

UNIGUAÇU – UNIÃO DE ENSINO SUPERIOR DO IGUAÇU LTDA.

FACULDADE UNIGUAÇU

ENGENHARIA AGRONÔMICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

DIANA SELZLER GONÇALVES

**BIOCHAR DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS COMO
CONDICIONADOR DE SOLOS TROPICAIS: UMA REVISÃO
INTEGRATIVA**

SÃO MIGUEL DO IGUAÇU - PR

2025

DIANA SELZLER GONÇALVES

**BIOCHAR DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS COMO
CONDICIONADOR DE SOLOS TROPICAIS: UMA REVISÃO
INTEGRATIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do
curso Superior de Engenharia Agronômica da
Faculdade UNIGUAÇU, sob orientação da Prof.^a
LISIANE SOBUCKI

SÃO MIGUEL DO IGUAÇU - PR

2025



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

TERMO DE APROVAÇÃO

DIANA SELZLER GONÇALVES

BIOCHAR DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS COMO CONDICIONADOR DE SOLOS TROPICAIS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Agrônômica apresentado, sob a orientação da professora Lisiane Sobucki, aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel no curso de Engenharia Agrônômica da Faculdade UNIGUAÇU, pela seguinte banca examinadora:

Professora Orientadora Dra. Lisiane Sobucki
Faculdade UNIGUAÇU

Professora Dra. Graciela Maiara Dalastra
Faculdade UNIGUAÇU

Professor Dr. Pablo Wenderson Ribeiro Coutinho
Faculdade UNIGUAÇU

SÃO MIGUEL DO IGUAÇU, 22 DE SETEMBRO DE 2025.

A folha devidamente assinada está sob guarda do sistema de protocolo.

DEDICATÓRIA

A Deus, pelo dom gratuito da vida.

*Aos meus pais, Marcia e Rivelino e minha avó Delci,
pela minha formação pessoal, pelo apoio e incentivo.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de toda sabedoria, e a Nossa Senhora Aparecida, por seu amparo e proteção, que me deram força e coragem para continuar aprendendo e evoluindo.

A minha família, em especial minha mãe Marcia Selzler, que me ensinou valores e despertou em mim, pelo dom da leitura, amor pelo conhecimento; ao meu pai Rivelino Gonçalves, pelo exemplo da importância de se qualificar e continuar aprendendo; a minha vó Delci Selzler, que me acolheu e me apoiou, multiplicou, dividiu e somou para me ajudar, e pudesse seguir nessa jornada; às minhas irmãs, Sara e Michele Selzler, que sempre estiveram por perto, me ajudando e torcendo por mim em cada etapa; a minha tia Marci (*in memoriam*), cujo carinho e incentivo sempre me acompanharam. Tia eu consegui!

Ao Dr. André Martins Barbosa, que sempre acreditou que poderíamos ir além. Aprender sempre e evoluir eternamente. Serei sempre grata pelo impacto que teve na minha vida.

Aos amigos e colegas que marcaram minha jornada: Alice Strieder, que me incentivou a seguir a agronomia; Carina Meert, minha dupla e companheira de todas as horas, apoio constante dentro e fora da sala; Lucas Piltz, pelo gesto de me levar de moto embaixo de chuva para a matrícula; e a todos os demais que, de forma especial, contribuíram para minha formação.

Ao setor de Agricultura da prefeitura de Itaipulândia e a todos os colegas, que tornam o ambiente de trabalho agradável e onde aprendo todos os dias.

À Faculdade Uniguaçu, pela oportunidade de realização do curso de graduação; à minha orientadora, Lisiane Sobucki, por aceitar a orientação e me ajudar a enxergar o caminho mesmo quando parecia difícil; à banca examinadora, Graciela Maiara Dalastra e Pablo Wenderson Ribeiro Coutinho, pelo tempo, dedicação e sugestões neste trabalho; ao Maiko Santos, do setor comercial, pela ajuda e generosidade que tornou possível o início dessa jornada; e a todos os colaboradores que mantêm a instituição limpa e organizada, pois o cuidado de vocês também fez parte da minha caminhada.

EPÍGRAFE

*“Nascer, morrer, renascer ainda e
progredir sempre. Tal é a Lei.”*

(Allan Kardec)

RESUMO

O biochar produzido a partir de resíduos agropecuários vem ganhando destaque como uma estratégia para melhorar a sustentabilidade dos solos tropicais. Esta revisão integrativa analisou artigos brasileiros publicados até 2024, considerando os autores, instituições, tipos de resíduos utilizados, metodologias aplicadas e efeitos observados sobre o solo e as culturas agrícolas. Os estudos sobre biochar no Brasil começaram em 2010, mas foi a partir de 2019 que se observou um aumento significativo nas publicações, concentradas principalmente em instituições do Sudeste, como a USP, e em periódicos de alto impacto, como *Journal of Environmental Management* e *Science of the Total Environment*. Entre os autores mais recorrentes estão Figueiredo, Melo, Hammecker e Lima, vinculados a instituições como UnB, UFLA, IRD e UFAPE, indicando a existência de grupos de pesquisa consolidados. Os resíduos mais utilizados na produção de biochar foram madeira de eucalipto, palha de arroz, cana-de-açúcar e lodo de esgoto, refletindo tanto o aproveitamento de subprodutos agrícolas abundantes quanto o interesse em transformar resíduos urbanos e industriais em insumos úteis. Os experimentos concentraram-se majoritariamente em Latossolos e Argissolos, com enfoque nos efeitos químicos do biochar sobre o solo, enquanto análises biológicas foram menos frequentes. Os estudos publicados em 2024 mostraram, em sua maioria, resultados positivos, incluindo aumento da fertilidade, melhor retenção de água, estímulo à atividade biológica e incremento na produtividade agrícola, sem registros de impactos negativos. Apesar desses avanços, os dados evidenciam a necessidade de diversificar os tipos de resíduos utilizados, ampliar o estudo em diferentes tipos de solo e realizar experimentos de longo prazo, capazes de oferecer informações mais robustas sobre os efeitos do biochar ao longo do tempo. A revisão mostra que a pesquisa brasileira já conta com uma base sólida, mas ainda há oportunidades para expandir o conhecimento, considerando as particularidades regionais do país, como a diversidade de solos e biomas, e as cadeias produtivas específicas de cada região.

Palavras-chave: fertilidade do solo; manejo de resíduos; sequestro de carbono; impactos ambientais; sustentabilidade.

ABSTRACT

Biochar produced from agricultural waste has been gaining prominence as a strategy to improve the sustainability of tropical soils. This integrative review analyzed Brazilian articles published through 2024, considering the authors, institutions, types of waste used, methodologies applied, and observed effects on soil and agricultural crops. Studies on biochar in Brazil began in 2010, but it was not until 2019 that a significant increase in publications was observed, concentrated primarily in institutions in the Southeast, such as USP, and in high-impact journals such as the *Journal of Environmental Management* and *Science of the Total Environment*. Among the most frequent authors are Figueiredo, Melo, Hammecker, and Lima, affiliated with institutions such as UnB, UFLA, IRD, and UFAPE, indicating the existence of established research groups. The most commonly used waste materials in biochar production were eucalyptus wood, rice straw, sugarcane, and sewage sludge, reflecting both the use of abundant agricultural byproducts and the interest in transforming urban and industrial waste into useful inputs. Experiments focused primarily on Oxisols and Ultisols, focusing on the chemical effects of biochar on the soil, while biological analyses were less frequent. Studies published in 2024 showed mostly positive results, including increased fertility, improved water retention, stimulated biological activity, and increased agricultural productivity, with no recorded negative impacts. Despite these advances, the data highlight the need to diversify the types of waste used, expand the study to different soil types, and conduct long-term experiments capable of providing more robust information on the effects of biochar over time. The review shows that Brazilian research already has a solid foundation, but there are still opportunities to expand knowledge, considering the country's regional particularities, such as the diversity of soils and biomes, and the specific production chains of each region.

Key word: soil fertility; waste management; carbon sequestration; environmental impacts; sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Produção científica no Brasil por ano.....	19
Figura 2 - Instituições que produzem dados sobre biochar	21
Figura 3- Número de publicação por autor sobre biochar.....	22
Figura 4- Relação de periódicos que receberam publicações sobre biochar no Brasil.....	23
Figura 5- Número de publicações sobre biochar por estado brasileiro em 2024.....	24
Figura 6- Propriedades estudadas sobre biochar em relação ao solo no Brasil em 2024.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Metodologias de produção do biochar no Brasil em 2024	25
Tabela 2- Trabalhos analisados sobre biochar no Brasil em 2024.....	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 JUSTIFICATIVA	12
3 OBJETIVOS.....	14
3.1 Objetivo Geral	14
3.2 Objetivos Específicos.....	14
4 REVISÃO DE LITERATURA	15
4.1 Origem, conceito e características do biochar	15
4.2 FORMAS DE PRODUÇÃO DO BIOCHAR	16
4.3 FONTE DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS PARA A PRODUÇÃO DE BIOCHAR.....	17
4.4 EFEITOS DO BIOCHAR NOS ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS, BIOLÓGICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE CULTURAS	18
5 MATERIAL E MÉTODOS	20
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
8 CONCLUSÃO.....	32
REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por sistemas agrícolas mais sustentáveis tem impulsionado a busca por estratégias que conciliem produtividade e conservação dos recursos naturais. No Brasil, práticas agrícolas inadequadas e a grande geração de resíduos agropecuários contribuem para a degradação do solo e para impactos ambientais significativos (BONETTI; FINK, 2020); Lima, 2024b). Nesse contexto, torna-se fundamental identificar alternativas que permitam o reaproveitamento desses resíduos.

Uma das soluções que tem ganhado destaque é o biochar, um material carbonizado obtido geralmente por pirólise lenta de biomassa vegetal ou resíduos orgânicos em condições de pouco ou nenhum oxigênio (Alkharabsheh *et al.*, 2021). O uso do biochar como condicionador de solo tem sido associado à melhora de propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, como aumento da capacidade de troca catiônica, elevação do pH em solos ácidos, maior retenção de água e estímulo à microbiota benéfica (Melo, Silva, 2021; Oliveira *et al.*, 2020). Além disso, o biochar atua na redução dos impactos ambientais gerados pelos resíduos agropecuários e contribui para o sequestro de carbono, alinhando-se aos objetivos de práticas agrícolas mais sustentáveis (Silva *et al.*, 2024a; Dias Barbosa *et al.*, 2025).

No Brasil, diferentes tipos de resíduos são utilizados na produção de biochar, como madeira de eucalipto, palha de cana-de-açúcar, palha de arroz e subprodutos agroindustriais (Novais *et al.*, 2007).

Embora as pesquisas sobre o biochar tenham avançado, o número de estudos que avaliam o contexto nacional ainda é reduzido.

Diante desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo analisar a produção científica sobre biochar em solos brasileiros, identificando padrões de pesquisa, características da aplicação do biochar.

2 JUSTIFICATIVA

A degradação do solo e o manejo inadequado dos resíduos agropecuários são problemas frequentes em várias regiões do país (BONETTI; FINK, 2020). O Paraná, sendo o maior produtor e exportador de carne de frango do Brasil, gera uma grande quantidade desses resíduos agroindustriais (IBGE, 2024). Considerando essa realidade, observou-se a importância de analisar a destinação desses resíduos e sobre as possibilidades de melhor aproveitamento. Durante a pesquisa, identificou-se no biochar um campo com grande potencial de estudo e aplicação.

O uso do biochar como condicionador de solo tem ganhado destaque, principalmente por oferecer uma solução mais sustentável para a agricultura (Gabetto *et al.*, 2025). Mesmo com muitos estudos experimentais sobre o biochar, ainda não existe um levantamento sistemático e atualizado que reúna as pesquisas feitas no Brasil, mostrando os padrões da produção científica, os resíduos mais usados, os métodos aplicados e as principais lacunas nos estudos. Isso dificulta as futuras pesquisas e o uso dos recursos disponíveis na aplicação prática na agricultura.

Quando usado de maneira adequada, o biochar pode trazer benefícios tanto para pequenos agricultores quanto para grandes produtores (Melo, 2021). Ele contribui para a conservação do solo (Duarte *et al.*, 2025), aumenta a produtividade de culturas (Ferreira *et al.*, 2024) e ajuda a reduzir os impactos ambientais gerados pelos resíduos agropecuários (Dias Barbosa *et al.*, 2025). Esses efeitos estão diretamente ligados a alguns dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas. São eles: práticas agrícolas mais produtivas e sustentáveis, em especial o ODS 2 (fome Zero e agricultura sustentável), o ODS 12 (consumo e produção responsáveis) e o ODS 15 (preservação dos ecossistemas terrestres) (ONU, 2015). Além disso, o biochar atua no sequestro de carbono e na mitigação das mudanças climáticas (Silva *et al.*, 2024a), ao mesmo tempo em que transforma resíduos agropecuários em recursos úteis para o manejo sustentável do solo (Santos, 2025).

Nesse contexto, destaca-se também o Plano Nacional de Fertilizantes (PNF), lançado em 2022, que tem como objetivo reduzir a dependência brasileira de insumos importados. O plano prevê, até 2050, o incentivo ao uso de alternativas sustentáveis, como bioinsumos, remineralizadores e condicionadores de solo (MAPA, 2022). Entre

essas alternativas, o biochar se destaca por transformar resíduos agropecuários em insumo agrícola.

Por esses motivos, realizar este trabalho é importante para organizar e analisar o que já foi estudado sobre biochar no Brasil.

3 OBJETIVO

3.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a produção científica brasileira sobre o uso de biochar de resíduos agropecuários no solo, identificando características, tendências e lacunas na literatura.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar um panorama geral sobre o estudo do biochar no Brasil.
Verificar a frequência de publicação de trabalhos sobre o biochar;
Mapear as instituições brasileiras que mais publicaram sobre biochar em 2024;
Identificar os principais periódicos científicos utilizados por pesquisadores brasileiros para a publicação de estudos sobre o tema;
Identificar os principais autores nos artigos selecionados.

Conduzir uma análise detalhada da produção científica sobre biochar publicada no ano de 2024.
Mapear os estados que mais publicaram sobre biochar;
Descrever os resíduos agropecuários mais utilizados na produção de biochar nos estudos analisados;
Descrever as metodologias predominantes usadas na produção e aplicação do biochar;
Identificar os tipos de solo mencionados nos artigos que tratam do uso do biochar como condicionador de solo;
Identificar as propriedades do solo, como propriedades químicas, físicas, biológicas, crescimento da planta e produtividade;
Analisar os principais efeitos e conclusões relatados sobre o uso do biochar nos estudos selecionados.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 ORIGEM, CONCEITO E CARACTERÍSTICAS DO BIOCHAR

A origem do biochar se relaciona com às “terras pretas de índio” (TPIs) da Amazônia, conhecidas por sua fertilidade muito acima dos solos naturais da região. Nessas áreas, comunidades indígenas incorporavam carvão vegetal, restos de alimentos, fezes e cinzas ao solo, formando um material rico em carbono estável. A queima desses resíduos ocorria em condições de pouco oxigênio e temperatura relativamente baixa, o que impedia a formação apenas de cinzas, resultando em um carvão resistente à decomposição e capaz de melhorar a qualidade do solo por longos períodos. Essa formação não era intencionalmente planejada para melhorar a fertilidade do solo, mas acabou criando um material rico em carbono estável (Teixeira *et al.*, 2009).

O termo “biochar” surgiu bem mais tarde, em 2005, criado por Peter Read, na Nova Zelândia, para designar a biomassa carbonizada usada com o propósito de melhorar a fertilidade do solo (Novotny *et al.*, 2015). Segundo esses autores, o biochar é obtido pela decomposição térmica de materiais orgânicos sob oxigênio limitado ou ausente. A diversidade de materiais e as variações nas condições de pirólise, como temperatura, tempo e taxa de aquecimento, influenciam diretamente as propriedades finais do biochar (Souza *et al.*, 2024).

Quando aplicado ao solo, o biochar apresenta diversos benefícios. Esse atua no sequestro de carbono (Iqbalum *et al.*, 2024), com partículas que podem permanecer estáveis por centenas ou até milhares de anos (Teixeira *et al.*, 2009). Sua estrutura porosa favorece a colonização por microrganismos benéficos (Silva *et al.*, 2021) e estimula processos como a liberação lenta de nutrientes e a fixação biológica de nitrogênio (Lima *et al.*, 2021).

Entre as principais características do biochar, destacam-se estabilidade química (Lima *et al.*, 2024a), a grande área superficial (Viana *et al.*, 2024), a alta porosidade (Lucon *et al.*, 2024) e a capacidade de alterar o pH do solo (Marques; Vaz; Rodrigues, 2024), muitas vezes reduzindo a acidez. O estudo das TPIs serviu de base para o interesse de hoje pelo biochar, mostrando que a incorporação de carbono estável ao solo pode transformar solos degradados em áreas produtivas.

4.2 FORMAS DE PRODUÇÃO DO BIOCHAR

O biochar pode ser obtido por diferentes técnicas de pirólise, escolhidas de acordo com a disponibilidade de recursos, a escala de produção e a finalidade de uso. De forma geral, a pirólise corresponde à decomposição térmica da biomassa em ambiente com pouco ou nenhum oxigênio. Esse processo gera três frações: carvão sólido (biochar), líquidos pirolenhosos e gases combustíveis (Soares *et al.*, 2024). A literatura destaca que, as condições de produção afetam diretamente a estabilidade do carbono e definem propriedades químicas e físicas fundamentais para o uso agrícola, como área superficial, porosidade, teor de cinzas e capacidade de retenção de nutrientes (Viana *et al.*, 2024).

Os métodos de produção do biochar variam em função da escala. Em pequena escala, um dos métodos mais comuns é a utilização de fornos de tambor ou estruturas de alvenaria adaptadas, que se destacam pelo baixo custo. Nesse caso, a biomassa é disposta dentro do tambor e aquecida até queimar lentamente, liberando vapores e resultando no biochar (Ferreira *et al.*, 2024). Embora acessível, essa técnica pode apresentar limitações, especialmente no controle da temperatura e na eficiência de conversão. Já em contextos experimentais ou industriais, predominam os reatores pirolíticos controlados, como muflas e reatores em batelada, que permitem ajustes precisos de temperatura, tempo de residência e atmosfera do processo (Porto *et al.*, 2024).

A temperatura de pirólise, em especial, é o fator de maior impacto. Estudos mostram que, em faixas mais baixas (entre 300 a 400°C), o biochar conserva maior quantidade de matéria orgânica lábil, favorecendo a disponibilidade de nutrientes, mas com menor estabilidade estrutural (Zafeer *et al.*, 2023). Já temperaturas intermediárias (entre 450 a 550°C) oferecem um equilíbrio entre persistência do carbono, sendo recomendadas para solos tropicais (Marcilla *et al.*, 2013). Em temperaturas acima de 600°C, o material torna-se altamente carbonizado, com maior área superficial e condutividade elétrica, mas reduzido teor de nutrientes disponíveis, o que direciona seu uso para aplicações de remediação ou sequestro de carbono de longo prazo (Maschio *et al.*, 1992).

Dessa forma, a definição do método e das condições de produção não depende apenas da infraestrutura disponível, mas também do objetivo de utilização do biochar, seja como condicionador de solos, para uso energético ou em processos industriais.

4.3 FONTE DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS PARA A PRODUÇÃO DE BIOCHAR

A escolha da matéria-prima influencia diretamente as propriedades químicas, físicas e biológicas do biochar (Silva, 2017). Pesquisas recentes têm explorado resíduos agropecuários, aproveitando subprodutos que seriam descartados e, ao mesmo tempo, reduzindo impactos ambientais (Lemos; Souza; Costa, 2025). Silva *et al.* (2024b) destacam que palha de arroz, bagaço de cana, casca de café e cama de frango são exemplos de resíduos usados com frequência, fornecendo carbono estável e nutrientes ao solo.

Materiais ricos em lignina, como palha de arroz e restos de madeira, geram biochars mais estáveis e resistentes à decomposição (Marques; Vaz; Rodrigues, 2024). Já resíduos com maior teor de proteínas ou cinzas, como a cama de frango, fornecem mais nutrientes minerais, como nitrogênio, fósforo e potássio, embora possam resultar em biochars com menor estabilidade de carbono (Lima *et al.*, 2024a).

O comportamento do biochar durante a pirólise também é influenciado pelo tipo de resíduo. Materiais densos e fibrosos exigem temperaturas mais elevadas ou maior tempo de carbonização, enquanto resíduos mais leves ou úmidos demandam ajustes específicos para evitar perda de carbono ou excesso de cinzas (Viana *et al.*, 2024). De acordo com Porto *et al.* (2024), a mistura de diferentes resíduos pode ser utilizada para ajustar as propriedades do biochar, tornando-o mais adequado a diferentes condições de solo e cultura.

A diversidade de resíduos disponíveis para produção de biochar, principalmente no Brasil, que possui uma riqueza em subprodutos agrícolas e resíduos agroindustriais, reforça o interesse pelo seu estudo. Avaliar não apenas a disponibilidade, mas também as características dos materiais e sua interação com o solo é aspecto fundamental para sua adequada utilização (Pires *et al.*, 2025).

4.4 EFEITOS DO BIOCHAR NOS ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS, BIOLÓGICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE CULTURAS

No aspecto físico, a aplicação do biochar ajuda a aumentar a porosidade do solo e a capacidade de reter água, criando um ambiente mais favorável para o crescimento das raízes (Alves *et al.*, 2024). Lucon *et al.* (2024) observaram que solos do tipo Latossolo, quando aditivados com biochar de madeira, apresentaram menor densidade aparente e maior retenção hídrica, facilitando a manutenção da umidade em períodos mais secos.

Do ponto de vista químico, o biochar contribui para estabilizar o solo e aumentar sua fertilidade. Os biochars produzidos a partir de palha de arroz, bagaço de cana e cama de frango apresentam alta capacidade de troca catiônica, melhoram a retenção de nutrientes e ajudam a neutralizar a acidez, principalmente em solos tropicais (Lima *et al.*, 2024b). Viana *et al.* (2024) mostraram que biochars de palha de cana-de-açúcar, produzidos com controle de temperatura, aumentam a disponibilidade de diversos elementos minerais, incluindo bário. Embora o bário não seja um nutriente essencial, o estudo mostrou que sua presença pode influenciar a química do solo e a disponibilidade de outros nutrientes, demonstrando como a escolha da matéria-prima e do processo produtivo impacta diretamente as propriedades químicas do solo.

Há também, efeitos no componente biológico do solo. Silva *et al.* (2021) relataram que a estrutura porosa do biochar cria microambientes ideais para a colonização de bactérias e fungos benéficos, estimulando a liberação lenta de nutrientes e a fixação de nitrogênio. Em solos salinos ou degradados, Iqbal *et al.* (2024) observaram aumento da diversidade microbiana e da atividade enzimática, promovendo uma ciclagem de nutrientes mais eficiente e contribuindo para a recuperação da saúde do solo.

Esses impactos combinados se refletem diretamente na produtividade das culturas. Lima *et al.* (2024b) mostraram que a aplicação de biochar em capim-elefante aumentou significativamente a biomassa, associada à maior disponibilidade de nutrientes e à retenção de água. De maneira consistente, Lima *et al.* (2024a), em uma meta-análise sobre biochar de cama de frango, encontraram aumento de produtividade em diferentes culturas tropicais. Assim, o biochar não funciona apenas como condicionador físico e químico, mas também como um impulsionador biológico, integrando benefícios que impactam a produção agrícola.

É importante ressaltar que, os efeitos do biochar dependem de fatores como a matéria-prima utilizada, as condições de pirólise, a dose aplicada e o tipo de solo. (Marques; Vaz; Rodrigues, 2024) destacam que a combinação de diferentes resíduos agropecuários pode ajustar as propriedades do biochar, tornando-o mais adequado a diversas condições de cultivo.

5 MATERIAL E MÉTODOS

Uma revisão integrativa da literatura sobre a aplicação de biochar em solos brasileiros. A busca foi realizada na base de dados Web of Science (WOS). Foram utilizados os descritores: “biochar”, “solo”, em inglês, combinados pelo operador biochar “NEAR/6” soil (biochar NEAR/6 soil (Topic)), que permite localizar artigos em que os dois termos aparecem nos tópicos de título, resumo, palavras-chave definidas pelo autor ou palavras-chave adicionadas pelo WOS com até seis palavras de distância.

Inicialmente, utilizou-se o filtro país para selecionar apenas trabalhos produzidos no Brasil, resultando em artigos. Em seguida, utilizou-se o filtro tipo de documento, para selecionar apenas artigos, descartando capítulos de livro e livros, por exemplo, o que resultou em 302 artigos. Por fim, foi aplicado o filtro de ano de publicação, limitando a busca a 2024, o que resultou em 42 artigos selecionados para análise. Dos 42 artigos, 37 puderam ser avaliados, pois os demais não estavam disponíveis. Essa pesquisa foi realizada no dia 31 de julho de 2025.

Para a organização das informações, foram construídas duas planilhas de análise. A primeira planilha corresponde ao conjunto de dados de todos os trabalhos publicados sobre o tema no Brasil. Já a segunda se refere aos trabalhos produzidos no Brasil apenas em 2024.

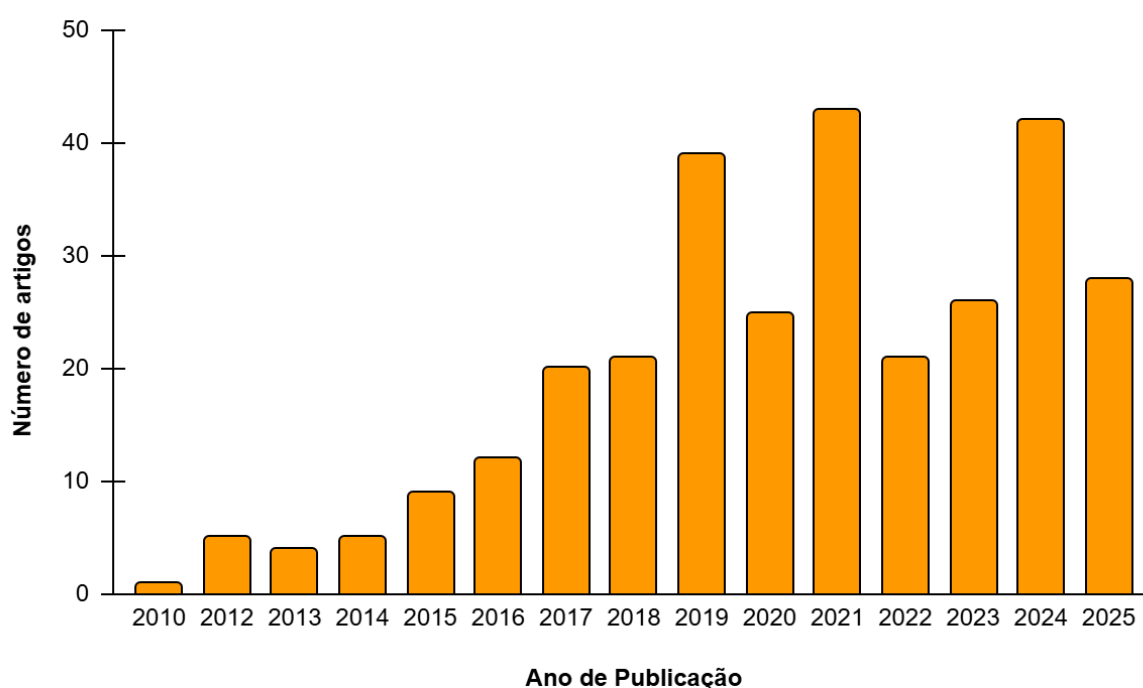
No primeiro conjunto de dados, foram levantadas informações referentes ao número de publicações por ano, aos principais autores e instituições responsáveis pela produção sobre o tema, bem como às revistas utilizadas para a divulgação dos artigos.

No segundo conjunto de dados, foram compiladas informações referentes ao estado brasileiro onde a pesquisa foi realizada, tipo de resíduo utilizado como matéria-prima para a produção do biochar, método de obtenção do biochar, classificação taxonômica do solo (quando disponível), objetivo da pesquisa, propriedades avaliadas (físicas, químicas, biológicas, ecotoxicológicas e de produtividade de culturas) e principais conclusões acerca dos efeitos observados, tanto positivos quanto negativos. Os dados foram organizados em planilhas e apresentados sob a forma de gráficos e tabelas.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa sobre biochar no Brasil é recente, sendo que os primeiros trabalhos foram publicados em 2010. Ao analisar todos os trabalhos já publicados, observou-se que entre 2010 e 2016, o número de estudos era pequeno, com menos de 12 artigos por ano. A partir de 2017, contudo, observou-se um incremento significativo nas publicações, superando 40 artigos em 2019, 2021 e 2024 (Figura 1).

Figura 1: Biochar no Brasil: número de publicações por ano até 2025.



Fonte: Autora, 2025.

O incremento das pesquisas sobre biochar no Brasil pode estar associado a políticas e programas governamentais voltados à sustentabilidade e à mitigação das mudanças climáticas, entre os quais se destacam o Acordo de Paris, o Programa ABC, o Programa Carbono + Verde, a Lei do Programa de Aceleração da Transição Energética e o Plano Nacional de Fertilizantes. O Acordo de Paris, assinado em 2015, consolidou a urgência em desenvolver estratégias de mitigação das mudanças climáticas, estimulando pesquisas voltadas para o sequestro de carbono e práticas agrícolas sustentáveis (Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, 2025).

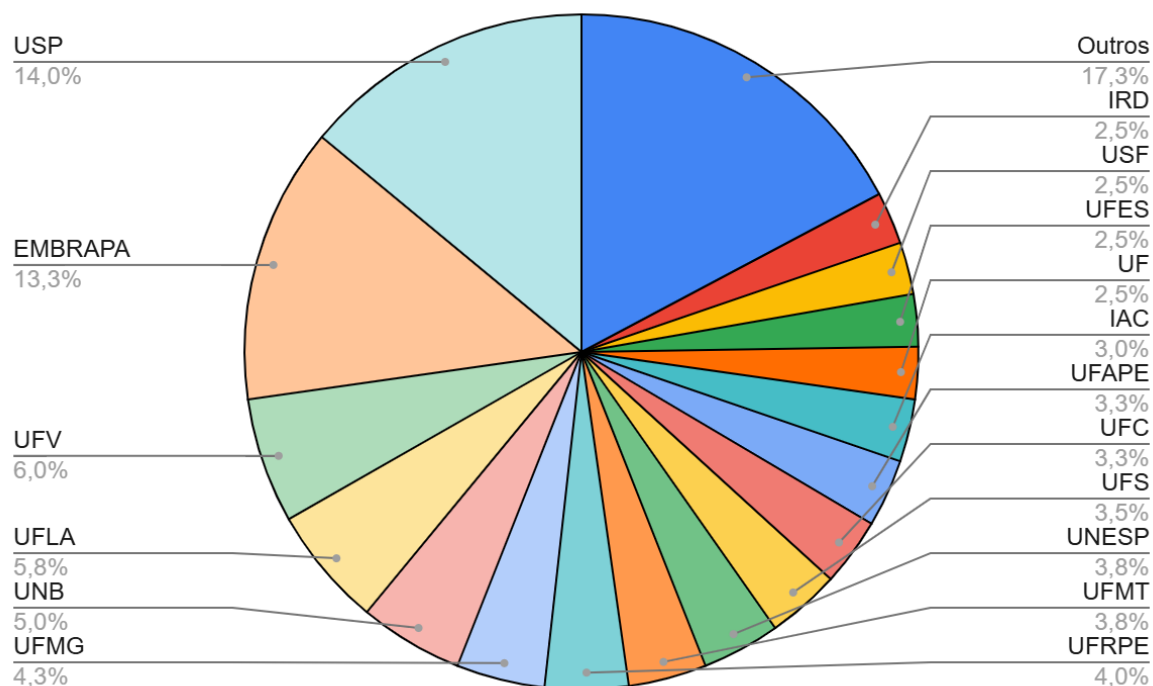
Paralelamente, o Programa ABC, por exemplo, foi criado em 2010, dentro da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC, Lei nº 12.187/2009) e financia

práticas sustentáveis como plantio direto, recuperação de áreas e integração lavoura-pecuária-floresta (Brasil, 2003). Também é importante destacar o Programa Carbono + Verde, criado em 2023 pelo Ministério da Agricultura. Esse busca certificar as cadeias primárias da agropecuária, ou seja, atividades ligadas diretamente à produção no campo, como bovinocultura de corte e leite, aves, suínos, grãos, cana-de-açúcar, café e florestas plantadas. O objetivo é incentivar práticas de baixo carbono, valorizando os produtores que adotam técnicas sustentáveis e ajudando a reduzir as emissões de gases de efeito estufa (Brasil, Ministério da Agricultura, 2023).

Além disso, a Lei 15.103/2025, também estimula tecnologias de baixa emissão no agronegócio, com apoio do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). O objetivo do BNDES é financiar projetos de investimento de empresas, governos e entidades que contribuam para o desenvolvimento do país. No sentido dos programas de baixo carbono, esse pode fornecer linhas de crédito e apoio a tecnologias que contribuam para práticas mais sustentáveis na agropecuária (Brasil, 2025). Já o Plano Nacional de Fertilizantes, criado em 2022, é uma estratégia do governo brasileiro criada para diminuir a dependência do país em relação aos fertilizantes importados. É uma ideia que irá incentivar ao uso de alternativas sustentáveis, como bioinsumos, remineralizadores e condicionadores de solo (MAPA, 2022).

Com relação às instituições que produzem dados sobre biochar, observa-se que a produção científica está concentrada em universidades federais e centros consolidados (Figura 2). A USP (Universidade de São Paulo) e a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) lideram com 56 e 53 publicações, respectivamente, seguidas por instituições tradicionais em ciências agrárias, como UFLA (Universidade Federal de Lavras), UFV (Universidade Federal de Viçosa) e UnB (Universidade de Brasília). Outras universidades distribuídas por diferentes regiões do país, como a UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais), a UFRPE (Universidade Federal Rural de Pernambuco), a UFMT (Universidade Federal de Mato Grosso) e a UNESP (Universidade Estadual Paulista), mostram a expansão do tema para diferentes regiões.

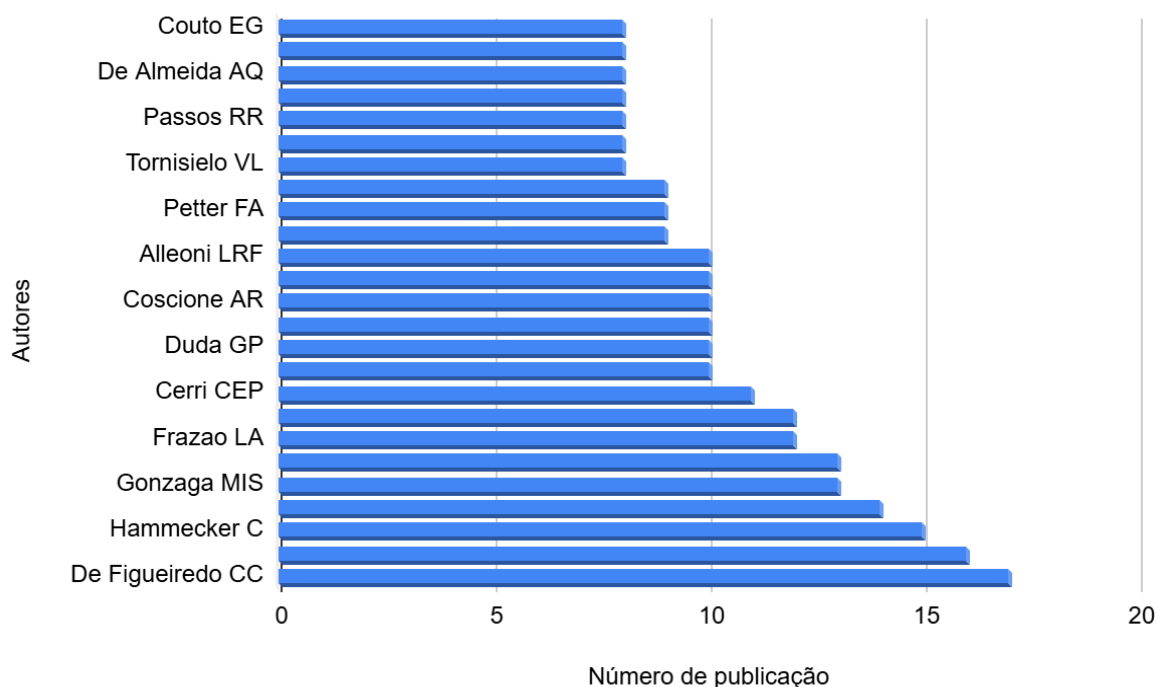
Figura 2: Instituições que produzem dados sobre biochar no Brasil.



Fonte: Autora, 2025.

Quando se observa a rede de autores (Figura 3), tem-se destaque para nomes como De Figueiredo, Melo, Hammecker e Lima, que lideram as publicações no país. Esses autores são filiados à UnB, UFLA, Institut de Recherche pour le Developpement (IRD) e Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE), respectivamente.

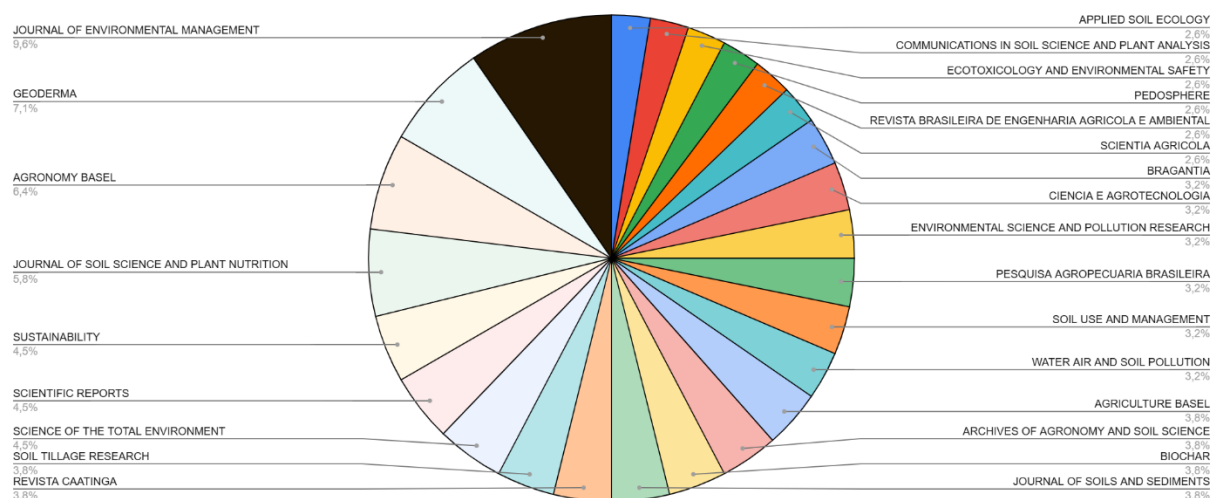
Figura 3: Número de publicação por autor sobre o biochar.



Fonte: Autora, 2025.

Ao analisar os periódicos que receberam publicações brasileiras sobre biochar, nota-se que são revistas de alto impacto, como Journal of Environmental Management (Qualis A1 2023, JCR 2024: 8,4), Geoderma (Qualis A1 2023, JCR 2024: 6,6) e Agronomy Basel (Qualis A2 2023, JCR 2024: 3,4), ao lado de periódicos brasileiros tradicionais como Bragantia (Qualis A3 2023, JCR 2024: 1,5) e Pesquisa Agropecuária Brasileira (Qualis A4 2023, sem JCR). Outro aspecto interessante é a distribuição equilibrada entre periódicos especializados em ciência do solo, como Soil and Tillage Research (Sem Qualis, JCR 2024: 6,8) e Soil Use and Management (Qualis B1 2023, JCR 2024: 3,7), e revistas de caráter mais amplo, a exemplo de Scientific Reports (Qualis A1 2023, JCR 2024: 3,9) e Science of the Total Environment (Qualis A1 2023, JCR 2024: 8,0) (Figura 4).

Figura 4: Relação de periódicos que receberam publicações brasileiras sobre biochar.

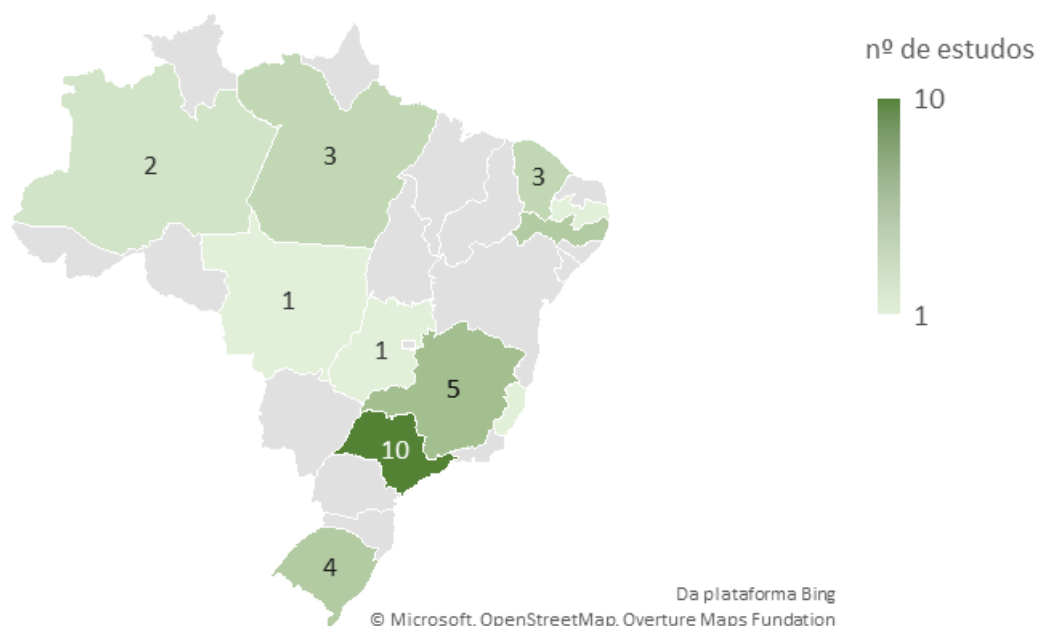


Fonte: Autora, 2025.

O levantamento realizado indica que as pesquisas sobre biochar vêm crescendo de forma constante, mostrando que o tema tem se tornado cada vez mais relevante para a sustentabilidade agrícola e ambiental. A participação de diversas instituições, a presença em periódicos de alto impacto e a inclusão do biochar em programas e políticas públicas evidenciam sua importância prática no manejo do solo e na mitigação das mudanças climáticas.

Os trabalhos publicados em 2024 foram examinados de forma aprofundada, com o objetivo de identificar tendências emergentes nas pesquisas. Na análise por estados (Figura 5), São Paulo aparece em destaque, com 10 artigos, que refletem a presença de grandes universidades, como a USP, a Unesp e o Instituto Agronômico de Campinas. Em seguida, Minas Gerais e Rio Grande do Sul, com 5 e 4 artigos, respectivamente, devido ao histórico de instituições como a UFLA, a UFV e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), vinculadas às ciências agrárias. No Nordeste, estados como Pernambuco e Ceará mostram a expansão das pesquisas, especialmente pela atuação da Universidade Federal Rural de Pernambuco e de universidades do Agreste, pelo crescente debate sobre sustentabilidade no Semiárido. Já o Pará e o Amazonas reforçam a importância de estudar o biochar em biomas tropicais como a Amazônia.

Figura 5: Número de publicações sobre biochar por estado brasileiro em 2024.



Fonte: Autora, 2025.

A diversidade de resíduos utilizados nos experimentos em 2024 reflete a diversidade agrícola brasileira. Entre os materiais mais utilizados, destacam-se a madeira de eucalipto (14%), a palha de arroz (10%), a palha de cana-de-açúcar (10%), lodo de esgoto (10%) e bagaço de cana-de-açúcar (6%). A escolha desses insumos evidencia, por um lado, a valorização de resíduos amplamente disponíveis em cadeias agrícolas consolidadas e, por outro, o interesse em integrar resíduos urbanos e industriais como alternativas viáveis de aproveitamento. O destaque do eucalipto se deve à disponibilidade e à alta estabilidade de carbono do material, que favorece usos de longo prazo (Mota, 2020). Já a cana-de-açúcar, tanto a palha quanto o bagaço, unem o biochar à agroindústria sucroenergética (Zafeer *et al.*, 2023).

Os resíduos menos convencionais, como sementes de açaí, casca de café, bagaço de caju e fibra de coco, revelam a inserção do biochar em cadeias produtivas regionais, principalmente no Norte e no Nordeste, onde há um desafio do manejo de resíduos agroindustriais (Sato *et al.*, 2019). Além disso, resíduos de origem animal, como esterco suíno, bovino e cama de frango, aparecem em menor número de estudos.

De modo geral, a análise revela que os estudos se concentram onde estão sediados os principais grupos de pesquisa. Por exemplo, São Paulo concentra grande

parte dos programas de pós-graduação e laboratórios voltados para a área de solos e aproveitamento de resíduos.

Quanto às metodologias de produção do biochar, a pirólise (97,4%) predomina como método mais utilizado, com grande variação de temperaturas de 300 a 750°C e tempos de 30 minutos a 48 horas, dependendo do resíduo e do objetivo do estudo (Tabela 1). Resíduos lenhosos, como madeira de eucalipto, exigem temperaturas mais altas e tempos prolongados (Mota, 2020), enquanto resíduos mais úmidos ou orgânicos, como lodo de esgoto, podem ser processados a temperaturas mais baixas, às vezes em co-pirólise (Barbosa *et al.*, 2024). Os equipamentos também variam, desde fornos mufla até reatores de leito fluidizado, mostrando que cada pesquisa adapta a técnica ao que tem disponível e ao tipo de resíduo. Essa diferença nos métodos indica que ainda não há um padrão único para produzir biochar no Brasil, mas também mostra como a técnica é flexível e pode ser ajustada para diferentes objetivos e propriedades do produto final.

Tabela 1: Metodologias de produção do biochar no Brasil em 2024.

Referência	Resíduo	Equipamento	Metodologia	Temperatura(°C)	Tempo (Minutos)
1	Bagaço De Caju	-	Pirólise	500	190
2	Lodo De Esgoto	-	Copirólise	10	190
3	Palha De Arroz E Resíduo Da Soja	Forno Mufla	Pirólise	450	60
4	Palha De Cana De Açúcar	Reator Selado Duplo	Pirólise	550	60
5	Madeira Eucalipto	-	Pirólise	500	-
6	Palha De Cana De Açúcar	Forno Duplo De Tambor	Pirólise	-	120
7	Madeira Eucalipto	-	Pirólise	400	-
8	Cana De Açúcar E Casca De Algodão	-	Pirólise	400	-
9	Resíduo De Árvores	-	Pirólise	500	300

10	Casca De Café	Mufla Elétrica	Pirólise	500	50
11	Madeira Eucalipto	-	Pirólise	350	2880
12	Semente De Açaí	Tambor Cilíndrico De Ferro	Pirólise	400	720
13	Capim-Limão	Reator Tipo Auger	Pirólise	450	90
14	Casca De Eucalipto	-	Pirólise	600	60
15	Esterco Suíno, Cama De Frango, Esterco Bovino, Palha De Arroz, Palha De Soja, Palha De Milho	Forno Tipo Mufla	Pirólise	450	45
16	Palha De Cana De Açúcar	Reator De Leito Fluidizado	Pirólise	450	-
17	Cama De Frango, Fibra De Coco, Palha De Arroz.	Tambor Duplo	Pirólise	492,5	-
18	Bagaço De Cana De Açúcar	Forno Tipo Mufla	Pirólise	500	-
19	Semente De Açaí	Forno Tipo Mufla	Pirólise	400	-
20	Bagaço De Caju	Forno Tubular	Pirólise	550	90
21	Esterco De Galinha, Torta De Leguminosa	-	Pirólise	300	30
22	Palha De Cana De Açúcar	Reator Selado	Pirólise	750	150
23	Palha De Cana De Açúcar	Reator Selado Duplo	Pirólise	750	150
24	Madeira Eucalipto	Forno Tipo Mufla	Pirólise	450	250
25	Casca De Arroz	Forno Tipo Mufla	Pirólise	700	70
26	Bambu	Forno Tipo Mufla	Pirólise	500	50
27	Lodo De Esgoto	-	Pirólise	300	-

28	Lodo De Esgoto	-	Pirólise	500	-
29	Esterco Bovino	Reator De Pirólise	Pirólise	450	120
30	Resíduos Sólidos Urbanos	-	Pirólise	300	55
31	Resíduos Sólidos Urbanos	-	Pirólise	500	66
32	Resíduos Sólidos Urbanos	-	Pirólise	700	96
33	Lodo De Esgoto	Reator De Pirólise	Pirólise	500	300
34	Sementes, Polpa E Restos Da Casca De Açaí.	-	Pirólise	600	60
35	Cana De Açúcar	-	Pirólise	300	60
36	Sementes De Açaí	Forno Tipo Mufla	Pirólise	600	60
37	Casca De Arroz	-	Pirólise	400	-
38	Palha De Café, Cama De Frango, Casca De Eucalipto	Reator Metálico	Pirólise	400	60
39	Casca De Café	Reator Metálico	Pirólise	530	720

Fonte: Autora, 2025

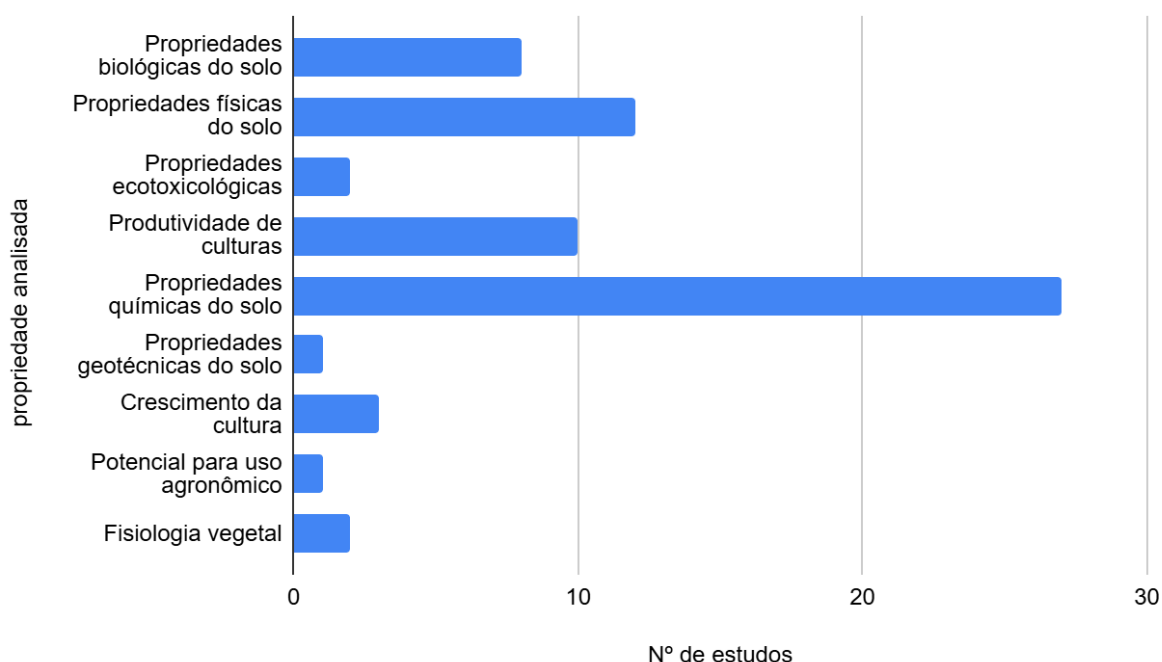
Sobre os tipos de solo, Latossolos (26%) e Argissolos (24%) dominam os estudos, por representarem grande parte do território brasileiro (Santos *et al.*, 2018) e apresentarem uma baixa fertilidade, especialmente no Sudeste e Centro-Oeste. Os menos representados nos estudos são Cambissolos, Nitossolos, Neossolos e Planossolos, que aparecem apenas um estudo cada. Isso indica a necessidade de expandir os estudos para diferentes condições edáficas, já que, devido às suas características, cada solo pode apresentar diferentes efeitos com a aplicação do biochar. Alguns trabalhos não informaram o tipo de solo analisado (33%), e 7% dos artigos não estavam disponíveis para leitura.

Em relação às propriedades analisadas, há ênfase maior sobre os efeitos químicos do solo, seguidos dos efeitos físicos e da produtividade das culturas. Em

relação as propriedades químicas, os estudos mostraram que a aplicação de biochar aumentos do teor de fósforo em 66,4% (Lima *et al.*, 2024b), elevação da capacidade de troca catiônica em 10% (Rech Bisi *et al.*, 2024) e acréscimos de K e Ca de aproximadamente 6% e 2%, respectivamente, dependendo da matéria-prima e da dose aplicada.

Propriedades biológicas aparecem em 8 estudos, e aspectos como crescimento da planta, fisiologia vegetal ou ecotoxicologia são menos frequentes. Isso sugere que, embora haja grande interesse na fertilidade do solo, campos como a biologia ainda são pouco explorados (Figura 6).

Figura 6: Propriedades estudadas sobre o biochar em relação ao solo no Brasil em 2024.



Fonte: Autora, 2025.

As propriedades biológicas do solo apresentam maior sensibilidade a alterações ambientais quando comparadas às propriedades químicas e físicas (Sobucki *et al.*, 2021). Dessa forma, mudanças nas condições do solo podem ser detectadas mais precocemente por meio da análise de variáveis biológicas. Observa-se um aumento progressivo na inclusão desses indicadores em estudos de solos (Simon *et al.*, 2021), tendência que também deve se consolidar nas pesquisas envolvendo biochar.

Os efeitos relatados na literatura estudada foram a maioria positivos. A análise apontou que 27 estudos apresentaram melhorias na fertilidade, retenção de água, atividade biológica e produtividade, e 10 mostraram efeitos mistos. Nenhum estudo reportou efeitos negativos, o que sugere que, sob as condições avaliadas, a aplicação de biochar não compromete negativamente a qualidade do solo nem a produtividade das culturas. Essa tendência confirma o potencial do biochar como condicionador, mas também reforça que os resultados dependem do solo, do resíduo e das condições de produção.

8 CONCLUSÃO

Os estudos sobre biochar no Brasil começaram em 2010, mas foi a partir de 2019 que se observou um avanço importante nas publicações. A maior parte dos trabalhos vem de instituições do Sudeste, com destaque para a USP, e aparece em revistas de alto impacto, como *Journal of Environmental Management* e *Science of the Total Environment*. Entre os autores mais recorrentes estão Figueiredo, Melo, Hammecker e Lima, vinculados a instituições como UnB, UFLA, IRD e UFAPE, respectivamente. Isso mostra que já existem grupos de pesquisa consolidados e articulados em torno do tema.

Em relação aos conteúdos analisados, destacam-se resíduos como madeira de eucalipto, palha de arroz, cana-de-açúcar e lodo de esgoto. Os Latossolos e Argissolos concentram a maior parte dos experimentos, geralmente com ênfase nos efeitos químicos do biochar sobre o solo, enquanto as análises biológicas são menos frequentes. Os estudos publicados em 2024, mostraram resultados em sua maioria positivos, com melhorias em fertilidade, retenção de água, atividade biológica e produtividade agrícola, sem registros de resultados negativos. Esses estudos mostram o potencial do biochar como condicionador de solo. No entanto, ainda é necessário diversificar os materiais usados na produção, testar mais tipos de solo e realizar experimentos de longo prazo para entender melhor seus efeitos ao longo do tempo.

Tabela 2: Trabalhos analisados sobre biochar no Brasil em 2024.

Referência	Título	Autores	DOI
1	Potencial de biochar para a restauração da biomassa microbiana e atividade enzimática em solo semiárido altamente degradado	Francisco LA Barbosa, João MR Santos, Jaedson CA Mota, Mirian CG Costa, Ademir SF Araujo, Kaio GVGarcia, Murilo S.Almeida, Ícaro V. Nascimento, Erika V. Medeiros, Odair P. Ferreira, Antonio G. Souza Filho, Laís G. Fregolente, Helon HF Sousa, Wardsson L. Borges & Arthur Prudêncio de Araújo Pereira.	10.1038/s41598-024-77368-9
2	Efeitos de curto prazo do biochar na viscoelasticidade da microestrutura, resistência ao cisalhamento e resiliência de um solo intemperizado	Amanda Romeiro Alves; Dörthe Holthusen; Qamar Sarfaraz; Leandro Souza da Silva; José Miguel Reichert.	10.1007/s42729-024-01791-0
3	Qual a quantidade de biochar segura? Explorando o potencial ecotoxicológico consequências para os invertebrados e plantas do solo.	Matheus Bortolanza Soares, Vanessa Borges da Costa, Allan Pretti Ogura , David Silva Alexandre, Thandy Júnio da Silva Pinto, Evaldo Luiz Gaeta Espíndola e Luís Reynaldo Ferracciú Alleoni	10.1016/j.apsoil.2024.105552
4	Aplicação de biochar e fosfato em solo contaminado com cádmio: uma estratégia para reduzir a transferência de cádmio para plantas de arroz	Antônio Leite Florentino, Cristiano Dela Piccolla, Izaias Pinheiro Lisboa, Renata Mota Lupp, Takashi Muraoka e Paulo Sérgio Pavinato	10.1007/s42729-024-01893-9
5	Biochar melhora as interações do solo e o desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar	Osania Emerenciano Ferreira, Halax Duarte Martins Silva, Adriana Barboza Alves, Mariana Guerra de Aguiar, Lúcia Pinheiro Santos Pimenta, Gustavo Henrique Gravatim Costa, Mara Cristina Pessoa da Cruz, Augusto César da Silva Bezerra & Alan Rodrigues Teixeira Machado	10.1038/s41598-024-78706-7
6	Atributos hidrofísicos e químicos do solo em ferralsol aditivado com biochar de madeira	Isabella Menuzzo Lucon, Ruan Carnier, Aline Renée Coscione,	10.1590/1678-4499.20230299

		Cristiano Alberto de Andrade, Wellington da Silva Guimarães Júnnyor, Isabella Clerici De Maria	
7	Retenção de água em solos arenosos de diferentes origens com adição de biochar	Gilmar N. Torres, Ricardo SS Amorim, Luis A. Di L. Di Raimo, Ohana CO Faria, Eduardo G. Couto	10.1590/1983-21252024v3711792rc
8	Efeitos do biochar na fertilidade do solo e na morfometria e produção de cultivares de capim-elefante	Laiane B. Pacheco, Roriz L. Machado, Frederico AL Soares, Pedro SF da Silva, Kassia C. de C. Rabelo, Ângelo A. de Lima	10.1590/1983-21252024v3711786rc
9	Caracterização de misturas de Argissolo Vermelho distroférico com biochar de resíduos de poda urbana em duas proporções diferentes	Jéssica Pelinsom Marques, Carlos Manoel Pedro Vaz, Valéria Guimarães Silvestre Rodrigues	10.1007/s11368-024-03928-1
10	Impacto da adição de biochar e KNO ₃ foliar na fisiologia, crescimento e parâmetros biométricos da raiz do tomateiro cultivado sob diferentes regimes hídricos	Manoel Nelson de Castro Filho, Leonidas Carrijo Azevedo Melo, Esio de Castro Paes, Jose Ferreira Lustosa Filho, Rolando Ismael Corella Caballero, Jessica Lino Gomes, Carlos Nick Gomes	10.1016/j.scienta.2024.113186
11	Biochar altera a atividade microbiológica do solo em canaviais ao longo do tempo	Erika Manuela Gonçalves Lopes, Mauro Franco Castro Mota, José Mendes dos Santos Júnior, Matheus Mendes Reis, Leidivan Almeida Frazão, Luiz Arnaldo Fernandes	10.1590/1678-992X-2023-0289
12	Biochar de semente de açaí melhora a qualidade do solo e o desenvolvimento de mudas de pimenta-do-reino na região amazônica	Moisés de Souza Mendonça, Wanderley José de Melo, Gabriel Maurício Peruca de Melo, Liandra Maria Abaker Bertipaglia, Ademir Sérgio Ferreira Araújo, Iolanda Maria Soares Reis e Sandra Mara Barbosa Rocha, Thiago Assis Rodrigues Nogueira, Cássio Hamilton Abreu-Júnior, Arun Dilipkumar Jani	10.1016/j.jenvman.2024.121752
13	Biochar de <i>Cymbopogon citratus</i> como agente fertilizante e remediador para solos com alto teor de cobre	Vanessa Susana Rech Bisi, Wendel Paulo Silvestre, Marcos Henrique Tramontin, Elaine Damiani Conte,	10.57647/ijrowa-zetg-p321

		Marcelo Godinho, Gabriel Fernandes Pauletti	
14	Emissão de CO ₂ em solo cultivado com eucalipto com aplicação de biochar	Chansislayne Gabriela da Silva, Renato Ribeiro Passos, Danilo Andrade Santos, Eduardo de Sá Mendonça, Lorena Contarini Machado	10.1590/1983-40632024v5480082
15	Fertilizantes fosfatados à base de biocarvão de sementes de açaí para melhorar a fertilidade do solo e mitigar os impactos relacionados ao arsênio dos rejeitos da mineração de ouro: síntese, caracterização e avaliação do crescimento da alface	Qamar Sarfaraz, Gerson Laerson Drescher, Mohsin Zafar, Muhammad Nadeem Shah, Fengliang Zhao, Subhan dinamarquês, Abd El-Zaher MA Mustafa, Mohamed S. Elshikh eLeandro Souza da Silva	10.1038/s41598-024-55430-w
16	Explorando o potencial do biochar de palha de cana-de-açúcar: Insights sobre emissões de N ₂ O e genes funcionais microbianos	Fernanda Palmeira Gabetto, Sarah Tenelli, Júlia Barra Netto-Ferreira, Leandro Carolino Gonzaga, Maria Andresa Santos Isidório, João Luís Nunes Carvalho	10.1016/j.biombioe.2024.107070
17	Biochar e solo salino: estratégia de mitigação por meio da incapacitação das ameaças ecológicas às terras agrícolas	Babar Iqbalum,b, Ismail Khanum, Shazma Anwarc, Arshad Jalald, Mohammad K. Oklae, Naveed Ahmad, Ibrahim A. Alaraidhe, Muhammad Tariqum, Hamada Abd Elgawadg, Guanlin Lium,b, e Daolin Du	10.1080/15226514.2024.2310001
18	Adsorção de fósforo após incubação do Argissolo com diferentes doses de biocarvões	Andrezza Maia de Lima, Lucia Helena Garófalo Chaves, Josely Dantas Fernandes, Antonio Fernandes Monteiro Filho, Élica Barbosa Corrêa, Maria do Socorro Bezerra Duarte, Gustavo Tomio Magalhães Kubo	10.1590/1413-7054202448016724
19	Melhorando a adsorção de herbicidas em solos de baixa fertilidade usando biochar de cana-de-açúcar: insights da dinâmica do Imazapic	Jéssica Rafaelly Almeida Lopes, Zabele Laís Lyra Mendonça, João Paulo Siqueira da Silva, Ademir Amaral, André Maciel Netto,	10.1016/j.jconhyd.2024.104412
20	Fertilizantes fosfatados à base de biocarvão de sementes de açaí para melhorar a fertilidade do solo e mitigar os impactos relacionados ao arsênio	Yan Nunes Dias, Wendel Valter da Silveira Pereira, Cecílio Frois Caldeira, Sílvia	10.3390/min14070732

	dos rejeitos da mineração de ouro: síntese, caracterização e avaliação do crescimento da alface	Júnio Ramos, Edna Santos de Souza, Paula Godinho Ribeiro e Antônio Rodrigues Fernandes.	
21	Biochar e esterco de galinha melhoram as propriedades químicas do solo e o estado nutricional de mudas de pau-rosa cultivadas em solo argiloso	João Cleber Cavalcante-Ferreira, Ana Beatriz Pereira-dos Santos, Rubia Pereira-Ribeiro, Heitor Marcel da Silva-Ribeiro, Rafaelle Batista Aoki, Danielle Monteiro-de Oliveira, Newton Paulo de Souza-Falcão	10.4067/s0717-92002024000200295
22	Biochar de resíduo de caju aumenta a adsorção de silício e reduz a coesão e a resistência mecânica em escalas meso e microestruturais de solo com caráter coesivo	Ícaro Vasconcelos do Nascimento, Emanuela Barbosa dos Santos, Angélica da Silva Lopes, Alexandre dos Santos Queiroz, Crisanto Dias Teixeira Filho, Ricardo Espíndola Romero, Mirian Cristina Gomes Costa, Odair Pastor Ferreira, Antônio Gomes Souza Filho, Laís Gomes Fregolente, Francisca Gleiciane da Silva, Arthur Prudêncio de Araújo Pereira, Helon Héban de Freitas Sousa, Viviane Sobucki, José Miguel Reichert e Jaedson Cláudio Anunciato Mota	10.1016/j.still.2024.106101
23	Compostos de Biochar-Nitrogênio: Síntese, Propriedades e Uso como Fertilizante para Milho	Caio Pereira Mota, Carlos Alberto Silva	10.3390/appliedchem4020011
24	Revitalizando fertilidade dos solos globais: Meta-análise sobre benefícios do biochar de cama de frango na saúde do solo	Avete V. Lima, Diogo P. da Costa, Lucas R. Simões, Jamilly A. de Barros, Vanilson P. da Silva, José R. de S. Lima, Claude Hammecker, Erika V. de Medeiros	10.1590/1807-1929/agriambi.v28n12e278204
25	Condições redox e temperatura de pirólise do biochar afetando os ciclos biogeoquímicos de As e Pb e a comunidade bacteriana do sedimento de rejeitos de mineração	Matheus Bortolanza Soares, Alexandre Pedrinho, José Roberto Ferreira, Lucas William Mendes, Marina Colzato, Luís Reynaldo Ferracciú Alleoni	10.1016/j.jhazmat.2024.134303
26	Biochar de palha de cana-de-açúcar: efeitos da temperatura de pirólise na	Douglas G. Viana, Matheus B. Soares,	10.1007/s42773-024-00371-w

	dissolução de barita e disponibilidade de Ba em condições de inundação	Luís Reynaldo F. Alleoni, Fernando B. Egreja Filho, Owen W. Duckworth, Jussara Borges Regitano	
27	Biochar obtido de eucalipto, casca de arroz e bambu nativo como alternativa para diminuir a mobilidade de hexazinona, metribuzina e quinclorac em solo tropical	Maria Alice Formiga Porto, Kassio Ferreira Mendes, Valdemar Luiz Tornisielo, Marcela Guiotoku, Matheus de Freitas Souza, Hamurábi Anizio Lins, Daniel Valadão Silva	10.1007/s10661-024-12589-z
28	Pellets de biochar como condicionador de solo no crescimento de Urochloa brizantha BRS Paiaguás	José Mendes dos Santos Junior, Fernando Colen, Rodinei Facco Pegoraro, Reges Heinrichs, Leidivan Almeida Frazão, Regynaldo Arruda Sampaio, Luiz Arnaldo Fernandes	10.5935/1806-6690.20240044
29	Efeitos do biochar em solo contaminado por metais e metaloides provenientes da disposição de escória de um antigo passivo ambiental no Vale do Ribeira, Brasil	Jacqueline Zanin Lima, Valéria Guimarães Silvestre Rodrigues	10.1016/j.jenvman.2024.123782
30	Ácido oxálico aumenta a liberação de fósforo do lodo de esgoto Biochar: Um mecanismo fundamental para fertilizantes à base de biochar	Marcela Granato Barbosa dos Santos, Camila Rodrigues Costa, Gilberto de Oliveira Mendes, Andressa Blasi Paiva, Ludmila Soares Peixoto, Jéssica da Luz Costa, Giuliano Marchi, Éder de Souza Martins, Cícero Célio de Figueiredo	10.3390/agriculture14091607
31	Caracterização de biochar produzido em forno móvel artesanal a partir de biomassa residual de pequeno porte para benefícios agronômicos e de mudanças climáticas	Vinicius John, Ana Rita de Oliveira Braga, Criscian Kellen Amaro de Oliveira Danielli, Heiriane Martins Sousa, Filipe Eduardo Danielli, Rayanne Oliveira de Araújo, Cláudia Saramago de Carvalho Marques-dos-Santos, Newton Paulo de Souza Falcão, João Francisco Charrua Guerra	10.3390/agronomy14081861
32	Efeito do biochar na produtividade do pomar de coco verde anão e na produtividade da água de irrigação	John Jackie Gonçalves Oliveira, Rubens Sonsol Gondim, Raimundo Nonato Távora Costa,	10.1080/00103624.2024.2359573

		Janderson Pedro da Silva	
33	Efeito da temperatura de pirólise na produção de biochar e biometanol a partir do bagaço de cana-de-açúcar	Pedro Gabriel Almeida Souza, Jaqueline do Carmo Lima Carvalho, Lorrana Zélia Martins de Souza, Evaneide Nascimento Lima, Mariana Guerra de Aguiar, Robson Pereira Lima, Osânia Emerenciano Ferreira, Lúcia Pinheiro Santos Pimenta & Alan Rodrigues Teixeira Machado	10.1007/s12155-024-10733-8
34	Biochar melhora o crescimento e a fisiologia de <i>Swietenia macrophylla</i> king em solo contaminado por cobre	Rafael Leone da Cruz Ferreira, Dayse Gonzaga Braga, Vitor Resende do Nascimento, Camilly Barbosa da Silva, Anne Cristina Barbosa Alves, Joyce Adriany da Costa Cabral, Flávio José Rodrigues Cruz, Ana Ecídia de Araújo Brito, Glauco André dos Santos Nogueira, Luma Castro de Souza, Eniel David Cruz & Cândido Ferreira Oliveira Neto	10.1038/s41598-024-74356-x
35	Avaliação dos efeitos do biochar, lodo de esgoto e fertilização mineral nas características do solo e na produtividade do milho	Gabriel Henrique Máximo Clarindo Silva, William Ramos Silva, Diogo Henrique de Sá Veloso Ximenes, Clarissa Buarque Vieira, Edivan Rodrigues de Souza, Clístenes Williams Araújo do Nascimento, Agenor Bezerra de Almeida Junior, Caroline Miranda Biondi.	10.1590/1678-4499.20230243
36	Fertilizantes organofosforados baseados na disponibilidade de biochars e fósforo no solo	Ronaldo Willian da Silva, Mateus Hastenreiter Rodrigues Silva Lóquez, Lucas Destefani Paquini, Felipe Vaz Andrade, Eduardo de Sá Mendonça Otacílio José Passos Rangel, Demétrio Profeti, Luciene Paula Roberto Profeti, Renato Ribeiro Passos	10.1021/acsagascitech.4c00368

37	Efeito da aplicação do biochar na mobilidade do corante têxtil vermelho drimaren em uma camada de solo aluvionar	Josielly Braz da Silva, Severino Martins dos Santos Neto, Luan Alves Furtado, Antonio Celso Dantas Antonino, Artur Paiva Coutinho	10.1590/2318- 0331.292420230143
----	--	---	------------------------------------

Fonte: Autora, 2025.

REFERÊNCIAS

- ALKHARABSHEH, Hida M.; SELEIMAN, Mahmoud F.; BATTAGLIA, Martin Leonardo; SHAMI, Shami; JALAL, Rewaa S.; ALHAMMAD, Bushra Ahmed; ALMUTAIRI, Khalid F.; AL-SAIF, Adel M. Biochar e seus amplos impactos na qualidade e fertilidade do solo, lixiviação de nutrientes e produtividade das culturas: uma revisão. **Agronomia**, 11, 1-29, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy11050993>. Acesso em: 22/08/2025
- ALVES, Amanda Romeiro; HOLTHUSEN, Dörthe.; SARFARAZ, Qamar; SILVA da, Leandro Souza; REICHERT, José Miguel. Efeitos de curto prazo do biochar na viscoelasticidade da microestrutura, resistência ao cisalhamento e resiliência de um solo intemperizado. **Springer Nature**. Rio Grande do Sul, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01791-0>. Acesso em: 15/07/2025
- BARBOSA, F. L. A.; SANTOS, J. M. R.; MOTA, J. C. A.; COSTA, M. C. G.; ARAÚJO, A. S. F.; GARCIA, K. G. V.; ALMEIDA, M. S.; NASCIMENTO, Í. V.; MEDEIROS, E. V.; FERREIRA, O. P.; SOUZA FILHO, A. G.; FREGOLENTE, L. G. Potencial de biochar para a restauração da biomassa microbiana e atividade enzimática em solo semiárido altamente degradado. **Scientific Reports**, v. 14, n. 26065, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-77368-9>. Acesso em: 15/07/2025
- BONETTI, João de Andrade; FINK, Jessé Rodrigo. Manejo e conservação da água e do solo. 1. ed. Lavras: Editora UFLA, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/345753660_Manejo_e_conservacao_da_gua_e_do_solo. Acesso em: 29/09/2025.
- BRASIL. Lei nº 15.103, de 22 de janeiro de 2025. Institui o Programa de Aceleração da Transição Energética (PATEN). Diário Oficial da União, Brasília/DF, 2025. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2025/lei/l15103.htm. Acesso em: 27/09/2025.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Programa Carbono + Verde. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/participamaisbrasil/programa-carbono-verde>. Acesso em: 27/09/2025.
- BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2009. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm. Acesso em: 27/09/2025.
- DIAS BARBOSA, Eline.; MELO de, Ravi Emanuel; SILVA da, Vanilson Pedro; COSTA, Diogo; JÚNIOR, Henrique; ALVES, Maria Fernanda; LOPES, Marcio; FILHO, Argemiro; MEDEIROS, Erika; DUDA, Gustavo; CORRÊA, Marcelo; BARROS, Camila; LIMA, José; HAMMECKER, Claude. Propriedades de Biochars e Sua Eficácia na Retenção de Fósforo. **Revista Brasileira De Geografia Física**, v. 18, p. 456–470, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v18.1.p456-470>. Acesso em: 29/09/2025.

DUARTE, Sara de Jesus; CERRI, Carlos Eduardo Pellegrino; RITTL, Tatiana Francischinelli; ABBRUZZIN, Thalita Fernanda; PANO, Blanca Lúcia Prado. Biochar physical and hydrological characterization to improve soil attributes for plant production. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 23, p. 3051–3057, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42729-023-01273-9>. Acesso em: 29/09/2025.

FERREIRA, Osania Emerenciano; SILVA, Halax Duart Martins; ALVES, Adriana Barboza; AGUILAR de, Mariana Guerra; PIMENTA, Lúcia Pinheiro Santos; COSTA, Gustavo Henrique Gravatim; CRUZ da, Mara Cristina Pessoa; BEZERRA, Augusto César da Silva; MACHADO, Alan Rodrigues Teixeira. Biochar melhora as interações do solo e o desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar. **Scientific Reports**. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-78706-7>. Acesso em: 15/07/2025

GABETTO, Fernanda Palmeira; TENELLI, Sarah.; NETTO-FERREIRA, Júlia Barra; MARTINS JUNIOR, Joaquim; ALMEIDA, Octávio Augusto Costa; COSENZA, Marcela Lamas; STRAUSS, Mathias; CARVALHO, João Luís Nunes. Biochar from crop residues mitigates N₂O emissions and increases carbon content in tropical soils. **Biofuels, Bioprod. Bioref.**, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/bbb.2734>. Acesso em 27/09/2025.

IQBALUM, Babar; KHAN, Ismail; ANWAR, Shazma; JALALD, Arshad; OKLAE, Mohammad K.; AHMAD, Naveed; ALARAIDH, Ibrahim A.; TARIQUM, Muhammad; ELGAWAD, Hamada Abd; LIUM, Guanlin; DU, Daolin. Biochar e solo salino: estratégia de mitigação por meio da incapacitação das ameaças ecológicas às terras agrícolas. **International Journal of Phytoremediation**, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15226514.2024.2310001>. Acesso em: 15/07/2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Trimestral do Abate de Animais**: 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html>. Acesso em: 10/09/2025.

LIMA, José Roberto de Souza; GÓES, Maria da Conceição Costa de; HAMMECKER, Claude; ANTONINO, Adriano Carlos Dias; MEDEIROS, Edson Vicente de; SAMPAIO, Edson Vicente de Souza Barbosa; LEITE, Maria Cristina de Brito; SILVA, Vanilson Pedro; SOUZA, Edson Silva de; SOUZA, Ricardo. Efeitos de esterco de aves e biochar nas propriedades do solo de Argissolo e na produtividade do feijoeiro: um experimento de campo de curta duração. **Agricultura**, v. 11, e290, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/agriv11e290>. Acesso em: 29/09/2025.

LIMA, Alexandre Vitor; COSTA, Diogo Pereira da; SIMÕES, Lúcia Regina; BARROS, José Américo de; SILVA, Vanilson Pedro da; LIMA, José Roberto de Souza; HAMMECKER, Claude; MEDEIROS, Edson Vicente de. Revitalizando a fertilidade dos solos globais: meta-análise sobre benefícios do biochar de cama de frango na saúde do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 28, n. 12, p. 1001–1010, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n12p1001-1010>. Acesso em: 29/09/2025.

LIMA, Ângelo A. de.; SOARES, Frederico A. L.; RABELO, Kassia C. de C.; PACHECO, Laiane B.; SILVA, Pedro S. F. da; MACHADO, Roriz L. Biochar na fertilidade do solo, morfometria e produção de cultivares de capim-elefante. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.37, 2024b. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252024v3711786rc>. Acesso em: 30/09/2025.

LEMOS, Kátia Cristina Lima Oliveira; SOUZA, Cláudia Beatriz de; COSTA, Patrícia Silva Pereira. O aproveitamento de dejetos de suínos em pastagens: boas práticas, segurança jurídica e sustentabilidade rural. **Revista Políticas Públicas e Cidades**, v. 5, p. 1–15, 2025. Disponível em: <https://journalppc.com/RPPC/article/view/1947>. Acesso em: 28/09/2025.

LUCON, Isabella M. de; CARNEIR, Ricardo; COSCIONE, Aline Ribeiro; ANDRADE, Carlos Alberto; GUIMARÃES JÚNNYOR, Wilson da Silva; DE MARIA, Isabella Clerici. Atributos hidrofísicos e químicos do solo em ferralsol aditivado com biochar de madeira. **Bragantia**, v. 83, e20230299, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20230299>. Acesso em: 15/07/2025.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano Nacional de Fertilizantes 2050, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/plano-nacional-de-fertilizantes>. Acesso em: 20/09/2025.

MARCILLA, Antonio; CATALÁ, Lluís; GARCÍA-QUESADA, José Carlos; VALDÉS, Francisco Javier; HERNÁNDEZ, Manuel R. Uma revisão da conversão termoquímica de microalgas. **Sustentar. Energia Rev.**, v. 27, p. 11–19, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.032>. Acesso em: 15/07/2025.

MARQUES, Jéssica Pelinsom; VAZ, Carlos Magno Pinto; RODRIGUES, Vitor Gabriel Silva. Caracterização de misturas de Argissolo Vermelho distroférico com biochar de resíduos de poda urbana em duas proporções diferentes. **Journal of Soils and Sediments**, v. 24, p. 3610–3625, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11368-024-03047-5>. Acesso em: 15/07/2025.

MASCHIO, Giuseppe; KOUFOPANOS, Constantinos; LUCCHESI, Aldo. Pirólise, uma rota promissora para utilização de biomassa. *Bioresource Technology*, v. 42, p. 219–231, 1992. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(92\)90025-S](https://doi.org/10.1016/0960-8524(92)90025-S)
MELO, L. C. A.; SILVA, C. A. Biochar no solo: princípios e perspectivas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, 2021. Acesso em: 27/09/2025.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. Uso de biochar como condicionador de solo e mitigação de impactos ambientais. Brasília: MMA, 2025. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biochar>. Acesso em: 27/09/2025.

MOTA, Mauro Franco Castro. Uso de biochar de eucalipto na produção de cana-de-açúcar. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/36434/1/TESE%20FINAL%20-%20MAURO%20FRANCO.pdf>. Acesso em: 27/09/2025.

NOVAIS, Roberto Ferreira de; ALVAREZ, Vânia Hélia; SCHAEFER, Carlos Eduardo G. R. (eds.). Fertilidade do Solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2007. Disponível em: <https://www.sbcs.org.br/2024/01/30/fertilidade-do-solo-sociedade-brasileira-de-ciencia-do-solo/>. Acesso em: 29/09/2025.

NOVOTNY, Eliane Helena; MAIA, Cláudia Maria Barbosa de Figueiredo; CARVALHO, Maria Teresa de Moraes; MADARI, Beatriz Elias. Biochar: carbono pirogênico para uso agrícola – uma revisão crítica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 321–344, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20150301>. Acesso em: 29/09/2025.

OLIVEIRA, D. M.; FALCÃO, N. P. S.; DAMACENO, J. B. D.; GUERRINI, I. A. Rendimento do biocarvão da casca da castanha do Brasil e seus efeitos na acidez do solo e na disponibilidade de fósforo em latossolo amarelo da Amazônia Central. **Journal of Agricultural Science**, v. 12, p. 1–12, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5539/jas.v12n3p1>. Acesso em: 29/09/2025.

(ONU) ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova Iorque: ONU, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 27/09/2025.

PIRES, Alexandre M. M.; CARNIER, Ricardo; PUGA, André P.; SCHWINGEL, Alceu W.; VIEIRA, Renato F.; LIGO, Maria Aparecida V.; ANDRADE, Carlos Alberto. Uso de resíduos como fertilizantes e/ou condicionadores do solo: biochar e biossólidos. **Embrapa**, 2025. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1171557/1/cap.-3.pdf>. Acesso em: 27/09/2025.

PORTO, Marcos Antônio Ferreira; MENDES, Karla Fernanda; TORNISELIO, Valéria Lúcia; GUIOTOKU, Marcos; SOUZA, Maria Fernanda; LINS, Hélio Augusto; SILVA, Daniel Vieira. Biochar obtido de eucalipto, casca de arroz e bambu nativo como alternativa para diminuir a mobilidade de hexazinona, metribuzina e quinclorac em solo tropical. **Revista Springer**, São Paulo, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-024-2327-4>. Acesso em: 15/07/2025.

RECH BISI, Vanessa Susana; SILVESTRE, Wendel Paulo; TRAMONTIN, Marcos Henrique; CONTE, Elaine Damiani; GODINHO, Marcelo; PAULETTI, Gabriel Fernandes. Biochar de *Cymbopogon citratus* como agente fertilizante e remediador para solos com alto teor de cobre. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture (IJROWA), Special Issue**, p. 1-10, 2024. Acesso em: 15/07/2025.

SATO, Mário Kiyoshi; LIMA, Hélio Vieira de; COSTA, Anderson Nunes; RODRIGUES, Sérgio; PEDROSO, André José Silva; FREITAS MAIA, Cláudia Maria Barbosa de Figueiredo. Biochar a partir de resíduos da agroindústria do açaí: estudo das condições de pirólise. **Waste Management**, v. 96, p. 158-167, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.07.010>. Acesso em: 27/09/2025.

SANTOS, Helder Gomes; JACOMINE, Paulo Krenak Tavares; ANJOS, Luiz Henrique Costa; OLIVEIRA, Valdir Antonio de; LUMBRERAS, José Francisco; COELHO, Maria Regina; ALMEIDA, José Antônio de; ARAÚJO FILHO, José Carlos de; OLIVEIRA, José Benedito de; CUNHA, Tarcísio José Ferreira da. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ª edição, **revista e ampliação**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: 30/09/2025.

SILVA, Maria Shirley Amorim. **Biochar de casca de pequi como condicionador de solo no desempenho agrônômico de feijoeiro** (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, Minas Gerais, Brasil, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200871>. Acesso em: 30/09/2025.

SILVA, Cíntia Caroline Gouveia da; MEDEIROS, Erika Valente; FRACETTO, Giselle Gomes Monteiro; FRACETTO, Felipe José Cury; MARTINS FILHO, Argemiro Pereira; LIMA, José Romualdo de Sousa; DUDA, Gustavo Pereira; COSTA, Diogo Paes; HAMMECKER, Claude. Biochar e esterco bovino na comunidade química e microbiana em Regosol com Feijão. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, p.1552-1564, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00461-9>. Acesso em: 29/09/2025.

SILVA, Chansislayne Gabriela da; PASSOS, Renato Ribeiro; SANTOS, Danilo Andrade; MENDONÇA, Eduardo de Sá; MACHADO, Lorena Contarini. Emissão de CO₂ em solo sob cultivo de eucalipto com aplicação de biocarvão. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 54, p. e80082, 2024a. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/80082>. Acesso em: 15/07/2025.

SILVA, Ronaldo Wendel da; SILVA LÓQUEZ, Maria Helena Ribeiro; PAQUINI, Lucas de Lima; ANDRADE, Felipe Vasconcelos; MENDONÇA, Edson de Souza; RANGEL, Olavo José Pinto; PROFETI, Danilo; PROFETI, Lucas Pereira Rangel; PASSOS, Rafael Rodrigues. Fertilizantes organofosforados baseados na disponibilidade de biochars e fósforo no solo. **ACS Ciência e Tecnologia Agrícola**, v. 11, e290, 2024b. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/acsct.v11e290>. Acesso em: 29/09/2025.

SIMON, Carla da Penha; GOMES, Taciana Figueiredo; PESSOA, Thaís Nascimento; SOLTANGHEISI, Amin; BIELUCZYK, Wanderlei; CAMARGO, Plínio Barbosa de; MARTINELLI, Luiz Antônio; CHERUBIN, Maurício Roberto. Soil quality literature in Brazil: A systematic review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, e0210103, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210103>. Acesso em: 29/09/2025.

SOUZA, Pedro Gabriel Almeida; CARVALHO, João Carlos Lima; SOUZA, Lúcia Zilda Marques de; LIMA, Edson Nunes; AGUILAR, Marcos Gomes de; LIMA, Robson Pereira; FERREIRA, Otávio Eduardo; PIMENTA, Lúcia Pereira da Silva; MACHADO, Alexandre Rodrigues Tavares. Efeito da temperatura de pirólise na produção de biochar e biometanol a partir do bagaço de cana-de-açúcar. **BioEnergy Research**, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12155-024-10123-4>. Acesso em: 29/09/2025.

SOARES, Marcos B.; PEDRINHO, Ana; FERREIRA, João R.; MENDES, Lúcia W.; COLZATO, Maria; ALLEONI, Luiz R. F. Condições redox e temperatura de pirólise do biochar afetando os ciclos biogeoquímicos de As e Pb e a comunidade bacteriana do sedimento de rejeitos de mineração. **Revista de Materiais Perigosos**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 1–15, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42247-024-00603-7>

Acesso em: 29/09/2025.

SOBUCKI, Lisiane; RAMOS, Rodrigo Ferraz; MEIRELES, Leonardo Arocha; ANTONIOLLI, Zaida Inês; JACQUES, Rodrigo Josemar Seminoti. Contribution of enzymes to soil quality and the evolution of research in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 45, e0210109, 2021. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/KL9nNHnqyQHdVLBQGChSSNn/>. Acesso em: 14 set. 2025.

TEIXEIRA, Wenceslau Geraldes; KERN, Dirse Clara; MADARI, Beata Emöke; LIMA, Hedinaldo Narciso; WOODS, Willian. As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: **Embrapa Amazônia Ocidental**, 2009. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/684554>. Acesso em: 15/07/2025.

VIANA, Daniel Gomes; SOARES, Marcos B.; ALLEONI, Luiz R. F.; EGREJA FILHO, Francisco B.; DUCKWORTH, Oliver W.; REGITANO, José B. Biochar de palha de cana-de-açúcar: efeitos da temperatura de pirólise na dissolução de barita e disponibilidade de Ba em condições de inundação. **Revista Biochar**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 1–10, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42247-024-00001-0>. Acesso em: 15/07/2025.

ZAFEER, Muhammad Khalid; MENEZES, Rodrigo A.; VENKATACHALAM, Hariharan; BHAT, Kiran S. Biochar à base de bagaço de cana-de-açúcar e seus potenciais aplicações: uma revisão. **Revista Materiais Emergentes**, Paris, v. 1, p. 1–15, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42247-023-00603-y>. Acesso em: 15/07/2025.