



C A P Í T U L O 9

ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO BIOCHAR COMO ALTERNATIVA DE MELHORAMENTO DO SOLO NA AGRICULTURA FAMILIAR: UMA REVISÃO

Elton Paulo Dobrovolski

Engenheiro Agrônomo. Docente no Instituto Federal do Paraná (IFPR) – Campus Ivaiporã. Mestrando do Programa de Pós-graduação em Agroecologia – Mestrado Profissional (PROFAGROEC), Universidade Estadual de Maringá (UEM).
<https://lattes.cnpq.br/4537263839150286>

Antonio Carlos Saraiva da Costa

Doutor em Agronomia. Professor do Programa de Pós-graduação em Agroecologia – Mestrado Profissional (PROFAGROEC), Universidade Estadual de Maringá (UEM).
<http://lattes.cnpq.br/7273258985517270>

RESUMO: Este artigo revisa o uso do biochar na agricultura familiar, destacando sua eficácia em melhorar a qualidade do solo e contribuir para o sequestro de carbono. Análises de estudos recentes mostram que o biochar melhora a retenção de nutrientes, a capacidade de armazenamento de água e a atividade microbológica do solo. A revisão também identifica lacunas no conhecimento e sugere futuras pesquisas sobre sua aplicação em diferentes condições edafoclimáticas. O biochar surge como uma solução sustentável para desafios ambientais, promovendo práticas agrícolas mais eficientes e ecológicas.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade do solo; Sequestro de carbono; Sustentabilidade agrícola.

CHEMICAL AND PHYSICAL ATTRIBUTES OF BIOCHAR AS A SOIL IMPROVEMENT ALTERNATIVE IN FAMILY FARMING: A REVIEW

ABSTRACT: This article reviews the use of biochar in small-scale farming, highlighting its effectiveness in improving soil quality and contributing to carbon sequestration. Analyses of recent studies show that biochar enhances nutrient retention, water storage capacity, and soil microbial activity. The review also identifies knowledge gaps and suggests future research on its application under different edaphoclimatic conditions. Biochar emerges as a sustainable solution to environmental challenges, promoting more efficient and eco-friendly agricultural practices.

KEYWORDS: Soil quality; Carbon sequestration, Agricultural sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A busca por práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes tem se intensificado diante dos crescentes desafios ambientais globais. Neste contexto, o biochar, um biocarvão, destaca-se como uma tecnologia promissora por sua capacidade de melhorar a qualidade do solo e contribuir significativamente para o sequestro de carbono (Spokas et al., 2014). Originando-se dos estudos sobre as terras pretas de índio na Amazônia, os solos enriquecidos com material carbonoso, derivado provavelmente da queima de materiais orgânicos em condições anóxicas, demonstram uma capacidade notável de retenção de nutrientes (Mangrich et al., 2011). A aplicação do biochar tem sido investigada mundialmente, com estudos em solos que possuem características similares às das terras pretas, destacando-se pesquisas nos Estados Unidos, Alemanha e Brasil.

No Brasil, o biochar é especialmente relevante para a agricultura familiar, servindo como uma estratégia eficaz para promover a sustentabilidade. Agricultores podem produzir biochar a partir de resíduos orgânicos disponíveis em suas propriedades e aplicá-lo ao solo, melhorando sua qualidade de maneira econômica e ecologicamente viável.

Muitos desafios ambientais interconectados são reconhecidos como cruciais para o desenvolvimento sustentável e a manutenção da população global. Entre eles estão a garantia de acesso a alimentos, água e energia, a mitigação das mudanças climáticas, a conservação da biodiversidade e a manutenção dos serviços ecossistêmicos, conforme apontado por Bouma e Mcbratney (2013). A Declaração da Cúpula Mundial sobre Segurança Alimentar também enfatiza a importância dessas questões:

[...] a segurança alimentar existe quando todas as pessoas têm, a qualquer momento, acesso físico, social e econômico a alimentos seguros, nutritivos e em quantidades suficientes, que atendam às suas necessidades e preferências alimentares por uma vida ativa e saudável (FAO, 2010).

Benazzi e Leite (2021) afirmam que solos saudáveis são fundamentais para a segurança alimentar e nutricional, bem como para a mitigação das mudanças climáticas. A ONU, reconhecendo a importância dos solos, dedicou o ano de 2015 ao Ano Internacional dos Solos, destacando seus serviços ecológicos, sociais e econômicos essenciais. A produção de alimentos nutritivos depende diretamente da saúde do solo, influenciando a disponibilidade, o acesso e a utilização de alimentos, além da estabilidade alimentar, essencial para enfrentar períodos de instabilidade ambiental, política ou econômica.

De acordo com o Anuário Estatístico da Agricultura Familiar (Santos, 2023), a agricultura familiar no Brasil desempenha um papel fundamental na economia agrária do país, ocupando 23% das áreas totais dedicadas à agropecuária e contribuindo

com 23% do valor bruto da produção agropecuária. Este setor engloba cerca de 3,9 milhões de estabelecimentos e é responsável por 67% das ocupações no campo, destacando sua importância não só na produção de alimentos, mas também na manutenção da força de trabalho rural. O anuário também sublinha que a distribuição e o uso da terra no Brasil são fortemente influenciados pela agricultura familiar, que utiliza práticas sustentáveis e multifuncionais para a gestão dos recursos naturais, contribuindo significativamente para a preservação ambiental e a sustentabilidade agrícola.

Este artigo de revisão tem como objetivo principal explorar o uso do biochar na agricultura familiar no Brasil, destacando sua eficácia em melhorar as propriedades físicas e químicas do solo e seu potencial para sequestrar carbono. A análise destaca como pequenas propriedades rurais podem beneficiar-se economicamente e ambientalmente pela produção e aplicação de biochar a partir de resíduos orgânicos disponíveis. O texto também identifica benefícios, desafios e lacunas de conhecimento, propondo direções para futuras pesquisas que visam aprimorar a integração do biochar nas práticas de desenvolvimento sustentável da agricultura familiar brasileira.

2 DESENVOLVIMENTO

Em um levantamento realizado por Sombra et al. (2020), uma análise do Catálogo de Teses e Dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) revelou que os potenciais usos do biochar têm impulsionado pesquisas em diversas áreas no Brasil, demonstrando um registro de 245 trabalhos mencionando o termo “biochar” entre 2010 e 2018, dos quais 71 são Teses de Doutorado e 169 são Dissertações de Mestrado. O crescente interesse pelo biochar também é evidente na análise da Web of Science (WOS), uma base de dados multidisciplinar que agrupa artigos publicados em prestigiados periódicos científicos globalmente, contendo 9.283 artigos indexados com o termo “biochar”, dos quais 5.435 mencionam simultaneamente “Biochar” e “Soil” em seus índices.

Inspirado pelas Terras Pretas de Índio das regiões amazônicas, o biochar, também conhecido como biocarvão, é um produto cujos estudos indicam uma concentração de carbono (C) de até 150 g kg^{-1} de solo, em contraste com os 20 a 30 g kg^{-1} detectados naturalmente em solos próximos (Mangrich et al., 2011). Glaser et al. (2002), observaram em cinco locais diferentes da Amazônia Central a presença de pelo menos 50 kg ha^{-1} de biochar até um metro de profundidade, sendo esses solos 70 vezes mais ricos em carbono que os solos adjacentes. Essas condições, também vislumbradas por Mangrich et al., trouxeram à tona que as áreas que continham esse material carbônico, demonstraram muitas qualidades físicas e químicas benéficas ao ecossistema local.

Para replicar as características únicas do antropossolo amazônico, descobriu-se que a queima de biomassa em condições de baixo oxigênio, conhecida como pirólise, poderia ser eficaz. Diferente da combustão convencional, que gera cinzas e consome apenas 2 a 3% do carbono da biomassa, a pirólise pode produzir biochar de forma eficiente, criando condições no solo que lembram aquelas encontradas na Amazônia. A pirólise é um processo de decomposição térmica que transforma a biomassa em carbono e outros compostos, como fenóis, carboidratos, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos. Este processo de decomposição térmica, que ocorre entre 400°C e 800°C, gera três produtos principais: biocarvão (sólido), bio-óleo (líquido) e gás combustível, contendo CO, CO₂, H₂, CH₄ e outros hidrocarbonetos, incluindo os policíclicos (Martins et al., 2018).

O biochar pode ser produzido por diversos métodos e a partir de várias fontes de biomassa, variando desde técnicas artesanais, como a produção de carvão em buracos abertos com o uso de pás, até processos utilizando fornos pirolisadores avançados. Em pequenas propriedades rurais, é fundamental considerar a implementação de facilitadores e o aproveitamento eficiente dos resíduos disponíveis na propriedade para a produção de biochar, o que, conforme Moré et al. (2019), pode-se classificar como "Economia Circular", um sistema que limita a produção aos níveis sustentáveis pela natureza, empregando ciclos ecossistêmicos, onde resíduos e biomateriais são reincorporados em ciclos renováveis, sustentando a biodiversidade e as bases das economias naturais.

Com o aumento da temperatura de pirólise, diferentes componentes do material se decompõem em faixas específicas: hemiceluloses entre 200°C e 260°C, celuloses entre 240°C e 350°C, e lignina entre 280°C e 500°C. Até 500°C, a pirólise primária ocorre com reações de craqueamento que degradam essas substâncias. Acima de 500°C, inicia-se a pirólise secundária, dominada por reações de polimerização, com perda significativa de oxigênio via CO e CO₂, além de aumento da condensação e aromatização do carbono (Repossi et al., 2022). Com a pirólise, o aproveitamento de carbono supera em mais de 50% o aproveitamento do material (Mangrich et al., 2011). Resíduos urbanos e agrícolas, como restos de podas de árvores, lodo de esgoto, restos de culturas, bagaços, palhas, ossos e esterco, entre outros, podem ser utilizados, embora cada fonte possua características inerentes à origem desses resíduos (Marcelino et al., 2020). Além disso, conforme constatado por Lehmann et al. (2011), o biochar é considerado um carbono recalcitrante e rico em macro e micronutrientes.

Diversos estudos têm demonstrado que o biochar pode alterar significativamente as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos. Lima et al. (2016) indicam que o biochar melhora a porosidade e a retenção de água nos solos, o que pode ser um adjuvante para a agricultura em regiões sujeitas a secas frequentes, principalmente

em pequenas propriedades rurais. Consequentemente, isso melhora a capacidade de troca catiônica (CTC) e atividade microbiana, aprimorando as características de produtividade, o que também foi descrito por Glaser et al. (2002), Lehmann (2007) e Lehmann e Joseph (2009). Estudos realizados no Brasil confirmam que o biochar, ao longo do tempo, pode enriquecer o solo com nutrientes como cálcio, fósforo, manganês, zinco e nitrogênio, além de elevar o pH em solos ácidos, o que faz parte da essencialidade para o crescimento das plantas (Lima et al., 2016).

Marcelino et al. (2020), em um trabalho de revisão, avaliaram dezenove outros estudos que examinaram como o biochar influencia a capacidade de retenção de água em solos, levando em conta diferentes condições experimentais e classes texturais, de modo que consideraram que em solos arenosos, quase todas as observações verificaram-se efeitos positivos do biochar na retenção de água, enquanto em solos argilosos, os efeitos foram geralmente neutros. Esses resultados positivos foram atribuídos à alta área superficial específica do biochar, resultante de sua estrutura porosa, que favorece a retenção de água no solo.

A alta porosidade do biochar, semelhante às frações de argilas que possuem cargas negativas, permite a eficiente adsorção de nutrientes e contribui significativamente para a CTC do solo, conforme destacado por Lehmann e Glaser (2003). De acordo com Munera-Echeverri et al. (2018), embora o biochar melhore a CTC devido a essas propriedades, a determinação precisa da CTC enfrenta desafios substanciais, uma vez que estas variações são atribuídas às diferenças nas propriedades superficiais do biochar, como sua composição química e estrutura porosa, que influenciam diretamente sua capacidade de interação com cátions. Além disso, os métodos de medição, incluindo a incapacidade de agentes em penetrar todos os microporos do biochar, podem resultar em superestimações da CTC. A natureza hidrofóbica do biochar e a sensibilidade da CTC ao pH também exigem ajustes meticulosos antes das medições. Tais observações sublinham a complexidade da caracterização da CTC em biochars e a necessidade de uma abordagem metodológica precisa para sua avaliação, destacando tanto o potencial quanto os cuidados necessários na aplicação do biochar para melhoria da fertilidade do solo.

Conforme revelado por Martins (2018), a adição de biochar ao solo demonstrou significativa influência na dinâmica do potássio, aumentando sua retenção e reduzindo a lixiviação para camadas mais profundas do solo. Esses resultados indicam não apenas uma melhoria na fertilidade do solo, mas também uma maior eficiência no uso de fertilizantes, especialmente em solos sujeitos a perdas rápidas de nutrientes por lixiviação, como é comum em solos arenosos. O estudo destacou que solos tratados com biochar apresentaram incrementos substanciais nos teores de potássio, o que sugere uma melhoria na capacidade do solo de suprir continuamente esse nutriente essencial para o crescimento vegetal.

Além disso, a pesquisa de Martins (2018), também apontou que o biochar pode desempenhar um papel crucial na estabilização de nutrientes no solo, oferecendo uma estratégia eficaz para a gestão sustentável de recursos em práticas agrícolas. Isso pode ser particularmente benéfico em regiões com solos pobres ou degradados, onde a manutenção da fertilidade do solo é um desafio constante.

Complementando essas observações, Morales et al. (2021) demonstrou que a dinâmica de sorção de fósforo no solo é significativamente influenciada pela presença de biochar que, ao ser adicionado ao solo, tende a modificar as reações de complexação do fósforo com metais como Al^{3+} (Alumínio), Fe^{3+} (Ferro) e Ca^{2+} (Cálcio), o que impacta diretamente as reações de sorção e desorção de fósforo. Especificamente, o biochar pode promover a desorção ou precipitação retardada de fósforo, alterando a cinética dessas reações. A sorção de moléculas orgânicas nas superfícies do biochar, reduzindo a formação de complexos de Al^{3+} , Fe^{3+} e Ca^{2+} no solo, intensifica a desorção de fósforo e possivelmente modifica suas cinéticas de liberação.

Ainda, no mesmo estudo de Morales et al. (2021), é possível aferir que em regiões tropicais, a característica dos solos de terem alta capacidade de fixação de fósforo frequentemente representa um desafio significativo para a agricultura. Esses solos tendem a fixar o fósforo adicionado como fertilizante, tornando-o indisponível para as plantas, o que pode levar a uma eficiência reduzida da fertilização e à necessidade de aplicações mais frequentes e em maiores quantidades. Com isso, o estudo demonstrou que com o uso de biochar ocorre uma modificação nas propriedades químicas do solo, reduzindo sua capacidade de fixar fósforo e aumentando a disponibilidade desse nutriente essencial.

Quanto às propriedades químicas do biochar no solo, de um modo geral, Sun et al. (2022), concluiu, mediante uma meta-análise, que a eficácia do biochar em melhorar as propriedades químicas do solo é complexa e influenciada por múltiplos fatores ambientais e de manejo. O estudo conclui que não apenas as taxas de aplicação de biochar e suas propriedades químicas são cruciais, mas também é fundamental considerar os fatores ambientais locais do solo, como o pH inicial e o teor de areia das amostras. Esses fatores devem ser cuidadosamente ajustados para otimizar os benefícios do biochar, sugerindo uma necessidade urgente de estudos agrícolas de longo prazo para melhor compreender o potencial do biochar em contextos agrícolas globais e melhorar as propriedades químicas do solo de maneira sustentável.

Em consonância ao que já foi observado por outros autores quanto a presença de diversos minerais, Nascimento et al. (2018), ao analisarem biocarvões produzidos a partir de casca de arroz e cama de aviário, revelou-se diferenças significativas nas concentrações de nutrientes. O biocarvão de casca de arroz, tratado a temperaturas de 400°C e 600°C, mostrou maior teor de carbono orgânico, alcançando até 62,59% e

62,5% respectivamente, ideal para a retenção de carbono no solo. Em contrapartida, o biocarvão de cama de aviário a 400°C destacou-se pela sua riqueza em micronutrientes como zinco (274 mg kg⁻¹), cobre (54 mg kg⁻¹), ferro (749 mg kg⁻¹) e manganês (398 mg kg⁻¹), sendo estes valores significativamente superiores aos observados nos biocarvões de casca de arroz, onde os teores de zinco e cobre foram de apenas 27 mg kg⁻¹ e 31 mg kg⁻¹ no biocarvão a 400°C.

Por fim, a International Biochar Initiative (IBI, 2019 *in*: Sombra et al., 2020) apresenta uma classificação do biochar com base em diversos critérios essenciais para sua aplicação agrícola e ambiental. Primeiramente, o valor de carbono armazenado nos biochars é determinado pela quantidade de CO estimada a permanecer no solo por no mínimo 100 anos, conhecida como BC₊₁₀₀, que se calcula utilizando os valores de CO e a relação H/CO, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Classificação do biochar pelo valor de C armazenado.

Classes	BC ₊₁₀₀
5	BC ₊₁₀₀ ≥ 600 kg ⁻¹
4	500 kg ⁻¹ ≤ BC ₊₁₀₀ < 600 kg ⁻¹
3	400 kg ⁻¹ ≤ BC ₊₁₀₀ < 500 kg ⁻¹
2	300 kg ⁻¹ ≤ BC ₊₁₀₀ < 400 kg ⁻¹
1	BC ₊₁₀₀ < 300 kg ⁻¹

Adaptado de *International Biochar Initiative* (IBI, 2019 *in*: Sombra et al., 2020).

Em segundo lugar (*Opus citatum*), a classificação do biochar quanto ao seu valor fertilizante baseia-se na disponibilidade de nutrientes essenciais como fósforo (P), potássio (K), enxofre (S) e magnésio (Mg), medidos em laboratório e suficientes para satisfazer as demandas nutricionais da cultura do milho (*Zea mays* (L.)) - parâmetro como pode ser visualizado na tabela 2. Nitrogênio (N) e cálcio (Ca) não são considerados devido às suas disponibilidades, geralmente baixa e alta, respectivamente.

Tabela 2. Classificação do biochar pelo valor fertilizante.

Classes	Disponibilidade ¹
4	Satisfatória em 4 nutrientes
3	Satisfatória em 3 nutrientes
2	Satisfatória em 2 nutrientes
1	Satisfatória em 1 nutriente
0	P ₂ O ₅ disponível < 1,0%; K ₂ O disponível < 0,55%, S disponível < 0,15%; MgO disponível < 0,35%

Adaptado de *International Biochar Initiative* (IBI, 2019 *in*: Sombra et al., 2020).

¹Classificado de acordo com as demandas para a cultura do milho (*Z. Mays*).

Por último (*Opus citatum*), os biochars contêm carbonatos, silicatos, fosfatos, sulfatos, cloretos e hidróxidos metálicos, cuja influência é estimada pelo equivalente do efeito de calagem que o carbonato de cálcio teria (%CaCO_{3-eq}), permitindo a classificação dos biochars em quatro classes distintas, descritas na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3. Classificação do biochar pelo valor de calagem.

Classes	%CaCO _{3-eq}
3	CaCO _{3-eq} ≥ 20%
2	10% ≤ CaCO _{3-eq} < 20%
1	1% ≤ CaCO _{3-eq} < 10%
0	CaCO _{3-eq} < 1%

Adaptado de *International Biochar Initiative* (IBI, 2019 in: Sombra et al., 2020).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo revisou o potencial do biochar como um agente transformador na agricultura sustentável, particularmente no contexto da agricultura familiar brasileira. A análise revelou que, através da aplicação do biochar, é possível obter melhorias significativas na qualidade do solo, incluindo aumento da retenção de nutrientes, melhoria da capacidade de retenção de água e enriquecimento da atividade microbiológica. Esses benefícios alinham-se diretamente com os desafios de sustentabilidade ambiental globalmente reconhecidos, como segurança alimentar, mitigação das mudanças climáticas e conservação dos serviços ecossistêmicos.

Os resultados discutidos confirmam que o biochar oferece uma solução eficaz e econômica para melhorar a fertilidade do solo e, conseqüentemente, a produtividade agrícola em pequenas propriedades. Além disso, a capacidade do biochar de sequestrar carbono contribui para os esforços de mitigação das mudanças climáticas, tornando-o uma estratégia de duplo propósito: melhoria da qualidade do solo e redução da pegada de carbono.

No entanto, apesar dos avanços significativos, diversas lacunas permanecem no conhecimento sobre a aplicação prática e a eficácia do biochar em diferentes contextos edafoclimáticos. A variação nas propriedades do biochar, dependendo da matéria-prima e do processo de produção, sugere a necessidade de normas e métodos de avaliação mais uniformizados para garantir sua eficácia e segurança em aplicações agrícolas.

Em conclusão, o biochar apresenta uma promissora fronteira na busca por práticas agrícolas mais sustentáveis e eficazes. Sua implementação estratégica, acompanhada de investigação científica rigorosa, pode significativamente contribuir para o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar no Brasil, atendendo simultaneamente aos desafios ambientais e sociais contemporâneos.

4 REFERÊNCIAS

BENAZZI, E.; LEITE, L. F. C. **Solo e o Complexo Desafio da Segurança Alimentar**. In: SOUZA, H. A. de et al. Solos Sustentáveis para a Agricultura no Nordeste. Brasília: Embrapa, 2021. p. 25-52.

BOUMA, J.; MCBRATNEY, A. **Farming soils as an actor when dealing with wicked environmental problems**. *Geoderma*, v. 200-201, p. 130-139, June 2013. DOI: 10.1016/j.geoderma.2013.02.011.

FAO. **The state of food insecurity in the world 2010: addressing food insecurity in protracted crisis**. Rome, 2010. 57 p. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i1683e.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2024.

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, p.219–230, 2002.

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

LEHMANN, J. **Bio-energy in the black**. *Frontiers in ecology and the environment*, v.5, p.381–387, 2007.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: an introduction**. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Ed). *Biochar for environmental management: science and technology*. London: Earthscan, 2009. p.01-09.

LIMA, S. L.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; TAMIOZZO, S.; PETTER, F. A.; MARIMON, B. S.; ABREU, M. F. **Biochar adicionado em Latossolo Vermelho beneficia o desenvolvimento de mudas de beterraba?** *Comunicata Scientiae*, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 97, 10 maio 2016. *Lepidus Tecnologia*. <http://dx.doi.org/10.14295/cs.v7i1.787>.

MANGRICH, A. S.; MAIA, C. M. B. F.; NOVOTNY, E. H. **Biocarvão: As terras pretas de índios e o sequestro de carbono**. *Ciência Hoje*, Rio de Janeiro, v. 47, n. 281, p. 48-52, maio 2011.

MARCELINO, I. P. et al. **Aspectos Gerais Do Uso Do Biochar Para Sustentabilidade Com Ênfase Aos Atributos Edáficos: a revisão**. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, [S.L.], v. 9, p. 301, 29 maio 2020. *Anima Educação*. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v9e02020301-319>.

MARTINS, C. C. **Biochar, composto orgânico e potássio nas características químicas e lixiviação de nutrientes em espodossolo e no cultivo de mucuna preta e moringa**. 2018. 126 f. Tese (Doutorado) - Curso de Produção Vegetal, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campo dos Goytacazes, 2018.

MORALES, M. M.; COMERFORD, N. B.; BEHLING, M.; ABREU, D. C.; GUERRINI, I. A. **Biochar Chemistry in a Weathered Tropical Soil: kinetics of phosphorus sorption**. Agriculture, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 295, 29 mar. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture11040295>.

MORÉ, F. B. et al. **A produção de biochar: um caminho para a circularidade**. In: ENGEMA - Encontro Internacional Sobre Gestão Empresarial E Meio Ambiente, 21., 2019, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: Engema, 2019. p. 1-12. Disponível em: <https://engemausp.submissao.com.br/21/anais/arquivos/247.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2024.

MUNERA-ECHEVERRI, J. L.; MARTINSEN, V.; STRAND, L. T.; ZIVANOVIC, V.; CORNELISSEN, G.; MULDER, J. **Cation exchange capacity of biochar: an urgent method modification**. Science Of The Total Environment, [S.L.], v. 642, p. 190-197, nov. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.017>.

NASCIMENTO, A. F. do et al. **Uso de biochar no processo de compostagem de resíduos rurais e urbanos – maximização da reciclagem de nutrientes na agricultura**. In: Encontro De Ciência E Tecnologias Agrossustentáveis E Da Vi Jornada Científica Da Embrapa Agrossilvipastoril, 6., 2018, Sinop. Resumos. Brasília: Embrapa, 2018. v. 1, p. 223-226.

REPOSSI, B. F. et al (org.). **Produção de Biocarvões Para Utilização Como Condicionadores do Solo**. Vitória: Edifes, 2022. 14 p. Comunicado Técnico Nº 16.

SANTOS, A. (Brasília). Contag (org.). **Anuário Estatístico da Agricultura Familiar de 2023**. 2. ed. Brasília: Contag, 2023. 212 p. Disponível em: <https://ww2.contag.org.br/documentos/pdf/17916-696048-anua%CC%81rio-agricultura-2023-web-revisado.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2024.

SOMBRA, K.es.; SILVA, E.F.; SILVA, Ts.; VASCONCELOS, A.A.; FERREIRA, E.A.; SANTOS, E.P.s.; FREITAS, D.F.; LAVÔR, W.K.B.; SANTO, A. Espírito; CUNHA, M.L. **BIOCHAR: resgate de uma importante ferramenta no manejo de solos**. Extensão Rural em Foco: Apoio à Agricultura Familiar, Empreendedorismo e Inovação - Volume 1, [S.L.], p. 136-145, 2020. Editora Científica Digital. <http://dx.doi.org/10.37885/200600383>.

SPOKAS, K. A.; NOVAK, J. M.; MASIELLO, C. A.; JOHNSON, M. G.; COLOSKY, E. C.; IPPOLITO, J. A.; TRIGO, C. **Physical Disintegration of Biochar: an overlooked process.** *Environmental Science & Technology Letters*, [S.L.], v. 1, n. 8, p. 326-332, 15 jul. 2014. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/ez500199t>.

SUN, Z.; HU, Y.; SHI, L.; LI, G.; PANG, Z.; LIU, S.; CHEN, Y.; JIA, B. **Effects of biochar on soil chemical properties: a global meta-analysis of agricultural soil.** *Plant, Soil And Environment*, [S.L.], v. 68, n. 6, p. 272-289, 15 jun. 2022. Czech Academy of Agricultural Sciences. <http://dx.doi.org/10.17221/522/2021-pse>.