coco babaçu e amêndoas de açaí (Loo, 2008).

Ao longo da história, a produção de biochar teve origem entre os povos indígenas, que tradicionalmente utilizavam a técnica de enterrar resíduos vegetais e animais. Este método resultava na decomposição desses materiais, o que contribuía de forma significativa para melhorar a qualidade do solo e aumentar sua fertilidade (Glaser *et al.*, 2001; IBI, 2024; Souza, 2023). Essas práticas ancestrais de manejo desempenharam um papel crucial na transformação dos solos amazônicos, tornando-os mais férteis e propícios para a agricultura de subsistência (Lehmann *et al.*, 2006; Souza, 2023).

O biochar, um produto moderno derivado dessas práticas tradicionais, oferece diversos benefícios, como a redução da lixiviação de nutrientes no solo, a otimização do uso de fertilizantes e contribuições ambientais positivas, incluindo a captura de dióxido de carbono da atmosfera e a redução das emissões de gases de efeito estufa (EMBRAPA, 2022).

Na região amazônica, onde as palmeiras de coco babaçu e açaí são abundantes, as cascas e frutos dessas espécies nativas apresentam um potencial significativo para serem utilizados na produção de biochar. Essa prática não apenas reduz a dependência da agricultura em relação a fertilizantes químicos, mas também proporciona benefícios econômicos e ambientais substanciais (EMBRAPA, 2024; Glaser *et al.*, 2001).

Nesse contexto, esta revisão de literatura teve como objetivo investigar e conhecer sobre os benefícios do biocarvão produzido a partir de cascas de coco babaçu e açaí nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, bem como na mitigação das emissões de gases de efeito estufa.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 BIOCÁRVÃO DE CASCA DE COCO BABAÇU E DE AÇAÍ

A palmeira do coco babaçu é nativa do Brasil e encontrada principalmente na região amazônica, onde cresce naturalmente em áreas de transição entre o cerrado, floresta amazônica e região semiárida do nordeste brasileiro (Chaves; Machado; Antoniassi, 2006).

Nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, existem extensas áreas de coleta de coco babaçu, que são fundamentais para a subsistência de diversas comunidades, no entanto, devido ao baixo valor do produto, não há um estímulo significativo para aumentar sua exploração (Chaves; Machado; Antoniassi, 2006). Assim, a produção do biocarvão emerge como uma alternativa sustentável para as famílias extrativistas que ao quebrarem o fruto, podem comercializar o endocarpo, e utilizar os resíduos para vender ou transformar em subprodutos para complementar a renda.

O açaizeiro é outra palmeira nativa da Amazônia, cuja economia local depende amplamente da venda da polpa do fruto (Nascimento, 2008). Com isso, a produção do biochar para fins agrícolas, aumentaria a renda dessas comunidades através da venda das sementes após a despolpa.

Nos solos do cerrado, é comum encontrar pequenos pedaços de carvão vegetal, conhecidos como C-pyr ou carbono negro, resultantes de queimadas naturais ou intervenções humanas (Petter, 2010). Esses materiais são frequentemente encontrados nas Terras Pretas de Índio na Amazônia, compostos que persistem no solo por séculos e são fundamentais para sua fertilidade (Neves *et al.*, 2003).

Compreender a degradação do C-pyr no solo é fundamental para sua utilização, visando a captura de carbono da atmosfera (Petter *et al.*, 2016). A estabilidade de longo prazo do C-pyr no solo, sem alterações significativas em sua composição, pode contribuir para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> a curto prazo (Petter *et al.*, 2016). A capacidade do biocarvão de reter carbono no solo está relacionada à sua estabilidade química (Lehmann; Joseph, 2009).

Assim, a produção de biocarvão a partir dos resíduos do processamento do açaí pode ser uma solução eficaz para lidar com o descarte inadequado desses resíduos, transformando-os em um recurso que melhora as propriedades do solo e reduz os riscos de contaminação ambiental.

No entanto, é essencial conduzir testes e estudos adicionais para ajustar as condições de produção do biochar, garantindo que suas propriedades ambientais e agronômicas sejam otimizadas conforme as melhores práticas disponíveis (Sato, 2019).

## 2.2 EFEITO DO BIOCARVÃO DA CASCA DE COCO BABAÇU NOS ATRIBUTOS DO SOLO

O biocarvão, obtido através da pirólise da biomassa, tem se destacado como uma alternativa sustentável para a melhoria dos solos agrícolas. Esse processo envolve a degradação termoquímica da biomassa em condições anaeróbicas ou com baixa concentração de oxigênio e altas temperaturas (Lehmann; Joseph, 2009; Schmidt, 2002).

A casca de coco babaçu (*Orbignya phalerata*) se apresenta como uma opção viável, especialmente na região Nordeste do Brasil, onde é encontrada em grande abundância. O babaçu é uma palmeira nativa do Brasil, predominante no Nordeste e no estado do Maranhão, amplamente explorada tanto para a extração de óleo quanto para o uso de suas fibras e cascas (Pereira; Luiz, 2013; Silva; Rodrigues, 2011; Teixeira; Costa, 2016)

O fruto do babaçu possui uma camada fibrosa chamado epicarpo, que representa 11% do peso total do fruto e envolve uma camada central, o mesocarpo ou polpa, que é rico em amido e fibras, correspondendo a 23% do fruto (Lorenzi, 2004; Santos; Silva; Oliveira, 2008; Silva; Filho, 2007). Mais internamente, encontra-se o endocarpo, uma camada muito resistente, com espessura de 2 a 3 centímetros, que constitui 58% do fruto. Essa camada é essencial para a produção de carvão vegetal, possuindo um poder calorífico superior ao do carvão mineral (Andrade; Nascimento; Silva, 2005; Lorenzi, 2004). No núcleo do fruto estão as amêndoas, que representam 8,7% do peso total do babaçu e são a fonte para a extração de óleo (Gomes, 2017; Ribeiro; Oliveira; Lima, 2020; Pereira; Silva; Oliveira, 2016).

Tradicionalmente considerada um resíduo agroindustrial, a casca de coco babaçu possui grande potencial quando transformada em biocarvão, graças às suas propriedades físico-químicas favoráveis. A utilização do biocarvão derivado da casca de coco babaçu na agricultura tem como objetivo não apenas melhorar a qualidade do solo, mas também oferecer uma solução sustentável para a redução de gases de efeito estufa (GEE), contribuindo significativamente para a mitigação do aquecimento global (Almeida; Martins; Ribeiro, 2019; Nunes; Souza; Silva, 2018; Santos; Oliveira; Carvalho, 2019).

O biocarvão oferece uma solução que integra a produção de energia e alimentos, promovendo simultaneamente o aumento da nutrição e da fertilidade do solo, além de contribuir para o sequestro de carbono (Wolf *et al.*, 2010). Isso torna o biocarvão uma das poucas tecnologias disponíveis com potencial para enfrentar desafios relacionados à degradação dos solos, à escassez de alimentos e fertilizantes, à competição por biomassa e à redução das emissões de gases de efeito estufa (Lehmann; Joseph, 2015).

Conforme Asai *et al.* (2009), o uso do biocarvão proporciona uma série de benefícios ambientais e agronômicos. Entre eles estão a diminuição da lixiviação de nitrogênio, a neutralização do pH do solo, a redução da quantidade de alumínio disponível, a diminuição da densidade do solo, o aumento da condutividade hidráulica saturada e a melhoria da permeabilidade da água no solo (Asai

*et al.*, 2009)). Além disso, o biocarvão contribui para uma maior disponibilidade de fósforo para as plantas, o que fortalece a saúde do solo e das culturas (Kammann *et al.*, 2010; Lag *et al.*, 2017; Spokas; Koskella; Baker, 2009).

Assim, a aplicação de biocarvão na agricultura é uma prática promissora para a melhoria das propriedades físicas e químicas do solo, especialmente em regiões tropicais onde a matéria orgânica desempenha um papel crucial na manutenção da capacidade de troca de cátions (CTC) (Lehmann; Joseph, 2015; Glaser; Lehmann; Zech, 2002).

Apesar de a estrutura química do biocarvão e sua natureza particulada, aliadas à sua estrutura porosa (Figura 1), influenciarem propriedades tais como a capacidade de troca catiônica, a retenção de água e a retenção e disponibilidade de nutrientes (Uchimiya *et al.*, 2010), os efeitos do biocarvão no solo ainda são alvo de debate. Alguns trabalhos demonstraram os efeitos benéficos do biocarvão nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Liang *et al.*, 2006; Steiner *et al.*, 2007; Ouyang *et al.*, 2013).

Figura 1. Representação de partículas de biocarvão.



Fonte: Autor (2024).

Outros estudos mostraram que a aplicação de biocarvão não teve efeito significativo nas propriedades físicas e químicas do solo (Carvalho, 2015; Reed *et al.*, 2017). Além disso, algumas pesquisas indicam que o biocarvão pode até reduzir a capacidade de retenção de água no solo (Krull *et al.*, 2010; Tammeorg *et al.*, 2014).

Neste contexto, é fundamental explorar e compreender os efeitos do biocarvão de coco babaçu nos atributos do solo, avaliando suas implicações para a produtividade agrícola e a sustentabilidade ambiental.

### 2.3 EFEITOS DO BIOCÁRVÃO DO AÇAÍ NOS ATRIBUTOS DO SOLO

Sato (2018), afirma que o biocarvão derivado de resíduos do processamento de açaí demonstrou potencial para servir como condicionador em solos amazônicos. Contudo, o controle das condições de pirólise, particularmente a temperatura, é essencial para determinar as características e a eficácia do biocarvão obtido desses resíduos (Galinato *et al.*, 2011; Oliveira *et al.*, 2017).

Em temperaturas mais baixas (300 e 400 °C), o biocarvão exibe um rendimento maior, porém com uma tendência fortemente hidrofóbica (Zhang *et al.*, 2016; Kuzyakov; Bogomolova; Glaser., 2014). Por outro lado, quando produzido em temperaturas mais elevadas (600 e 700 °C), o material apresenta valores de pH mais altos, maior recalcitrância e maior capacidade de retenção de água (Li *et al.*, 2016; Mukherjee; Lal, 2013).

Considerando as vantagens do biocarvão produzido em temperaturas baixas e altas, a temperatura intermediária (500 °C) e um tempo de residência mais longo (3 horas) são considerados ideais para a produção de biocarvão a partir de sementes de açaí. Essa abordagem incorpora um conjunto de características benéficas para esses solos, sem apresentar limitações significativas de uso (Mukherjee; Lal, 2013; Fernandes *et al.*, 2017).

Por causa dessas propriedades, nos últimos anos, diversos estudos têm enfatizado os efeitos positivos do biocarvão em várias características físico-químicas do solo, incluindo a diminuição da densidade, elevação do pH em solos ácidos, aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) e contribuição como fonte de incremento do carbono orgânico no solo (Yan *et al.*, 2021; Chintala *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2012).

Graças à predominância de carbono de longa duração, o biocarvão emerge como uma alternativa eficaz para a captura de carbono, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para o incremento dos níveis de matéria orgânica no solo (Woolf *et al.*, 2018).

A extensa superfície e poros do biocarvão podem favorecer a retenção de nutrientes no solo, já que íons positivos e negativos podem ser retidos em sua superfície através de adsorção. (Yan *et al.*, 2021; Xu *et al.*, 2014).

A temperatura durante a pirólise afeta diretamente as propriedades físicas do biocarvão (Trompowsky *et al.*, 2005). Durante a queima da matéria orgânica, ocorre a liberação de compostos voláteis, incluindo o "suco celular", hemicelulose, celulose e lignina, formando compostos carbonizados (Petter *et al.*, 2016).

Esses compostos se decompõem, criando poros de diferentes tamanhos que aumentam a área de superfície específica do biocarvão. Normalmente, essa área aumenta com a temperatura até certo ponto, 500 a 700 °C (Petter *et al.*, 2016). Contudo, em temperaturas elevadas (>1000 °C), os compostos carbonizados sofrem fusão devido à degradação dos compostos aromáticos, resultando na perda de carbono e de características físicas desejáveis, como a porosidade (Petter *et al.*, 2016).

O uso de biocarvão derivado de sementes de açaí resultou em melhorias nas propriedades físicas do solo, incluindo aumento da porosidade de aeração e aprimoramento da agregação do solo. Além disso, em solos de diferentes texturas, o biocarvão teve efeitos positivos na retenção e disponibilidade de água para as plantas.

Esses efeitos foram mais evidentes em solos de textura arenosa e aumentaram conforme a quantidade de biocarvão aplicada. A adição de biocarvão ao solo melhorou a fração de mesoporos em todos os tipos de solo, resultando em uma maior condutividade hidráulica saturada (Sato *et al.*, 2020).

O biocarvão pode ser também empregado como um melhorador para incrementar a eficácia da fixação de nitrogênio (N) no solo e mitigar sua volatilização, consequentemente aprimorando a fertilidade do solo e promovendo o crescimento e desenvolvimento das plantas (Xu; Tan; Gai, 2016).

Adicionalmente, nutrientes minerais como o fósforo (P) são capturados pelo biocarvão durante o processo de pirólise, e, por isso, diversos estudos sugerem que o biocarvão pode ser eficaz em aumentar a disponibilidade desse elemento no solo (Costa, 2021).

Semelhante à matéria orgânica, a adição de biocarvão ao solo ainda promove um aumento no número de cargas dependentes de pH devido à presença de grupos funcionais com carga residual predominantemente negativa. Isso é influenciado pelo aumento do pH causado pelos carbonatos presentes nas cinzas do biocarvão.

Como resultado, a capacidade de troca catiônica (CTC) aumenta, pois há mais cargas negativas nos sítios de troca, reduzindo a competição dos cátions com os íons  $H^+$  por esses sítios e, consequentemente, diminuindo a lixiviação das bases ao longo do perfil do solo (Gul *et al.*, 2015). Essas vantagens são especialmente relevantes ao se considerar os solos tropicais, nos quais o intenso processo de intemperismo acelera a degradação da matéria orgânica e a constante lixiviação de nutrientes básicos (Sato, 2018).

Conforme observado por Malavolta (2006), a baixa fertilidade presente nos solos ácidos está principalmente ligada à escassez de bases trocáveis e ao excesso de alumínio e manganês. Portanto, a inclusão de biocarvão nesses solos poderia reduzir as perdas de nutrientes, especialmente de bases, por lixiviação, resultando em uma utilização mais eficiente dos nutrientes presentes no solo (Sato *et al.*, 2020).

Sheng e Zhu (2018) encontraram que a adição de biocarvão em solos ácidos resultou em um aumento substancial do pH do solo e uma modificação significativa na composição da comunidade microbiana. Houve aumentos notáveis em Bacteroides e Gemmatimonadetes, enquanto Acidobactérias diminuíram significativamente.

A regulação do pH do solo pelo biocarvão foi identificada como o principal fator responsável por essa alteração na estrutura da comunidade microbiana do solo (Gorovtsov *et al.*, 2020). Tudo devido as propriedades alcalinas a qual tem a capacidade de elevar o pH do solo, especialmente em solos ácidos (Chan; Xu, 2009).

Além disso, Palansooriya *et al.* (2019) constataram que o biochar aumenta o pH do solo, exercendo um efeito positivo na atividade metabólica dos microrganismos do solo e na sua estrutura comunitária. O biochar reduz a densidade aparente do solo, aumenta sua capacidade de retenção de

água e umidade, modifica as emissões de dióxido de nitrogênio (N<sub>2</sub>O) do solo e tem efeitos sobre as comunidades bacterianas nitrificantes e desnitrificantes presentes no solo (Huang *et al.*, 2023). Onde através do aumento da CTC através da aplicação de biocarvão pode resultar em um incremento na população de bactérias fixadoras de nitrogênio, rizobactérias e bactérias nitrificantes e desnitrificantes no solo, promovendo o crescimento das plantas e reforçando a capacidade delas para enfrentar estresses ambientais (Glaser; Lehmann; Zech, 2002).

Dessa forma, nas últimas décadas, diversos estudos têm destacado os benefícios do biocarvão em várias propriedades físico-químicas do solo (Costa, 2021). Além de ser visto como uma substância ecologicamente viável, que pode ser empregada no solo para estimular a retenção e disponibilidade de nutrientes em solos com pouca fertilidade ou com propriedades desvantajosas para o crescimento adequado de plantas (Chandra; Medha; Bhattacharya, 2020).

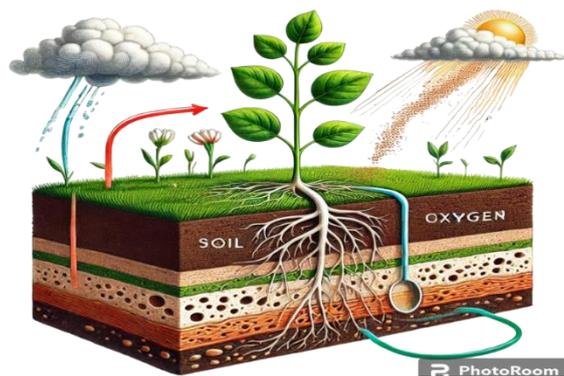
## 2.4 POTENCIAL DO BIOCARVÃO NA MITIGAÇÃO DE GASES DO SOLO

O biocarvão, é uma biomassa carbonizada através do processo de pirólise, o que significa que é rico em carbono e resulta do aquecimento da matéria orgânica em um ambiente com baixa presença de oxigênio (Mendonça, 2019).

Segundo Yakuwa (2021) as características do biochar variam conforme diversos fatores, incluindo o tipo de biomassa usada e a temperatura do processo de pirólise. Possui uma estrutura interna resistente, comparável à grafite, e uma camada externa reativa, devido à existência de diversos grupos químicos aptos a se unirem a compostos orgânicos, água e elementos químicos que servem como nutrientes para as plantas (Downie; Crosky; Munroe, 2009)

A emissão de gases de efeito estufa é um problema para a sobrevivência da biodiversidade do planeta terra. De acordo com o Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE), em 2023, a média anual de emissão de CO<sub>2</sub> foi de 0,0385 toneladas por megawatt-hora, equivalente a 38,5 kg de emissão por megawatt-hora. Essa situação provavelmente persistirá até o final do século (IPCC, 2021) (Figura 2).

Figura 2. Ação do clima na emissão de gases no sistema solo-planta-atmosfera.



Fonte: Autor (2024).

A utilização desses materiais carbonizados nos solos agrícolas pode representar um importante processo de captura de carbono e manejo de resíduos (Lehmann, 2007).

Além disso, o uso de materiais carbonizados no solo ou como matéria-prima para a fabricação de fertilizantes granulados minerais, orgânicos ou organominerais, que liberam nutrientes de forma controlada ou gradual, pode trazer outros benefícios, como: mudanças nas comunidades microbianas do solo, com aumento da diversidade biológica; aumento da produtividade agrícola; redução das emissões de metano e óxidos nitrosos; diminuição da necessidade de fertilizantes; redução do escoamento de nutrientes e, principalmente, o aprimoramento da eficiência agrônômica dos fertilizantes (Jeffery *et al.*, 2011; Kammann *et al.*, 2012; Spokas; Reicosky, 2009).

Os materiais carbonizados contêm grupos aromáticos condensados que contribuem para sua resistência à decomposição no solo, tornando-os, portanto, uma opção eficaz para o armazenamento de carbono, especialmente considerando que o solo representa o maior depósito superficial desse elemento (Glaser; Lehmann; Zech, 2002).

Dessa forma, para além dos ganhos econômicos imediatos, é crucial também considerar os benefícios ambientais, sobretudo no que diz respeito às alterações climáticas globais (armazenamento de carbono e diminuição das emissões de outros gases de efeito estufa) e à maior eficiência energética na agricultura, decorrente do aumento da produtividade, da redução do uso de fertilizantes e das menores perdas de nutrientes (Cerri *et al.*, 2009; Steiner *et al.*, 2004).

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O biocarvão tem uma forte ligação com a recuperação e aprimoramento da qualidade do solo, auxiliando na redução dos efeitos das mudanças climáticas e no aumento da produtividade das plantas. Além disso, o uso do biocarvão promove melhor agregação do solo, favorecendo maior retenção de água e nutrientes.

Portanto, o biochar tem a capacidade de ser amplamente utilizado diante das atuais mudanças climáticas, pois, possui significância na redução dos gases de efeito estufa, o que o torna um importante



aliado na busca pela sustentabilidade do planeta. Assim, o biocarvão tem potencial como mitigador de gases poluentes, podendo ser apontado como um recurso eficaz para melhorar a qualidade sustentável do solo.



## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. S.; MARTINS, M. A.; RIBEIRO, C. M. Potencial do biocarvão de casca de coco babaçu para mitigação de gases de efeito estufa. *Revista de Ciências Ambientais*, v. 14, n. 3, p. 145-152, 2019.

ANDRADE, A. P.; NASCIMENTO, J.; SILVA, M. Propriedades físicas e químicas do endocarpo do babaçu. *Revista de Ciências Agrárias, Recife*, v. 28, n. 1, p. 45-53, 2005.

ASAI H. *et al.* Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos. 1. Soil Physical properties, leaf SPAD and grain yield, 2009.

CARVALHO, M. T. M. The impact of wood biochar as a soil amendment in aerobic rice systems of Brazilian Savannah. Thesis, University of Tasmania, 2015.

CERRI, C. C. *et al.* Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. *Scientia Agricola*, v. 66, n. 6, p. 831-843, 2009.

CHAN, K. Y.; XU, Z. Biochar: Nutrient properties and their enhancement. *In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Eds.). Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Londres: Earthscan, 2009. p. 67-84.*

CHANDRA, S.; MEDHA, I.; BHATTACHARYA, J. Potassium-iron rice straw biochar composite for sorption of nitrate, phosphate, and ammonium ions in soil for timely and controlled release. *Science of the Total Environment*, v. 712, p. 136337, 2020.

CHAVES, J. B. P.; MACHADO, G. C.; ANTONIASSI, R. Composição em ácidos graxos e caracterização física e química de óleos hidrogenados de coco babaçu. *Ceres*, v. 53, n. 308, 2006.

CHINTALA, R. *et al.* Phosphorus Sorption and Availability from Biochars and Soil/Biochar Mixtures. *Clean Soil Air Water*, v. 42, p. 626-634, 2014.

COSTA, A. C. D. D. Qualidade física e química do solo em função da aplicação de biocarvão de sementes de açaí, 2021. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Universidade Federal Rural da Amazônia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2021.

COSTA, M. V. de. Biocarvões de resíduos de caroço de açaí e castanha-do-brasil como condicionantes de solo: características químicas. 42 p. (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal Rural da Amazônia: UFRA, Belém, 2021.

DOWNIE, A.; CROSKY, A.; MUNROE, P. Physical properties of biochar. *In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Eds.). Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Londres: Earthscan, 2009. p. 13-32.*

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Inovação potencializa uso do biochar como fertilizante na agricultura. EMBRAPA, 2022. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/74757901/inovacao-potencializa-uso-de-biocarvao-como-fertilizante-na-agricultura#:~:text=O%20composto%20organomineral%20resultante%20da,sequestro%20de%20carbono%20no%20solo>>. Acesso em: 15 maio. 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Tecnologias para o uso sustentável do biochar na agricultura. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/>



/publicacao/1128248/tecnologias-para-o-uso-sustentavel-do-biochar-na-agricultura. Acesso em: 20 jun. 2024.

FERNANDES, F. M. *et al.* Characterization and application of biochar from açai seeds in the remediation of soil contaminated with Cu(II) and Zn(II). *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 5, n. 4, p. 3274-3282, 2017.

GALINATO, S. P. *et al.* Cost analysis of biochar production and transportation: case study in Washington State. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, v. 5, n. 2, p. 181-191, 2011.

GLASER, B. *et al.* 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.

GOMES, H. M. A. Aplicação das técnicas de processamento digital de imagens na caracterização de carvão ativado processamento em micro-ondas a partir da biomassa de coco babaçu. 2017. 59. Qualificação de Mestrado – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Teresina, 2017.

GOROVTSOV A. *et al.* Os mecanismos de interações do biochar com microrganismos no solo. *Geoquímica Ambiental e Saúde*, v. 42, p. 2495–2518, 2020.

GUL, S. *et al.* Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: mechanisms and future directions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 206, p. 46-59, 2015.

HANSEN, J. *et al.* Global climate changes as forecast by Goddard Institute for Space Studies three-dimensional model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 93, n. 8, p. 9341-9364, 1988.

HUANG, K. *et al.* Impacts and mechanisms of biochar on soil microorganisms. *Plant, Soil And Environment*, v. 69, n. 2, p. 45-54, 2023.

INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE - IBI. Biochar Basics. Disponível em: <https://biochar-international.org/biochar/>. Acesso em: 20 jun. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. Key World Energy Statistics 2020. Paris: IEA, 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2020>. Acesso em: 20 jun. 2024.

IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2021.

JEFFERY, S. *et al.* A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 144, n. 1, p. 175-187, 2011.

KAMMANN, C. I. *et al.* Biochar and hydrochar effects on gas fluxes and soil fertility: a field study. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 139, n. 1-2, p. 1-10, 2010.



KAMMANN, C. I. *et al.* Biochar and hydrochar effects on greenhouse gas (carbon dioxide, nitrous oxide, and methane) fluxes from soils. *Journal of Environmental Quality*, v. 41, n. 4, p. 1052-1066, 2012.

KRULL, E. S. *et al.* Functions of Soil Organic Matter and the Effect on Soil Properties. CSIRO Publishing, 2010.

KUZYAKOV, Y.; BOGOMOLOVA, I.; GLASER, B. Biochar stability in soil: decomposition during eight years and transformation as assessed by compound-specific  $^{13}\text{C}$  analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 70, p. 229-236, 2014.

LAG, J. *et al.* Biochar amendment reduces cadmium mobility and uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown on contaminated soil. *Environmental Pollution*, v. 227, p. 112-120, 2017.

LEHMANN, J. Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 5, n. 7, p. 381-387, 2007.

LEHMANN, J. *et al.* decay of charcoal in soil: effects of particle size and soil texture. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 38, n. 7, p. 888-896, 2006.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation. 2nd ed. Abingdon: Routledge, 2015.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation. Earthscan, 2009.

LI, B. *et al.* Effect of pyrolysis temperature on characteristics and water retention capacity of biochar derived from pine sawdust. *Bioresource Technology*, v. 201, p. 309-316, 2016.

LIANG, B. *et al.* Black carbon increases cation exchange capacity in soils *Soil Science Society of America Journal*, v. 60, p. 1719-1730, 2006.

LIU, J. *et al.* Short-term effect of biochar and compost on soil fertility and water status of a Dystric Cambisol in NE Germany under field conditions. *In: Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. V. 175, n. 5, p. 698-707, 2012.

LORENZI, H. Palmeiras brasileiras e exóticas cultivadas, 1 ed, Nova Odessa-SP, Instituto Plantarum de Estudos de Flora, 2004.

MAIA, C. M. B. Produção de biocarvão a partir de diferentes fontes de biomassa. Encontro Brasileiro de substâncias húmicas. p. 2, 2011.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas Piracicaba: Ceres, 2006. 638p.

MANGRICH, A. S.; MAIA, C. M. B. F.; NOVOTNY, E. H. Biocarvão: As Terras Pretas de Índios e o Sequestro de Carbono. *Revista Ciência hoje*, v. 47, p. 51, 2011.

MENDONÇA, M. D. S. Biochar de caroço de açaí como condicionador de solo na produção de mudas de pimenta-do-reino (*piper nigrum* l.). 2019. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias UNESP, *Campus* de Jaboticabal, São Paulo, 2019.

MUKHERJEE, A.; LAL, R. Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas emissions. *Agronomy*, v. 3, n. 2, p. 313-339, 2013.



NASCIMENTO, R. J. S. *et al.* Composição em ácidos graxos do óleo da polpa de açaí extraído com enzimas e com hexano. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 30, p. 498-502, junho 2008.

NEVES, E. G. *et al.* Historical and sociocultural origins of Amazonian Dark Earths. *In: LEHMANN, J. et al.* O potencial do biocarvão (carbono pirogênico) no sequestro de carbono; na ciclagem de nutrientes; no crescimento das plantas e no estímulo de processos microbiológicos. 2003.

NUNES, L. R.; SOUZA, L. M.; SILVA, E. R. Impacto ambiental da produção de biocarvão de resíduos de babaçu. *Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade*, v. 10, n. 2, p. 75-83, 2018.

OLIVEIRA, F. R. *et al.* Biochar from açaí waste: characterization and application for removal of heavy metals from aqueous effluents. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 24, n. 11, p. 10024-10032, 2017.

OUYANG, L. *et al.* Effects of biochar amendment on soil aggregates and hydraulic properties. *J. Soil Sci. Plant Nutr*, v.4. p. 991- 1002, 2013.

PALANSOORIYA K. N. *et al.* Resposta de comunidades microbianas para solos alterados com biocarvão: uma solução crítica visualizar. *Biochar*, v. 1, p. 3–22, 2019.

PEREIRA, J. P. P.; LUZ, S. M. Caracterização e usos potenciais da casca do coco babaçu. *Engenharia Agrícola*, v. 33, n. 5, p. 1010-1018, 2013.

PEREIRA, J. P.; SILVA, R. S.; OLIVEIRA, A. R. Análise das propriedades térmicas do carvão vegetal obtido do babaçu. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 5, n. 4, p. 295-302, 2016.

PETTER, F. A. Biomassa carbonizada como condicionador de solo: aspectos agrônômicos e ambientais do seu uso em solos de cerrado. Goiânia: UFG, 130 p. Tese (Doutorado em Agronomia), 2010.

PETTER, F. A. *et al.* Biocarvão no solo: aspectos agrônômicos e ambientais. Embrapa Florestal, 2016.

REED, E. Y. *et al.* Critical comparison of the impact of biochar and wood ash on soil organic matter cycling and grassland productivity. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 110, p. 134-142, 2017.

REZENDE, E. I. P. *et al.* Biocarvão (biochar) e sequestro de carbono. *Revista virtual de química*, v. 3, n. 5, p. 426-433, novembro 2011.

RIBEIRO, M. S.; OLIVEIRA, P. F.; LIMA, C. H. Avaliação do potencial de biocarvão de babaçu para melhoria das propriedades do solo. *Journal of Agricultural and Environmental Research*, v. 7, n. 2, p. 121-128, 2020.

SANTOS, M. J.; OLIVEIRA, J. P.; CARVALHO, R. S. Potencial da casca de coco babaçu para produção de biocarvão e seus benefícios ambientais. *Cadernos de Ciência e Tecnologia*, v. 22, n. 4, p. 45-53, 2019.

SANTOS, A.M.; SILVA, J.; OLIVEIRA, R. Caracterização física e química de frutos de babaçu. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 30, n. 3, p. 100-110, 2008.

SATO, M. *et al.* Biochar as a sustainable alternative to açaí waste disposal in Amazon, Brazil. *Process Safety and Environmental Protection*. v. 139, p. 36–46, 2020.

SATO, M. K. Biocarvão de resíduos de açaí como condicionante de solos. 2018. 73 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2018.

SATO, M. K. *et al.* Biochar from Acai agroindustry waste: Study of pyrolysis conditions. *Waste Management*, v. 96, p.158–167, 2019.

SCHMIDT, M. W. I.; SKJEMSTAD, J. O. Carbon isotope geochemistry and nanomorphology of soil black carbon: black chernozemic soils in central Europe originate from ancient biomass burning. *Global Biogeochemistry Cycles*, v. 16, p. 1123, 2002.

SHENG Y., ZHU L. Biochar altera a comunidade microbiana e o potencial de sequestro de carbono em diferentes pH do solo. *Ciência do Meio Ambiente Total*, 622: 1391–1399, 2018.

SILVA, F. A.; RODRIGUES, L. A. O cultivo e a exploração do babaçu no Nordeste brasileiro: uma revisão. *Agropecuária Científica no Semiárido*, Mossoró, v. 7, n. 4, p. 75-82, 2011.

SILVA, M. A.; FILHO, E. G. Composição do fruto do babaçu e seu potencial de uso na indústria alimentícia. *Revista de Agroindústria*, v. 12, n. 2, p. 50-60, 2007.

SIRENE. Fator de emissão de CO<sub>2</sub> na geração de energia elétrica no Brasil em 2023 é o menor em 12 anos. Gov.br, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2024/02/fator-de-emissao-de-co2-na-geracao-de-energia-eletrica-no-brasil-em-2023-e-o-menor-em-12-anos#:~:text=O%20fator%20m%C3%A9dio%20anual%20em,C02%20a%20cada%20megawhatt%20Dho>. Acesso em: 12 maio. 2024.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA - SSSA. Biochar: A Guide to the Science and Technology. Disponível em: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/books/tocs/agronomymonogr/biocharaguide>. Acesso em: 20 jun. 2024.

SOUZA, L. C. *et al.* Resposta do biocarvão nos atributos e na emissão de gases do solo. *Tecnologia e Inovação na Agricultura: aplicação, produtividade e sustentabilidade em pesquisa*. Editora Científica Digital. 2023.

SPOKAS, K. A.; KOSKELLA, J. M.; BAKER, J. M. Biochar's impact on soil-moisture storage in an agricultural field. *Soil Science Society of America Journal*, v. 73, n. 6, p. 1631-1639, 2009.

SPOKAS, K. A.; REICOSKY, D. C. Impacts of sixteen different biochars on soil greenhouse gas production. *Annals of Environmental Science*, v. 3, p. 179-193, 2009.

STEINER, C. *et al.* 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, p. 275-290, 2007.

STEINER, C. *et al.* Microbial response to charcoal amendments of highly weathered soils and Amazonian Dark Earths in Central Amazonia – Preliminary results. *Amazonian Dark Earths: Explorations in Space and Time*, 2004.

TAMMEORG, P. *et al.* Short-term effects of biochar on soil properties and wheat yield formation with meat bone meal and inorganic fertilizer on a boreal loamy sand. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 191, p. 108-116, 2014.



TEIXEIRA, R. N. A.; COSTA, R. G. F. Distribuição geográfica e usos do babaçu (*Orbignya phalerata* Mart.) no Brasil. *Floresta e Ambiente, Seropédica*, v. 23, n. 3, p. 442-450, 2016.

TROMPOWSKY, P. M. *et al.* Characterization of humic like substances obtained by chemical oxidation of eucalyptus charcoal. *Organic Geochemistry*, v. 36, n. 11, p. 1480-1489, 2005.

UCHIMIYA, M. *et al.* Contaminant immobilization and nutrient release by biochar soil amendment: roles of natural organic matter. *Chemosphere*, v. 80, n. 8, p. 935-40, 2010

LOO, T. L. S.; KOPPEJAN, J. Biomass ash characteristics and behaviour in combustion systems. *UPDATE*, v. 4, n. 4, 2008.

WOOLF, D. *et al.* Biochar for climate change mitigation. *Soil and climate*, p. 219-248, 2018.

WOOLF, D. *et al.* Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communications*, v. 1, n. 5, p. 1-9, 2010.

WORLD ENERGY COUNCIL - WEC. *World Energy Resources 2019*. Londres: WEC, 2019. Disponível em: <https://www.worldenergy.org/publications/entry/world-energy-resources-2019>. Acesso em: 20 jun. 2024.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO. *WMO Statement on the State of the Global Climate in 2020*. Disponível em: <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate>. Acesso em: 20 jun. 2024.

XU, G. *et al.* Biochar had effects on phosphorus sorption and desorption in three soils with differing acidity. *Ecological engineering*, v. 62, p. 54-60, 2014.

XU, N.; TAN, G.; GAI, X. Effect of biochar additions to soil on nitrogen leaching, microbial biomass and bacterial community structure. *European Journal of Soil Biology*, v. 74, p. 1-8, 2016.

YAKUWA, K. M. Biocarvão, biomassa e composto do subproduto da indústria cítrica nos atributos químicos e biológicos do solo e no crescimento de alface. 2021. 63 f. Dissertação (Mestrado em agronomia) - Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2021.

YAN, T.; XEU, J.; ZHOU, Z.; WU, Y. Biochar-based fertilizer amendments improve the soil microbial community structure in a karst mountainous area. *Science of The Total Environment*, p. 148757, 2021.

ZHANG, M. *et al.* Biochar from sugarcane bagasse pyrolysis: influence of pyrolysis parameters and characterization. *Environmental Technology*, v. 37, n. 15, p. 1902-1910, 2016.