

GABRIELLA DE MORAIS SANTANA

**USO DO BIOCARVÃO EM SUBSTRATOS DE MUDAS DE ESPÉCIES
FLORESTAIS NATIVAS DO BRASIL**

SÃO CRISTÓVÃO - SE

2025

Gabriella de Moraes Santana

**USO DO BIOCARVÃO EM SUBSTRATOS DE MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS
NATIVAS DO BRASIL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Departamento de Ciências Florestais,
Universidade Federal de Sergipe – UFS,
como requisito parcial para obtenção do
título de Engenheiro Florestal.

São Cristóvão - SE

2025

D 739n
2025

Santana, Gabriella de Moraes.

Uso do biocarvão em substratos de mudas de espécies florestais nativas do Brasil / Gabriella de Moraes Santana/ São Cristóvão, SE, 2025. (44)

Monografia (Graduação em Engenharia Florestal), Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Agrárias Aplicadas, Universidade Federal de Sergipe.

1. Biocarvão. 2. Espécies florestais nativas. 3. Substratos I. Uso do biocarvão em substratos de mudas de espécies florestais nativas. II. Santana, G.M.

CDU: 331.5 (1-22)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE - UFS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS APLICADAS - CCAA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS – DCF

USO DO BIOCARVÃO EM SUBSTRATOS DE MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS DO BRASIL

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Departamento de Ciências Florestais,
Universidade Federal de Sergipe – UFS,
como requisito parcial para obtenção do
título de Engenheiro Florestal.

APROVADA: 02 de setembro de 2025

ORIENTADO: Gabriella de Moraes Santana

MATRÍCULA: 202000027760

Documento assinado digitalmente
 ALESSANDRA MARIA FERREIRA REIS
Data: 09/09/2025 17:34:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Alessandra Maria Ferreira Reis

(Orientador)

Documento assinado digitalmente
 CANTIDIO FERNANDO GOUVEA
Data: 09/09/2025 12:02:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Cantídio Fernando Gouvêa
(Examinador 1)

Documento assinado digitalmente
 ANNA CAROLINA DE ALMEIDA ANDRADE
Data: 09/09/2025 11:09:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Anna Carolina Almeida de Andrade
(Examinador 2)

AGRADECIMENTOS

A Deus e aos meus guias espirituais. Desde que comecei o processo de entender minha mediunidade, eles me acompanham em todos os momentos, sejam bons ou ruins, eu sinto a presença deles comigo em cada jornada. Sou eternamente grata a eles por me proporcionarem discernimento nas escolhas da minha vida, por me lembrarem que a cobrança comigo mesma é necessária, mas também tem que ser com cautela; por me lembrarem de ter fé neles de quanto tudo em sua volta estiver ruim. Obrigada Deus, obrigada meus Guias, vocês foram a minha âncora quando eu pensei que não iria me levantar.

Aos meus pais, Marcos e Adriana que me acolhem, me ensinam, me protegem mesmo eu sabendo o quão é difícil criar três filhas. Nunca vou poder retribuir o amor que eu recebo todo dia, seja no conselho ou num sermão, sei que cada palavra é para me ajudar a encarar os desafios o qual eles já passaram.

Às minhas irmãs Júlia e Alana, que me ensinam todo dia que a paciência é uma virtude e que o amor fraterno é construído dia a dia, tijolo por tijolo para que essa união nunca seja desfeita. Sou feliz demais por transformarem tudo em piada e me fazerem rir até nos momentos mais sérios, é muito bom ter elas comigo todos os dias.

Aos meus amigos de infância e da faculdade. Vocês me ajudaram tanto em distrair minha cabeça mesmo quando eu estava sobrecarregada, aquele ombro amigo que me acolheu quando eu precisava desabafar foi essencial nos dias mais difíceis.

Aos meus amigos do meu primeiro estágio, que me ajudaram a entender melhor o objetivo da minha profissão e deixaram o ambiente de trabalho mais leve até nos dias mais complicados. Obrigada Helena, Carol, Dinha, Paulo, Eglícia, Matheus, Thiago, Seu Osmar, Gal, as duas Ju, Mãe Andreza, Andrezzinha, Aline, Wódia, Pedro Ivo, Iana, Isadora, Madu, Rapha, Carolzinha e Dorinha. Mesmo com o caos de todo dia, o meu estágio não seria o mesmo sem vocês.

À minha família que naquela piada no churrasco, nas brincadeiras das festas que me faziam esquecer dos problemas, eu tenho uma gratidão enorme a vocês que me auxiliaram nesse processo de lembrar que tem felicidade mesmo quando o mundo quer te encher de atribulações.

À minha orientadora Alessandra, nunca imaginei que na faculdade eu teria uma

professora que fosse minha amiga, alguém em quem eu pudesse pedir conselhos tirando toda a seriedade entre professor e aluno. A senhora é um grande exemplo de docente que eu me inspiro todos os dias para ser uma profissional tão excelente quanto você. Obrigada por todos os ensinamentos e as palavras amigas que eu ouvi, espero um dia poder retribuir da mesma forma.

E um agradecimento à mim mesma, por lembrar de parar de me cobrar tanto e que a vida também precisa ser vivida. Acho que é importante ter amor com todos ao seu redor, mas o mais importante ainda é ter amor comigo mesma. E que bom que eu consegui enxergar isso a tempo.

RESUMO

O biocarvão, também denominado biochar, é um material obtido por pirólise de resíduos orgânicos e tem sido amplamente estudado como condicionador de substratos, visando melhorias físicas, químicas e biológicas no solo. Este trabalho teve como objetivo realizar uma revisão sistemática sobre o uso do biocarvão na produção de mudas de espécies florestais nativas, destacando seus efeitos sobre o crescimento e qualidade das plantas. As buscas foram realizadas nas plataformas Portal de Periódicos da CAPES, Google Acadêmico e SciELO, utilizando combinações de palavras-chave em língua portuguesa e inglesa, sem restrição de data. Após triagem e exclusão de duplicações, foram selecionados 13 trabalhos que abordavam diretamente a aplicação do biocarvão em substratos para espécies florestais nativas. Os estudos analisados contemplaram diferentes espécies, como pau-rosa, castanheira-do-brasil, angico, paricá, faveira, acácia, saboeiro, pau-ferro, macaúba, arará, cajuzinho-do-cerrado e jurema-preta, empregando distintas origens de biocarvão e combinações com insumos químicos e orgânicos. As aplicações variaram em porcentagem do volume do substrato ou em doses fixas por hectare. Foram observados parâmetros morfológicos (altura, diâmetro, massa seca, número de folhas, índice de qualidade de Dickson) e fisiológicos (fotossíntese, transpiração, condução estomática, concentração de nutrientes). Os resultados foram classificados como satisfatórios, insatisfatórios ou parcialmente satisfatórios. Cinco trabalhos apresentaram respostas positivas consistentes, três não evidenciaram benefícios significativos e cinco mostraram respostas variáveis, indicando que a eficácia do biocarvão depende de fatores como a espécie, o tipo e a dose utilizada, além das combinações com outros insumos. Conclui-se que o biocarvão apresenta potencial promissor na produção de mudas nativas, contribuindo para melhorias nutricionais e estruturais do substrato, embora sua eficácia não seja uniforme entre todas as espécies e condições testadas. A ampliação das pesquisas e a padronização de metodologias podem favorecer o uso otimizado deste insumo em programas de restauração e produção florestal sustentável.

Palavras-chave: Biocarvão. Espécies florestais nativas. Substratos.

ABSTRACT

Biochar, also known as biochar, is a carbon-rich material obtained through the pyrolysis of organic residues and has been widely studied as a substrate conditioner, aiming at physical, chemical, and biological improvements in the soil. This study aimed to conduct a systematic review on the use of biochar in the production of seedlings of native forest species, highlighting its effects on plant growth and quality. Searches were conducted in the CAPES Periodicals Portal, Google Scholar, and SciELO databases, using combinations of keywords in Portuguese and English, with no date restrictions. After screening and removal of duplicates, 13 articles were selected that directly addressed the application of biochar in substrates for native forest species. The analyzed studies covered different species, such as rosewood, Brazil nut tree, angico, paricá, faveira, acacia, soapberry, pau-ferro, macaúba, araçá, cajuzinho-do-cerrado, and jurema-preta, employing various biochar sources and combinations with chemical and organic inputs. Applications varied as a percentage of substrate volume or as fixed doses per hectare. Morphological parameters (height, diameter, dry mass, number of leaves, Dickson Quality Index) and physiological parameters (photosynthesis, transpiration, stomatal conductance, nutrient concentration) were evaluated. The results were classified as satisfactory, unsatisfactory, or partially satisfactory. Five studies presented consistent positive responses, three showed no significant benefits, and five exhibited variable responses, indicating that the effectiveness of biochar depends on factors such as species, type and dosage used, as well as its combinations with other inputs. It is concluded that biochar has promising potential in the production of native seedlings, contributing to nutritional and structural improvements in the substrate, although its effectiveness is not uniform among all tested species and conditions. Expanding research and standardizing methodologies may favor the optimized use of this input in restoration programs and sustainable forest production.

Keywords: Biochar. Native forest species. Substrates.

SUMÁRIO

RESUMO	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUÇÃO	4
2. MATERIAL E MÉTODOS	6
2.1 Acesso ao Portal de Periódicos da CAPES, Google Acadêmico e Scielo.	6
2.1.1 Portal de Periódicos da CAPES	6
2.1.2 Google Acadêmico	6
2.1.3 Scielo	7
2.2 Definição e seleção das palavras-chave	7
2.3 Estratégia e configuração de busca nas plataformas	8
2.4 Organização e análise dos dados obtidos	9
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
3.1 Caracterização geral dos estudos selecionados	12
3.1.1 trabalhos complementares para compreensão ampliada do tema	14
3.1.2 Distribuição temporal das publicações analisadas	15
3.2 Espécies Florestais nativas investigadas	16
3.3 Aplicações do biocarvão nos substratos utilizados nos ensaios	18
3.4 Parâmetros avaliados no crescimento de mudas	24
3.5 Efeitos e Potencial do biocarvão sobre o desenvolvimento das espécies	29
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1. INTRODUÇÃO

O biochar, também denominado biocarvão, é um material carbonizado obtido a partir da pirólise de resíduos orgânicos. Sua principal aplicação tem sido direcionada à melhoria das condições do solo, apresentando vantagens tanto agronômicas quanto ambientais. Diversos estudos apontam que o biochar pode contribuir para a mitigação dos impactos causados pelas mudanças climáticas, aumento da produtividade agrícola, retenção hídrica e recuperação da fertilidade dos solos (LATAWIEC, 2017; NOVOTNY *et al.*, 2015).

A crescente valorização científica do biochar em diferentes países decorre de seu potencial em promover melhorias físicas, químicas e biológicas nos solos, além de impulsionar a produção agrícola de forma sustentável (LATAWIEC, 2017). A produção desse insumo pode ser realizada por meio de tecnologias pirolíticas modernas (BOATENG *et al.*, 2010; ALHO, 2012), bem como por métodos tradicionais tornando-o uma alternativa acessível para pequenos produtores (MAJOR *et al.*, 2010).

Segundo Araújo *et al.* (2017), o uso do biochar como componente de substratos vem se destacando por sua capacidade de reduzir custos na produção de mudas e minimizar os impactos ambientais relacionados ao descarte de resíduos orgânicos. Devido à sua elevada porosidade e ampla área superficial, esse material favorece a retenção de água e a adsorção de nutrientes, promovendo sua liberação lenta e contínua às plantas (MAIA *et al.*, 2021). Tais propriedades permitem também a criação de um microambiente propício à atividade de microrganismos benéficos, o que potencializa o desenvolvimento vegetal (MADARI *et al.*, 2009) e pode gerar economia significativa em insumos, como fertilizantes e irrigação (PIMENTA *et al.*, 2019).

Nesse cenário, o biochar tem sido apontado como uma alternativa promissora na formulação de substratos agrícolas e florestais, principalmente quando associado à produção de mudas. A adequação nutricional dos substratos é fator determinante para a qualidade das mudas produzidas, sendo o biocarvão um insumo relevante por suas características químicas e estruturais (CHAVES *et al.*, 2006; PETTER *et al.*, 2012).

Em especial, destaca-se o uso do biochar na produção de mudas florestais, área que

tem atraído atenção diante das demandas globais por reflorestamento, recuperação de áreas degradadas e produção de alimentos em sistemas integrados. Nesse contexto, muitos estudos indicam o potencial do biochar como condicionador de solo e substrato para espécies florestais nativas, contribuindo para práticas sustentáveis de restauração ecológica (LATAWIEC, 2017). A produção de mudas de alta qualidade é essencial para o sucesso de programas de restauração e silvicultura, especialmente diante da escassez de pesquisas com espécies nativas em comparação àquelas exóticas, mais consolidadas no setor (BORBA, 2023).

Apesar de suas vantagens agronômicas e ambientais, a utilização do biochar na produção de mudas de espécies florestais nativas permanece incipiente. Estudos mais aprofundados são necessários para elucidar as respostas dessas espécies ao uso do biocarvão nos substratos, visto seu papel estratégico na manutenção da biodiversidade, no equilíbrio ecológico e na sustentabilidade dos ecossistemas brasileiros.

Diante disso, uma revisão sistemática sobre o tema se faz pertinente, a fim de mapear os avanços da pesquisa científica nessa área e reforçar o valor ecológico, econômico e sociocultural do biochar como insumo na produção de mudas florestais nativas. Tal iniciativa pode estimular o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis no setor florestal, contribuindo para a ampliação do conhecimento da restauração ambiental no Brasil.

Portanto, o objetivo deste presente trabalho é compreender o panorama atual das pesquisas sobre o uso do biocarvão como componente de substratos na produção de mudas de espécies florestais nativas do Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Acesso ao Portal de Periódicos da CAPES, Google Acadêmico e Scielo.

A presente revisão teve como foco central o uso do biocarvão na formulação de substratos voltados à produção de mudas de espécies florestais nativas no Brasil. Considerando a crescente demanda por práticas silviculturais sustentáveis, torna-se essencial compreender como a literatura científica tem abordado a aplicação do biocarvão no setor florestal. Para isso, utilizou-se bases de dados científicas, que funcionam como sistemas de indexação de periódicos, teses, livros e outros documentos acadêmicos, facilitando o acesso a referências relevantes e servindo como suporte teórico para novas investigações (LACERDA *et al.*, 2012). Além disso, essas plataformas contribuem na mensuração do impacto acadêmico ao oferecerem indicadores que avaliam a relevância dos periódicos nas diferentes áreas do conhecimento (PODSAKOFF *et al.*, 2005).

Nesse sentido, no presente trabalho foram utilizadas três bases de dados para pesquisa e fundamentação: o Portal de Periódicos da CAPES, Google Acadêmico e Scielo.

2.1.1 Portal de Periódicos da CAPES

O Portal de Periódicos da CAPES (2015) constitui um dos principais meios de acesso à informação científica no Brasil, reunindo parte significativa da produção acadêmica nacional e internacional (GOMEZ & CENDÓN, 2016). Trata-se de um recurso estratégico que contribui diretamente para o avanço das investigações científicas no país. Segundo Gomez e Cendón (2016), seu conteúdo é disponibilizado gratuitamente para docentes, discentes, pesquisadores e técnicos vinculados a instituições participantes, desde que o acesso ocorra por meio de dispositivos conectados à internet e localizados nessas instituições.

Nesse sentido, a escolha dessa base de dados para a revisão se deve ao fato de que o portal tem potencial para reunir publicações científicas relevantes e atualizadas sobre práticas sustentáveis no uso de substratos, incluindo pesquisas com biocarvão aplicadas à produção de mudas de espécies florestais nativas.

2.1.2 Google Acadêmico

O Google Acadêmico é uma ferramenta gratuita disponibilizada pelo Google com a finalidade de ampliar o acesso à produção científica, permitindo a busca por trabalhos, livros, dissertações, resumos, trabalhos apresentados em eventos, entre outros tipos de publicações, independentemente da área do conhecimento. Seu sistema de busca é baseado nos termos inseridos, o que possibilita o acesso a conteúdos relevantes de forma rápida e ampla. Pelo fato dessa ferramenta acompanhar constantemente as atualizações e tendências dentro de uma área específica de estudo, ela foi selecionada como uma das bases de dados para a revisão, por apresentar potencial para identificar produções científicas recentes relacionadas à proposta do tema.

2.1.3 Scielo

A SciELO (Scientific Electronic Library Online) é uma biblioteca digital que disponibiliza periódicos científicos brasileiros em formato eletrônico, disponibilizando textos completos por meio da web, além de gerar e divulgar indicadores de uso e impacto dessas publicações (PACKER *et al*, 1998). Essa plataforma foi escolhida como uma das bases de dados da presente revisão por concentrar produções científicas consolidadas no meio acadêmico nacional e internacional, especialmente voltadas às áreas de ciências agrárias e ambientais, diretamente relacionadas ao tema do uso de biocarvão em substratos florestais.

2.2 Definição e seleção das palavras-chave

Para orientar a busca e garantir a relevância dos materiais coletados, foram definidas palavras-chave diretamente relacionadas ao tema central da pesquisa, que trata do uso do biocarvão como componente de substrato na produção de mudas de espécies florestais nativas. A seleção considerou termos amplos e específicos, com o objetivo de abranger o maior número possível de estudos dentro do escopo proposto.

As palavras-chave utilizadas foram: *biocarvão*, *espécies florestais*, *substrato*, *nativas*. A partir delas, foram elaboradas diferentes combinações para ampliar o alcance dos resultados, incluindo: *biocarvão aplicado em espécies nativas*, *biocarvão aplicado em espécies florestais*, *biocarvão aplicado em substrato*, *biocarvão espécie florestal*, *biocarvão substrato*, *biocarvão aplicado em substrato de espécies florestais nativas* e *biocarvão*

aplicado em espécies florestais nativas. Essas combinações foram inseridas nas ferramentas de busca das plataformas escolhidas, contribuindo para a filtragem e identificação de trabalhos pertinentes ao tema da revisão.

Da mesma forma, foram utilizadas palavras chaves em inglês: *biochar, forest species, substrate, natives* e suas referidas combinações: *biochar applied to native species, biochar applied to forest species, biochar applied to substrate, biochar forest species, biochar substrate, biochar applied to substrate of native forest species, and biochar applied to native forest species*.

2.3 Estratégia e configuração de busca nas plataformas

Com as palavras-chave previamente definidas, o primeiro passo da pesquisa foi acessar o Portal de Periódicos da CAPES, onde se buscou identificar os trabalhos mais alinhados aos objetivos do estudo. A partir dos resultados iniciais, foram acrescentadas outras palavras-chave com o objetivo de refinar e ampliar o alcance das buscas. A partir disso, ampliou-se a busca por meio das plataformas SciELO e Google Acadêmico, com a finalidade de diversificar as fontes e garantir maior abrangência dos conteúdos encontrados. Esse processo teve como foco reunir estudos que abordassem a aplicação do biocarvão em substratos para espécies florestais nativas, independentemente do tipo de abordagem metodológica.

Nos três portais utilizados, também foram considerados os trabalhos publicados em inglês, com o intuito de incluir estudos internacionais relevantes ao tema. Optou-se por não aplicar filtros de data, assunto ou idioma durante as buscas, justamente para possibilitar um levantamento mais amplo e completo sobre o tema. Essa escolha permitiu o acesso a um número maior de publicações, enriquecendo a base de dados e contribuindo para uma análise mais abrangente dos estudos já desenvolvidos na área.

O Quadro 1 apresenta de maneira sistematizada as configurações de busca adotadas em cada uma das plataformas utilizadas na pesquisa — Portal de Periódicos da CAPES, SciELO e Google Acadêmico — com base nas palavras-chave previamente definidas. Em cada portal, foi necessário utilizar combinações diferentes de termos, considerando que nem

todas as palavras-chave retornaram resultados relevantes nas mesmas plataformas. O quadro detalha essas variações, bem como os resultados obtidos em cada busca, permitindo uma visualização objetiva da quantidade de estudos localizados em cada fonte.

Essa organização contribui para a transparência do processo metodológico, além de possibilitar a análise comparativa entre os diferentes repositórios, reforçando a credibilidade e a abrangência da revisão realizada. A pesquisa foi realizada no período de março a abril de 2025.

Quadro 1: Palavras-chave e resultados das buscas por plataformas

Plataforma	Palavra-chave	Nº de resultados relevantes	Trabalhos utilizados
CAPES	<i>biocarvão</i>	8	2
	<i>biocarvão substrato</i>	2	
	<i>biocarvão aplicado em substrato</i>	1	
	TOTAL ENCONTRADO	11	
TOTAL DE TRABALHOS APTOS		4	
Google Acadêmico	<i>biocarvão aplicado em espécies nativas</i>	4	11
	<i>biocarvão aplicado em espécies florestais</i>	14	
	<i>biocarvão aplicado em substrato de espécies florestais nativas</i>	2	
	<i>biocarvão aplicado em espécies florestais nativas</i>	11	
TOTAL ENCONTRADO		31	
TOTAL DE TRABALHOS APTOS		16	
Scielo	<i>biocarvão espécie florestal</i>	1	0
TOTAL DE TRABALHOS DESCONSIDERANDO REPETIÇÃO		36	
TOTAL DE TRABALHOS CONTEMPLADOS		13	

Fonte: Autor (2025)

Os trabalhos aptos correspondem aos trabalhos que apresentaram maior alinhamento com o tema e os objetivos propostos neste estudo. Por essa razão, em cada plataforma consultada, foram destacados aqueles que mais se aproximavam da proposta, permitindo uma seleção direcionada e coerente com o escopo da pesquisa.

2.4 Organização e análise dos dados obtidos

A organização dos dados encontrados teve como base a análise qualitativa dos

títulos, resumos e dos conteúdos completos dos trabalhos obtidos nas bases consultadas. Durante a triagem, observou-se a presença de repetições de resultados, especialmente quando diferentes termos de busca foram utilizados em uma mesma plataforma, fato que exigiu maior atenção no processo de seleção.

No Portal de Periódicos da CAPES, a busca resultou em um total de 11 trabalhos, sendo que apenas quatro deles atendiam parcialmente aos critérios estabelecidos para a revisão. Desses quatro, dois foram selecionados, sendo um deles escrito no idioma inglês. Durante a análise, foi identificado também outro trabalho neste idioma, porém seu conteúdo não atendia aos requisitos temáticos e metodológicos do presente trabalho, sendo, portanto, excluído da seleção final.

Já no Google Acadêmico, a busca inicial resultou em 31 resultados. Contudo, observou-se que muitos desses trabalhos se repetiam entre diferentes combinações de palavras-chave. Após o processo de filtragem e exclusão de duplicações, 16 trabalhos foram considerados aptos para a proposta do estudo. Destes, 11 trabalhos foram selecionados, uma vez que se alinhavam de forma clara ao tema central da pesquisa, abordando diretamente o uso do biocarvão como componente de substratos para espécies florestais nativas.

Na base de dados *SciELO*, o levantamento com as palavras-chave resultou em apenas um trabalho. Entretanto, após a leitura completa, foi constatado que o trabalho não se adequava aos objetivos da presente revisão, sendo, portanto, desconsiderado. O trabalho abordava uma temática não relacionada à proposta da pesquisa, o que comprometeu sua inclusão.

Também foi realizada uma busca utilizando as palavras-chave em inglês juntamente com as combinações, com o intuito de ampliar o alcance dos resultados e identificar estudos internacionais relacionados ao tema. Contudo, os trabalhos retornados apresentaram resultados repetitivos e sem pertinência em relação ao objetivo desta pesquisa, que trata especificamente do uso de biocarvão como substrato na produção de mudas de espécies florestais nativas. Embora a busca tenha sido executada, o conteúdo encontrado estava direcionado a contextos distintos, muitas vezes voltados a outras finalidades de aplicação do biocarvão ou a espécies que não se enquadram no escopo do estudo. Dessa forma, optou-se por não incluir esses resultados na análise final, priorizando trabalhos que efetivamente

contribuíssem para responder à problemática investigada.

Os principais motivos para a exclusão de outros trabalhos identificados nas buscas foram a abordagem de espécies exóticas ou não florestais, ou ainda a ausência de aplicação direta do biocarvão em substratos. Também foram descartados trabalhos que apresentavam foco em outras áreas, como agricultura convencional, espécies arbustivas ou experimentações voltadas a condições que não condiziam com os critérios estabelecidos neste estudo.

É importante destacar que o número final de 13 trabalhos selecionados foi consolidado após a exclusão de repetições entre as bases e dentro da própria base, quando diferentes palavras-chave retornaram os mesmos resultados. Esse processo de triagem criteriosa garantiu que apenas os trabalhos realmente relevantes e alinhados ao objetivo da revisão fossem considerados para compor o presente estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização geral dos estudos selecionados

Nesta seção, apresenta-se uma visão geral dos estudos analisados na revisão bibliográfica, com ênfase na distribuição temporal, nos autores e nas fontes onde os trabalhos foram encontrados. Ao todo, foram selecionados 13 trabalhos científicos que atendem aos critérios previamente estabelecidos, os quais abordam o uso de biocarvão em substratos para mudas de espécies florestais nativas.

O quadro 2 apresenta os trabalhos elencados em ordem decrescente do ano de publicação, acompanhados dos respectivos títulos, autores e plataforma de acesso. Essa organização visa facilitar a identificação das fontes e contribuir para a compreensão do panorama atual das publicações sobre o tema.

Quadro 2: trabalhos selecionados com título, autores, ano de publicação e plataforma de acesso

Título	Autores	Ano de publicação	Plataforma onde foi acessado
USO DO BIOCHAR E DE RESÍDUOS DE CAULIM NA MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO EM MUDAS DE JUREMA-PRETA (<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.)	FRANÇA, George Martins de.	2025	Google Acadêmico
BIOCHAR COMO CONDICIONANTE DE SUBSTRATO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE <i>Libidibia ferrea</i>	BORBA, Luiz Gustavo Lopes.	2023	Google Acadêmico
Resposta morfofisiológica de plantas do Cerrado à aplicação de biochar de torta de filtro	OLIVEIRA, Jéssica Costa de <i>et al.</i>	2023	Google Acadêmico
INITIAL DEVELOPMENT OF <i>Acacia mearnsii</i> ON SUBSTRATE CONTAINING BIOCHAR DERIVED FROM CHARCOAL FINES	DOS SANTOS, Marina Remião <i>et al.</i>	2023	CAPES
BIOCHAR, ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL NO CRESCIMENTO INICIAL DE PAU-ROSA (<i>Aniba rosaeodora</i> DUCKE) EM LATOSSOLO AMARELO DISTRÓFICO DA AMAZÔNIA CENTRAL	FERREIRA, João Cleber Cavalcante.	2022	Google Acadêmico
Influência de resíduos de biocarvão e esterco bovino no desenvolvimento de mudas de faveira	DA COSTA PASSOS, Elson <i>et al.</i>	2022	Google Acadêmico

Uso do biochar e de bioestimulante na produção e qualidade de mudas de <i>Sapindus saponaria</i> L.	SOARES, Deanna Carla Oliveira <i>et al.</i>	2021	Google Acadêmico
Biocarvão de caroço de açaí no desenvolvimento de mudas de paricá [<i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> (Huber ex Ducke) Barneby]	TORRES, Leandro Marques <i>et al.</i>	2021	CAPES
INFLUÊNCIA DO BIOCARVÃO E ADUBAÇÃO NITROGENADA NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE PAU-ROSA (<i>Aniba rosaeodora</i> Ducke) EM LATOSSOLO DA AMAZÔNIA	NEVES, Luiz André Gomes.	2019	Google Acadêmico
BIOCARVÃO E ADUBAÇÃO NITROGENADA INFLUENCIANDO O CRESCIMENTO E O ESTADO NUTRICIONAL DE MUDAS DE CASTANHEIRAS- DO-BRASIL EM UM LATOSSOLO DA AMAZÔNIA CENTRAL	GAMA, Romildo Torres da.	2018	Google Acadêmico
EFEITO DO BIOCARVÃO E ADUBAÇÃO FOSFATADA NO DESENVOLVIMENTO DE CASTANHEIRA DO BRASIL EM LATOSSOLO AMARELO DA AMAZÔNIA CENTRAL	OLIVEIRA, Danielle Monteiro de.	2017	Google Acadêmico
Biochar no manejo de nitrogênio e fósforo para a produção de mudas de angico	LIMA, Stefany Lorryny <i>et al.</i>	2016	Google Acadêmico
INTERAÇÕES ENTRE MACRONUTRIENTES E BIOCHAR NO DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS	LIMA, Stefany Lorryny.	2015	Google Acadêmico

Fonte: Autor (2025)

Ao analisar os títulos dos trabalhos selecionados para esta revisão, verificou-se que a presença dos termos "biocarvão" ou "biochar" é recorrente, o que reforça a centralidade desse componente nos estudos voltados à produção de mudas florestais. Além disso, a maior parte dos trabalhos inclui, já no título, o nome da espécie nativa utilizada nos experimentos, como pau-rosa, castanheira-do-brasil, angico, entre outras. Essa prática contribui para uma identificação mais clara e objetiva do foco de cada pesquisa, facilitando sua busca e destacando a importância das espécies investigadas no contexto ecológico.

Outro ponto relevante observado é que a plataforma Google Acadêmico foi a fonte de acesso predominante entre os trabalhos selecionados. Isso evidencia não apenas a ampla disponibilidade desses materiais na internet, como também a facilidade de acesso à produção científica atual por meio de bases abertas. Apenas dois trabalhos foram acessados pela plataforma da CAPES, indicando que, para o tema em questão, o repositório aberto se mostrou mais abrangente em termos de resultados relevantes.

Além desses aspectos, chama atenção o fato de que alguns títulos apresentam um

enfoque experimental bastante detalhado, incluindo o tipo de adubação associada ao biocarvão (como adubação nitrogenada, orgânica e fosfatada), ou a utilização conjunta com resíduos orgânicos. Isso demonstra uma preocupação crescente dos pesquisadores em testar diferentes combinações que possam potencializar os efeitos do biocarvão nos substratos. Essa diversidade metodológica indica que o campo de estudo ainda está em expansão e que há uma busca contínua por alternativas eficientes e sustentáveis para a produção de mudas nativas.

3.1.1 trabalhos complementares para compreensão ampliada do tema

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foram selecionados sete trabalhos que abordam o uso do biocarvão de forma mais ampla, considerando sua aplicação em espécies florestais nativas, ou de forma separada, seja em espécies florestais ou apenas nativas. Embora esses estudos não tenham sido o foco central da análise de resultados, sua inclusão foi fundamental para ampliar a compreensão sobre o panorama geral do uso do biocarvão na produção de mudas. Esses trabalhos auxiliaram principalmente na contextualização do tema, oferecendo suporte teórico e metodológico que contribuiu para o entendimento das abordagens e tendências atuais relacionadas ao uso do biocarvão em diferentes contextos ecológicos.

Abaixo, o quadro 3 apresenta os trabalhos complementares selecionados com seus respectivos títulos, autores, ano de publicação e plataforma onde foram acessados.

Quadro 3: trabalhos complementares com título, autores, ano e plataforma de acesso

Título	Autores	Ano de publicação	Plataforma onde foi acessado
Biocarvão como condicionar de substratos para a produção de mudas de espécies florestais nativas	DE OLIVEIRA SOUZA, Camilla et al.	2023	Google Acadêmico
Biochar em solos com espécies florestais: uma análise bibliométrica	CINTIA, M., & TRAZZI, P. A.	2022	Google Acadêmico
PRODUÇÃO E USO DO BIOCARVÃO DE LODO DE ESGOTO NO BRASIL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA	HORA, I. B.	2022	Google Acadêmico

USO DE BIOCHAR NA COMPOSIÇÃO DE SUBSTRATOS PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS FLORESTAIS	SIQUEIRA, E. S.	2022	Google Acadêmico
BIOCARVÃO DE BIOSSÓLIDO NA COMPOSIÇÃO DE SUBSTRATOS PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS FLORESTAIS	LOPES, D. A.	2019	Google Acadêmico
BIOCARVÃO: REALIDADE E POTENCIAL DE USO NO MEIO FLORESTAL	TRAZZI, Paulo André, et al.	2018	CAPES
O efeito do biocarvão em mudas da Mata Atlântica: uma análise ambiental e socioeconômica	LATAWIEC, A. E.	2017	Google Acadêmico

Fonte: Autor (2025)

3.1.2 Distribuição temporal das publicações analisadas

A análise da distribuição temporal das publicações permite compreender a evolução do interesse científico pelo uso de biocarvão em substratos para espécies florestais nativas. Observou-se que os trabalhos selecionados foram publicados entre os anos de 2015 e 2025, com destaque para os anos de 2021 a 2023, que se repetem em mais de um estudo. O quadro 4 mostra essa concentração, a qual em determinados períodos pode refletir o aumento da demanda por soluções sustentáveis na produção de mudas ou o avanço de pesquisas sobre o tema em questão.

Quadro 4: Distribuição anual das publicações sobre biocarvão

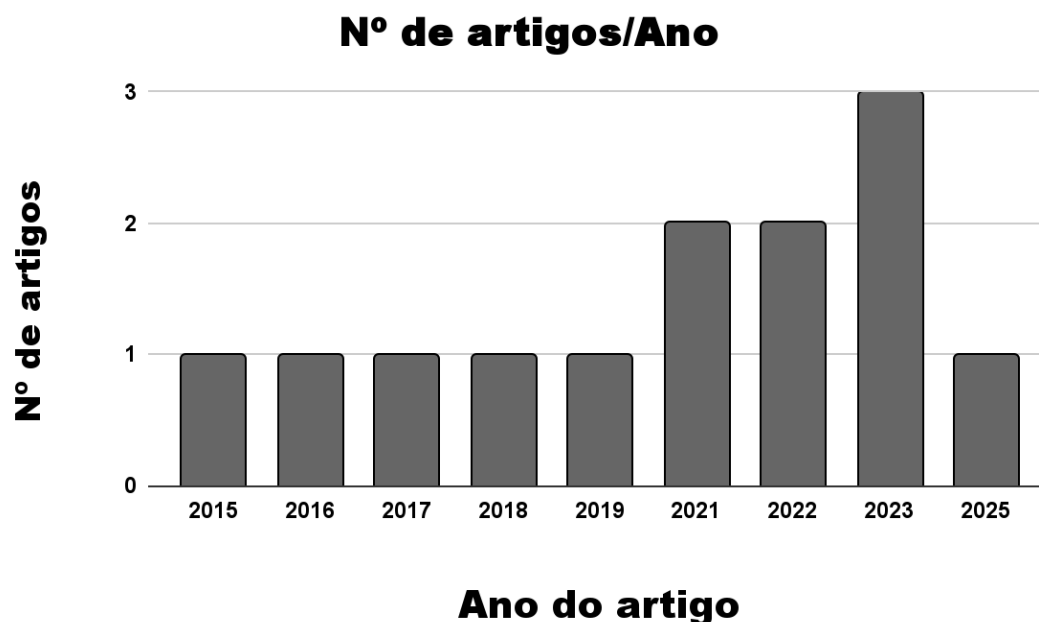
Autor	Ano de publicação
FRANÇA, George Martins de.	2025
BORBA, Luiz Gustavo Lopes.	2023
OLIVEIRA, Jéssica Costa de <i>et al.</i>	2023
DOS SANTOS, Marina Remião <i>et al.</i>	2023
FERREIRA, João Cleber Cavalcante.	2022
DA COSTA PASSOS, Elson <i>et al.</i>	2022
SOARES, Deanna Carla Oliveira <i>et al.</i>	2021
TORRES, Leandro Marques <i>et al.</i>	2021
NEVES, Luiz André Gomes.	2019
GAMA, Romildo Torres da.	2018
OLIVEIRA, Danielle Monteiro de.	2017

LIMA, Stefany Lorryny <i>et al.</i>	2016
LIMA, Stefany Lorryny.	2015

Fonte: Autor (2025)

A Figura 1 exibe a distribuição anual dos trabalhos selecionados, evidenciando a quantidade de publicações por ano entre 2015 e 2025. Nota-se uma produção científica ainda discreta e espaçada nos primeiros anos, com apenas um trabalho publicado anualmente entre 2015 e 2019. A partir de 2021, observa-se um aumento no número de estudos, alcançando dois trabalhos publicados em 2021 e 2022, além de um pico de três publicações em 2023. Esse comportamento sugere um interesse crescente no tema do uso do biocarvão em substratos para mudas florestais nativas, possivelmente refletindo maior preocupação com técnicas sustentáveis de produção de mudas e recuperação de áreas degradadas. Para 2025, há novamente o registro de apenas um trabalho, indicando a necessidade de continuidade nas pesquisas para consolidar o potencial do biocarvão no setor florestal.

Figura 1: Evolução anual das publicações sobre o uso de biocarvão em mudas florestais (2015–2025)



Fonte: Autor (2025)

3.2 Espécies Florestais nativas investigadas

Após a leitura dos trabalhos selecionados, foi possível identificar as espécies florestais nativas abordadas em cada estudo. Observou-se que duas publicações trataram da castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsai*), duas do pau-rosa (*Aniba rosaeodora DUCKE*) e outras duas do angico (*Anadenanthera colubrina*), evidenciando maior recorrência dessas espécies nas pesquisas. Os demais trabalhos abordaram espécies variadas, como paricá, acácia, entre outras. O quadro 5 apresenta a relação dos trabalhos analisados com suas respectivas espécies.

Quadro 5: Espécies florestais nativas abordadas nos estudos

Autor	Espécie florestal nativa
FRANÇA, George Martins de (2025).	Jurema-preta (<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.)
BORBA, Luiz Gustavo Lopes (2023).	Pau-ferro (<i>Libidibia ferrea</i>)
OLIVEIRA, Jéssica Costa de <i>et al</i> (2023).	Macaúba (<i>Acrocomia aculeata</i>), araçá (<i>Psidium cattleianum</i>) e cajuzinho do cerrado (<i>Anacardium humile</i>)
DOS SANTOS, Marina Remião <i>et al</i> (2023).	Acácia (<i>Acacia mangium</i>)
FERREIRA, João Cleber Cavalcante (2022).	Pau-rosa (<i>Aniba rosaeodora DUCKE</i>)
DA COSTA PASSOS, Elson <i>et al</i> (2022).	Faveira (<i>Parkia platycephala Benth</i>)
SOARES, Deanna Carla Oliveira <i>et al</i> (2021).	Saboeiro (<i>Sapindus saponaria L.</i>)
TORRES, Leandro Marques <i>et al</i> (2021).	Paricá (<i>Schizolobium amazonicum</i>)
NEVES, Luiz André Gomes (2019).	Pau-rosa (<i>Aniba rosaeodora DUCKE</i>)
GAMA, Romildo Torres da (2018).	Castanheira-do-Brasil (<i>Bertholletia excelsai</i>)
OLIVEIRA, Danielle Monteiro de (2017).	Castanheira-do-Brasil (<i>Bertholletia excelsai</i>)
LIMA, Stefany Lorryny <i>et al</i> (2016).	Angico (<i>Anadenanthera colubrina</i>)
LIMA, Stefany Lorryny (2015).	Angico (<i>Anadenanthera colubrina</i>)

Fonte: Autor (2025)

Observa-se uma diversidade de espécies, refletindo a ampla aplicabilidade do biocarvão em diferentes contextos ecológicos e regionais. Dentre as espécies mais recorrentes estão o pau-rosa (*Aniba rosaeodora DUCKE*), a castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) e o angico (*Anadenanthera colubrina*), o que demonstra o interesse dos pesquisadores em espécies de elevado valor ecológico, econômico ou ameaçadas de extinção.

Além disso, há também estudos voltados para espécies como paricá (*Schizolobium*

amazonicum), faveira (*Parkia platycephala Benth*), acácia (*Acacia mangium*) e saboeiro (*Sapindus saponaria L.*), indicando o potencial do biocarvão como alternativa sustentável para o fortalecimento da silvicultura de nativas em diferentes biomas.

Outro aspecto relevante é a presença de espécies do cerrado, como macaúba (*Acrocomia aculeata*), araçá (*Psidium cattleianum*) e cajuzinho do cerrado (*Anacardium humile*), revelando uma ampliação da aplicação do biocarvão para além da Amazônia. Isso reforça o papel da tecnologia como ferramenta promissora para a restauração ecológica e a produção de mudas adaptadas a diferentes condições edafoclimáticas.

3.3 Aplicações do biocarvão nos substratos utilizados nos ensaios

Ao observar os ensaios descritos nas publicações analisadas, foi possível identificar de que forma o biocarvão foi utilizado nos substratos testados. Em muitos dos estudos, o material foi combinado com outros componentes, como esterco ou composto químico em vez de ser aplicado isoladamente. Isso revela uma tendência de uso associado do biocarvão, com o objetivo de melhorar as características físicas e químicas dos substratos utilizados na produção de mudas.

O quadro 6 apresenta uma síntese das quantidades aplicadas bem como as espécies avaliadas em cada pesquisa permitindo visualizar de forma comparativa as diferentes abordagens adotadas nos trabalhos selecionados.

Quadro 6: Aplicação do biocarvão em substratos para mudas nativas

Autor	Aplicação do biocarvão	Quantidade	Espécie
FRANÇA, George Martins de (2025).	Biochar resultado da fragmentação de carvão vegetal	0, 10 e 25%	Jurema-preta (<i>Mimosa tenuiflora (Willd.) Poir.</i>)
BORBA, Luiz Gustavo Lopes (2023).	Biochar	0, 10, 20, 40 e 50%	Pau-ferro (<i>Libidibia ferrea</i>)

OLIVEIRA, Jéssica Costa de <i>et al</i> (2023).	Biochar de torta de filtro	1%, 2%, 4% e 8% v/v	Macaúba (<i>Acrocomia aculeata</i>), araçá (<i>Psidium cattleianum</i>) e cajuzinho do cerrado (<i>Anacardium humile</i>)
DOS SANTOS, Marina Remião <i>et al</i> (2023).	Biochar derivado de finos de carvão vegetal	0,5,25,50,75 %	Acácia (<i>Acacia mangium</i>)
FERREIRA, João Cleber Cavalcante (2022).	Biochar de resíduos de madeira	10 t ha ⁻¹	Pau-rosa (<i>Aniba rosaeodora DUCKE</i>)
DA COSTA PASSOS, Elson <i>et al</i> (2022).	Biocarvão de segmentos de tronco e galhos de lacre (<i>Vismia guianensis</i>)	0, 20, 40, 60 e 80 t ha ⁻¹	Faveira (<i>Parkia platycephala Benth</i>)
SOARES, Deanna Carla Oliveira <i>et al</i> (2021).	Biochar proveniente de moinha de carvão de eucalipto.	0%, 7,5%, 15%, 22,5% e 30%	Saboeiro (<i>Sapindus saponaria L.</i>)
TORRES, Leandro Marques <i>et al</i> (2021).	Biocarvão de caroço de açaí	0, 50, 75 e 100%	Paricá (<i>Schizolobium amazonicum</i>)
NEVES, Luiz André Gomes (2019).	Biocarvão de biomassa fresca de ouriço de castanha do Brasil.	0 e 20 t ha ⁻¹	Pau-rosa (<i>Aniba rosaeodora DUCKE</i>)
GAMA, Romildo Torres da (2018).	Biocarvão de biomassa seca de ouriços total de castanha-do-brasil	0 e 40 t ha ⁻¹	Castanheira-do-Brasil (<i>Bertholletia excelsa</i>)
OLIVEIRA, Danielle Monteiro de (2017).	Biocarvão de biomassa seca de ouriços de castanha da safra	0, 20, 40, 60 e 80 t ha ⁻¹	Castanheira-do-Brasil (<i>Bertholletia excelsa</i>)
LIMA, Stefany Lorryny <i>et al</i> (2016).	Biochar de carvão vegetal	0, 5, 10, 20 e 35%	Angico (<i>Anadenanthera colubrina</i>)
LIMA, Stefany Lorryny (2015).	Biochar de carvão vegetal de madeira de eucalipto	0, 5, 10, 20 e 35%	Angico (<i>Anadenanthera colubrina</i>)

Fonte: Autor (2025)

Ao analisar a origem do biocarvão, verificou-se que cinco estudos utilizaram biocarvão derivado de carvão vegetal (LIMA, 2015 e 2016; DOS SANTOS, 2023; FRANÇA, 2025). Essa escolha pode estar associada ao carvão vegetal ser uma fonte renovável de energia obtida por meio da carbonização parcial da madeira, especialmente de espécies como eucalipto e pinus (FAO, 2016). Por ser amplamente empregado na indústria siderúrgica, o material residual proveniente de sua produção é de fácil obtenção, o que possivelmente justifica a preferência dos autores por essa matéria-prima.

A diversidade dos tipos de biocarvão empregados é evidente, abrangendo materiais como biochar proveniente de torta de filtro, derivados de finos de madeira, resíduos de madeira, segmentos de tronco e galhos de lacre, bem como biomassa seca e fresca de

ouriços de castanheira.

Verificou-se que Borba (2023) não especificou o tipo de biocarvão utilizado. Essa ausência de detalhamento pode limitar a compreensão dos resultados, uma vez que a origem e as características do biocarvão influenciam diretamente suas propriedades físico-químicas e, conseqüentemente, seu desempenho como substrato.

O quadro 7 apresenta as combinações de materiais utilizados juntamente com o biocarvão na formulação dos substratos testados nos diferentes estudos analisados. Essas combinações abrangem desde adubos químicos e matéria orgânica até esterco, solo, rejeitos industriais, bioestimulantes e substratos comerciais, refletindo a diversidade de estratégias adotadas para potencializar o desempenho das mudas. A seleção desses componentes visa aprimorar as propriedades nutricionais, físicas e biológicas do substrato, criando condições favoráveis para o crescimento e o vigor de espécies florestais nativas.

Quadro 7: Combinações do biocarvão em substratos para mudas nativas

Autor	Combinação	Espécie
FRANÇA, George Martins de (2025).	Biocarvão + solo + esterco bovino + rejeito de caulim.	Jurema-preta (<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.)
BORBA, Luiz Gustavo Lopes (2023).	Biocarvão + Composto orgânico	Pau-ferro (<i>Libidibia ferrea</i>)
OLIVEIRA, Jéssica Costa de <i>et al</i> (2023).	Biocarvão	Macaúba (<i>Acrocomia aculeata</i>), araquá (<i>Psidium cattleianum</i>) e cajuzinho do cerrado (<i>Anacardium humile</i>)
DOS SANTOS, Marina Remião <i>et al</i> (2023).	Biocarvão + substrato comercial à base de turfa, vermiculita e calcário.	Acácia (<i>Acacia mangium</i>)
FERREIRA, João Cleber Cavalcante (2022).	Biocarvão + esterco de galinha + Formulado NPK 4-14-8 no plantio e 18-00-18 em cobertura	Pau-rosa (<i>Aniba rosaeodora</i> DUCKE)
DA COSTA PASSOS, Elson <i>et al</i> (2022).	Biocarvão + Esterco bovino	Faveira (<i>Parkia platycephala</i> Bentham)
SOARES, Deanna Carla Oliveira <i>et al</i> (2021).	Biocarvão + bioestimulante	Saboeiro (<i>Sapindus saponaria</i> L.)
TORRES, Leandro Marques <i>et al</i> (2021).	Biocarvão + Solo Latossolo Amarelo de textura média + calagem + adubação química.	Paricá (<i>Schizolobium amazonicum</i>)
NEVES, Luiz André Gomes (2019).	Biocarvão + doses de Nitrogênio	Pau-rosa (<i>Aniba rosaeodora</i> DUCKE)
GAMA, Romildo Torres da (2018).	Biocarvão + doses crescentes de N	Castanheira-do-Brasil

		(<i>Bertholletia excelsai</i>)
OLIVEIRA, Danielle Monteiro de (2017).	Biocarvão + doses de P_2O_5	Castanheira-do-Brasil (<i>Bertholletia excelsai</i>)
LIMA, Stefany Lorrainny <i>et al</i> (2016).	Biocarvão + concentrações de N e Biocarvão + concentrações de P	Angico (<i>Anadenanthera colubrina</i>)
LIMA, Stefany Lorrainny (2015).	Biocarvão + concentrações de N	Angico (<i>Anadenanthera colubrina</i>)

Fonte: Autor (2025)

Foi observado que o Nitrogênio (N) aparece com frequência nas combinações utilizadas nos estudos analisados. Esse elemento é considerado o nutriente mais exigido pelas plantas, o que se deve à sua função estrutural fundamental, já que compõe partes essenciais das células e está diretamente envolvido em processos vitais como fotossíntese, respiração, absorção iônica, multiplicação e diferenciação celular (MALAVOLTA, 2006). A presença recorrente do nitrogênio nos substratos indica uma estratégia dos autores para atender à alta demanda nutricional das mudas em fase inicial de desenvolvimento, especialmente em espécies florestais que necessitam de um bom aporte nutricional para garantir um crescimento vigoroso e saudável.

A maioria das combinações incluía componentes químicos, especialmente Nitrogênio (N) e Fósforo (P), como nos estudos de Gama (2018), Lima (2015 e 2016), Ferreira (2022) e Oliveira (2017). A presença desses macronutrientes se justifica por sua importância na fisiologia vegetal. Como já mencionado, o nitrogênio é o nutriente mais exigido pelas plantas, pois é fundamental para os processos fisiológicos (MALAVOLTA, 2006). Já o Fósforo contribui para a divisão celular, o crescimento do sistema radicular e o fornecimento de energia por meio do ATP, sendo essencial nas fases iniciais de desenvolvimento das mudas (VIEIRA *et al.*, 2015).

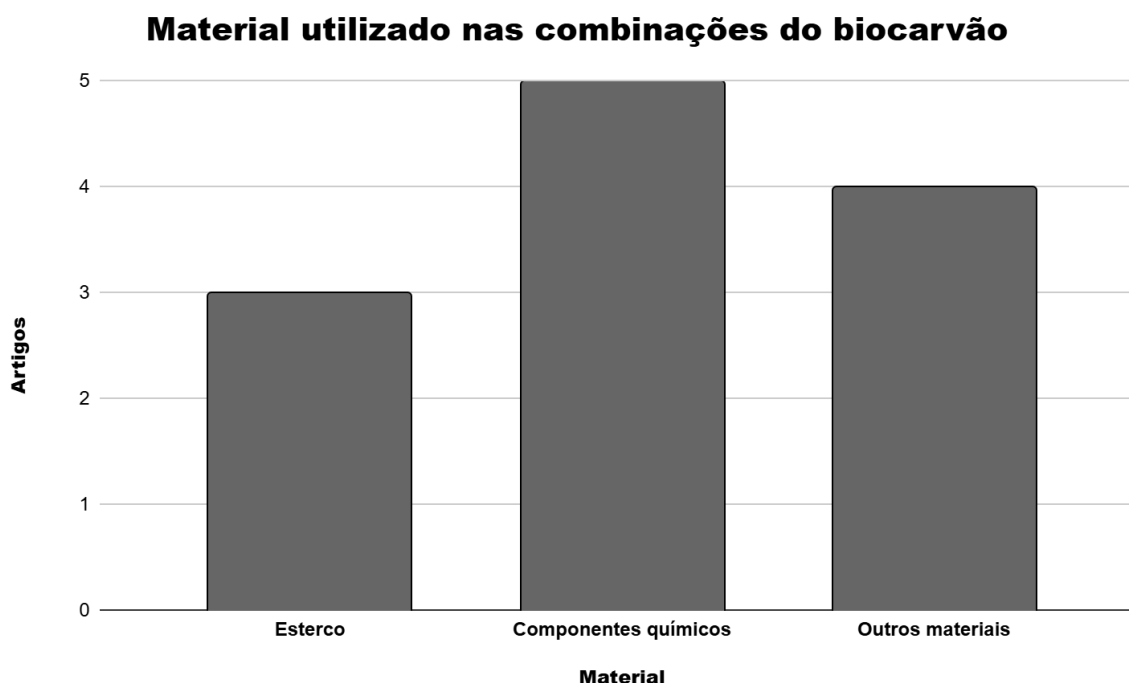
Além das combinações químicas, três trabalhos utilizaram esterco em suas formulações — sendo dois com esterco bovino (DA COSTA PASSOS, 2022; FRANÇA, 2025) e um com esterco de galinha (FERREIRA, 2022). O uso de esterco se justifica pela sua composição variável, mas geralmente rica em nitrogênio, fósforo e potássio, nutrientes essenciais para o desenvolvimento vegetal (KIEHL, 2008).

Considerando os 13 trabalhos analisados, 5 utilizaram componentes químicos, 3 incluíram esterco e 4 estudos utilizaram outras abordagens. Esses quatro trabalhos testaram

combinações variadas como biocarvão + composto orgânico (BORBA, 2023); biocarvão + solo latossolo + calagem + adubação química (TORRES, 2021); biocarvão + substrato comercial com turfa, vermiculita e perlita (DOS SANTOS, 2023); biocarvão + bioestimulante (SOARES, 2021).

Essa diversidade indica o interesse em compreender não só o efeito do biocarvão em si, mas também como ele interage com diferentes tipos de materiais, sejam eles minerais, orgânicos ou residuais (Figura 2).

Figura 2: Materiais combinados ao biocarvão nos estudos analisados



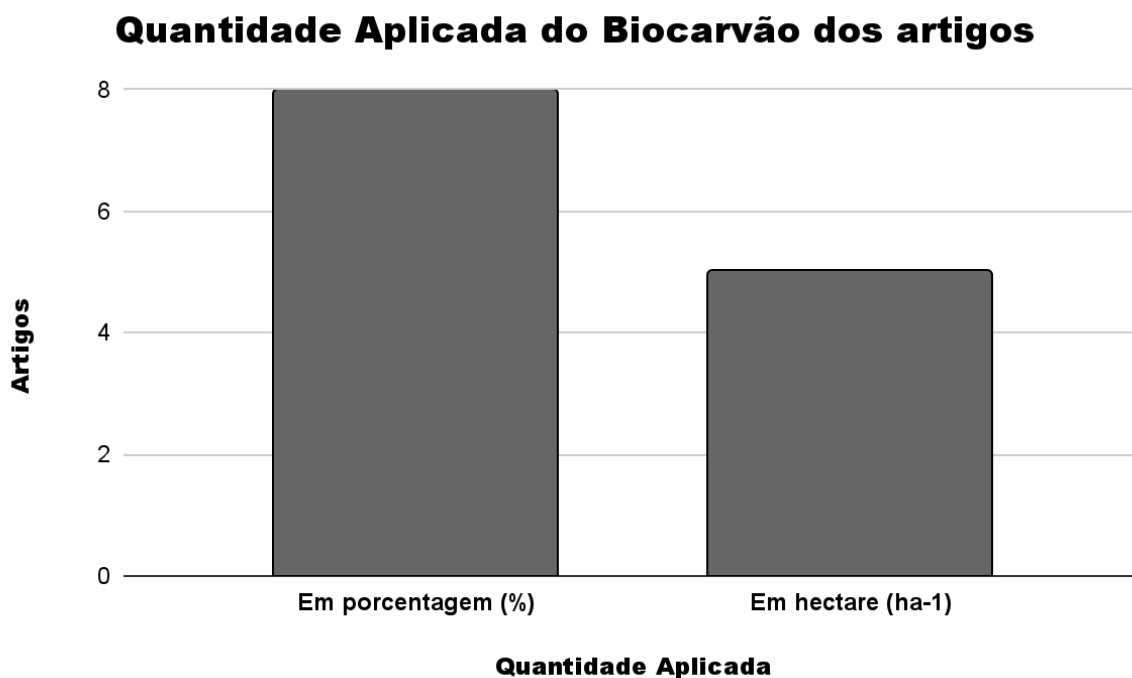
Fonte: Autor (2025)

Foi identificado que Oliveira (2023) optou por não realizar nenhuma combinação explícita, utilizando apenas o biocarvão como componente do substrato. Essa estratégia pode ter sido adotada para isolar os efeitos do biochar, possibilitando uma avaliação mais precisa de sua contribuição individual ao desenvolvimento das mudas, sem interferência de outros insumos.

Em relação às quantidades aplicadas de biocarvão, os estudos apresentaram variações significativas. Oito pesquisas utilizaram proporções em volume ou peso, expressas em porcentagens crescentes (como 0, 5, 10, 20, 30% etc.), enquanto cinco se basearam em doses fixas por hectare (10 t ha^{-1} ou até 80 t ha^{-1}). Essa variação, observada na figura 3,

sugere uma tentativa de identificar a dosagem mais adequada para cada espécie e combinação de substrato, além de verificar possíveis efeitos tóxicos ou inibidores em altas concentrações.

Figura 3: Quantidade aplicada de biocarvão nos trabalhos por tipo de medida



Fonte: Autor (2025)

Todos os trabalhos apresentaram a quantidade de biocarvão utilizada garantindo maior confiabilidade para comparação e replicabilidade dos estudos. Um ponto comum observado entre todos os trabalhos foi a utilização de diferentes tratamentos experimentais. Em todos os estudos, as formulações foram comparadas com tratamentos controle — ou seja, substratos sem adição de biocarvão — com o objetivo de avaliar como o uso do biochar altera o desempenho das mudas em relação a um cenário sem sua aplicação. Essa prática é essencial para identificar se os efeitos positivos observados são realmente atribuíveis ao biocarvão ou às combinações aplicadas.

Além disso, notou-se que a diversidade de espécies florestais nativas testadas, como Paricá, Castanheira-do-Brasil, Pau-ferro, Angico, Pau-rosa, Faveira, Acácia, Macaúba, Saboeiro e Jurema-preta indicou a relevância do biocarvão como insumo com potencial de aplicação ampla na restauração ecológica e reflorestamento com espécies nativas,

contribuindo para práticas sustentáveis na produção de mudas.

3.4 Parâmetros avaliados no crescimento de mudas

Foi verificado que os trabalhos utilizaram diferentes parâmetros para avaliar o desempenho das mudas cultivadas em substratos com biocarvão. O Quadro 8 apresenta os principais parâmetros analisados nos estudos que utilizaram biocarvão na produção de mudas de espécies florestais nativas. Os trabalhos foram classificados conforme a natureza das avaliações realizadas, distinguindo entre análises morfológicas e fisiológicas, além de identificar a espécie avaliada em cada pesquisa. Esse levantamento permite observar quais aspectos do desenvolvimento das mudas foram priorizados nas investigações.

A escolha em classificar os parâmetros morfológicos e fisiológicos visou facilitar a compreensão das informações considerando que muitos dos trabalhos selecionados avaliaram múltiplos aspectos do desenvolvimento das mudas.

Quadro 8: Parâmetros morfológicos e fisiológicos avaliados

Autor	Parâmetros avaliados	Espécie
FRANÇA, George Martins de (2025).	Morfológicos e fisiológicos	Jurema-preta (<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.)
BORBA, Luiz Gustavo Lopes (2023).	Morfológicos	Pau-ferro (<i>Libidibia ferrea</i>)
OLIVEIRA, Jéssica Costa de <i>et al</i> (2023).	Morfológicos e fisiológicos	Macaúba (<i>Acrocomia aculeata</i>), araçá (<i>Psidium cattleianum</i>) e cajuzinho do cerrado (<i>Anacardium humile</i>)
DOS SANTOS, Marina Remião <i>et al</i> (2023).	Morfológicos e fisiológicos	Acácia (<i>Acacia mangium</i>)
FERREIRA, João Cleber Cavalcante (2022).	Morfológicos e fisiológicos	Pau-rosa (<i>Aniba rosaeodora</i> DUCKE)
DA COSTA PASSOS, Elson <i>et al</i> (2022).	Morfológicos	Faveira (<i>Parkia platycephala</i> Benth)
SOARES, Deanna Carla Oliveira <i>et al</i> (2021).	Morfológicos	Saboeiro (<i>Sapindus saponaria</i> L.)
TORRES, Leandro Marques <i>et al</i> (2021).	Morfológicos	Paricá (<i>Schizolobium amazonicum</i>)
NEVES, Luiz André Gomes (2019).	Morfológicos e fisiológicos	Pau-rosa (<i>Aniba rosaeodora</i> DUCKE)
GAMA, Romildo Torres da (2018).	Morfológicos	Castanheira-do-Brasil (<i>Bertholletia excelsai</i>)

OLIVEIRA, Danielle Monteiro de (2017).	Morfológicos	Castanheira-do-Brasil (<i>Bertholletia excelsai</i>)
LIMA, Stefany Lorrainy <i>et al</i> (2016).	Morfológicos	Angico (<i>Anadenanthera colubrina</i>)
LIMA, Stefany Lorrainy (2015).	Morfológicos e fisiológicos	Angico (<i>Anadenanthera colubrina</i>)

Fonte: Autor (2025)

Observou-se que todos os trabalhos analisados trabalharam e discutiram com clareza os resultados obtidos em cada parâmetro avaliado, fornecendo interpretações consistentes e embasadas nas respostas das mudas ao uso do biocarvão e suas combinações. Essa abordagem contribuiu para a credibilidade dos dados e para a construção de um panorama sólido sobre os efeitos do insumo nos diferentes aspectos das plantas (GOMES *et al*, 2002).

Para complementar a análise de forma mais clara e visual, o Quadro 9 apresenta detalhadamente cada parâmetro avaliado nos trabalhos.

Quadro 9: Parâmetros avaliados nos estudos

Autor	Parâmetros avaliados	Espécie
FRANÇA, George Martins de (2025).	condutância estomática (gs), taxa de transpiração (E), taxa de fotossíntese (A), concentração interna de CO ₂ (Ci), eficiência no uso da água (EUA), eficiência de carboxilação (A/Ci), teor relativo de água (TRA), potencial hídrico foliar (4%), altura das mudas, taxa de crescimento absoluto (TCA), diâmetro do caule, razão altura/diâmetro (RAD), produção de biomassa e Índice de qualidade das mudas (/QD).	Jurema-preta (<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.)
BORBA, Luiz Gustavo Lopes (2023).	diâmetro do coleto, altura da muda, número de folhas, relação altura/diâmetro do coleto, massa seca do sistema radicular, massa seca da parte aérea, massa seca total, relação massa seca da parte aérea/sistema radicular, relação altura da parte aérea/massa seca da parte aérea e o índice de qualidade de Dickson.	Pau-ferro (<i>Libidibia ferrea</i>)
OLIVEIRA, Jéssica Costa de <i>et al</i> (2023).	fotossíntese, transpiração, condutância estomática, CO ₂ consumido, carbono interno e taxa de transporte de elétrons, altura e diâmetro.	Macaúba (<i>Acrocomia aculeata</i>), araçá (<i>Psidium cattleianum</i>) e cajuzinho do cerrado (<i>Anacardium humile</i>)
DOS SANTOS, Marina Remião <i>et al</i> (2023).	densidade, pH, condutividade elétrica, teor total de sais solúveis, retenção de água a 10, 50 e 100 hPa, porosidade total, espaço de aeração, água facilmente disponível e água tamponante.	Acácia (<i>Acacia mangium</i>)
FERREIRA, João Cleber Cavalcante (2022).	Crescimento em altura, diâmetro do coleto, ganho foliar, relação altura/diâmetro, concentrações dos macros (N, P, K, Ca, Mg) e micronutrientes (Fe, Zn e Mn) nas folhas e os	Pau-rosa (<i>Aniba rosaedora</i> DUCKE)

	atributos químicos do solo.	
DA COSTA PASSOS, Elson <i>et al</i> (2022).	massa seca da parte aérea e da raiz, massa seca total e a concentração de macro e micronutrientes na parte aérea.	Faveira (<i>Parkia platycephala Benth</i>)
SOARES, Deanna Carla Oliveira <i>et al</i> (2021).	altura total da muda (HT), diâmetro do colo (DC), volume de raiz (VR), comprimento de raiz (CR), massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total (MST), área foliar (AF), relação altura total/diâmetro do colo (RHDC), relação altura total/parte aérea (RHPA), relação parte aérea/raiz (RPAR) e índice de qualidade de Dickson (IQD).	Saboeiro (<i>Sapindus saponaria L.</i>)
TORRES, Leandro Marques <i>et al</i> (2021).	altura da parte aérea (APA), diâmetro do coleto (DC), matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca de raiz (MSR).	Paricá (<i>Schizolobium amazonicum</i>)
NEVES, Luiz André Gomes (2019).	os atributos e nutrientes do solo, crescimento em altura, diâmetro, número de folhas, relação altura/diâmetro, relação raiz/parte área, massa seca total (MST), massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte área (MSPA), Índice de Qualidade de Dickson (IQD) e estado nutricional das plantas de pau-rosa.	Pau-rosa (<i>Aniba rosaeodora DUCKE</i>)
GAMA, Romildo Torres da (2018).	taxa de crescimento relativo em altura, taxa de crescimento relativo em diâmetro, taxa de crescimento absoluto em altura, taxa de crescimento absoluto em diâmetro, crescimento absoluto em altura e índice de qualidade de Dickson	Castanheira-do-Brasil (<i>Bertholletia excelsai</i>)
OLIVEIRA, Danielle Monteiro de (2017).	altura de plantas, diâmetro do caule, número de folhas e matéria seca da parte aérea-MSPA	Castanheira-do-Brasil (<i>Bertholletia excelsai</i>)
LIMA, Stefany Lorryny <i>et al</i> (2016).	quanto à altura, diâmetro, massa de matéria seca da parte aérea e massa de matéria seca do sistema radicular.	Angico (<i>Anadenanthera colubrina</i>)
LIMA, Stefany Lorryny (2015).	os padrões de crescimento, qualidade e nutrição das plantas,	Angico (<i>Anadenanthera colubrina</i>)

Fonte: Autor (2025)

Durante a análise, verificou-se que alguns estudos utilizaram parâmetros morfométricos, como área foliar ou volume radicular. Para fins deste trabalho, esses parâmetros foram classificados como morfológicos, uma vez que, nos trabalhos, apareciam descritos juntamente com os demais critérios dessa categoria, sem distinção específica.

O quadro 10 apresenta os principais parâmetros morfológicos e fisiológicos comumente utilizados na avaliação de mudas.

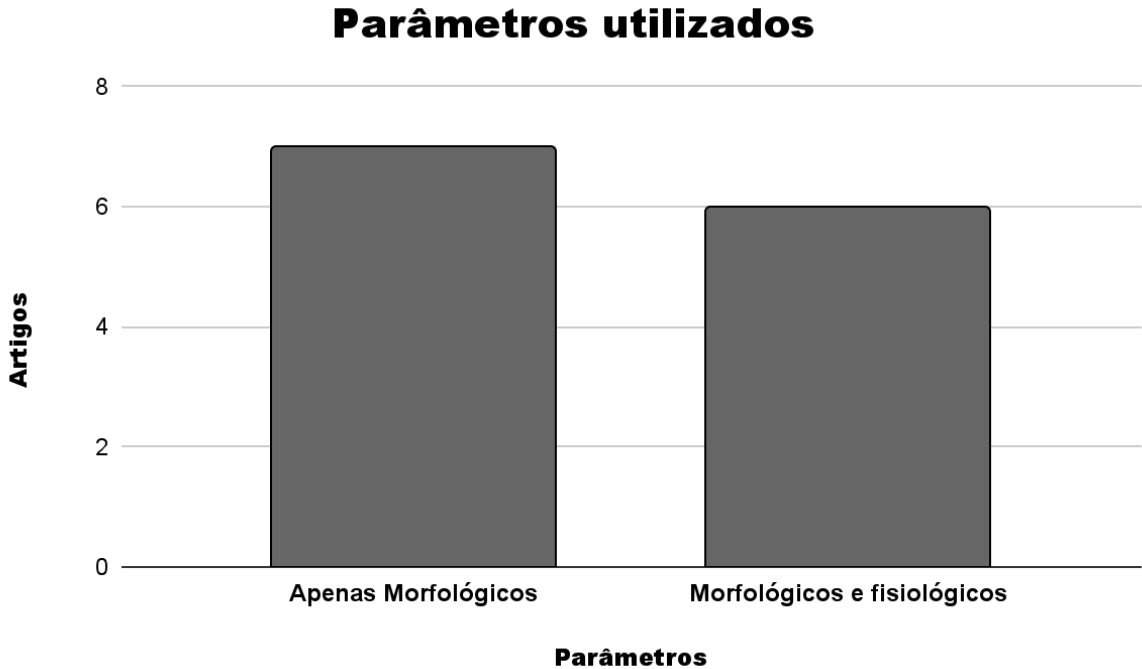
Quadro 10: Parâmetros morfológicos e fisiológicos mais encontrados

Parâmetros Morfológicos	Parâmetros Fisiológicos
Altura (altura da muda, altura total ou da parte aérea);	Concentração de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg);
Diâmetro (coleto, colo ou caule);	
Massa seca da parte aérea (MSPA);	Concentração de micronutrientes (Fe, Zn, Mn);
Massa seca da raiz (MSR) ou sistema radicular;	
Massa seca total (MST);	Fotossíntese líquida (A);
Número de folhas;	
Relação altura/diâmetro (RAD);	Taxa de transpiração.
Relação parte aérea/raiz ou parte aérea/sistema radicular.	

Fonte: Autor (2025)

Entre os 13 trabalhos analisados, sete utilizaram exclusivamente parâmetros morfológicos, enquanto seis estudos empregaram tanto parâmetros morfológicos quanto fisiológicos. A figura 4 demonstra que essa distribuição mostra uma valorização crescente da análise integrada das mudas, que considera tanto sua aparência externa quanto seus aspectos internos.

Figura 4: Parâmetros avaliados nos estudos com biocarvão



Fonte: Autor (2025)

Nos trabalhos que abordaram apenas os parâmetros morfológicos como em Oliveira (2017), Da Costa Passos *et al.* (2022), Soares *et al.* (2021), Torres (2021), Gama (2018), Borba (2023) e Lima *et al.* (2016), muitos enfatizaram critérios como altura,

desenvolvimento da raiz, crescimento geral da muda e qualidade, demonstrando foco em características visíveis e facilmente mensuráveis no viveiro (GOMES *et al*, 2002). Importante destacar que esses trabalhos não incluíram nenhum outro tipo de critério fora da categoria morfológica, restringindo sua análise a esse conjunto de dados.

Durante a leitura, também foi identificado que Lima (2015) não especificou detalhadamente os parâmetros utilizados, referindo-se apenas a termos genéricos como crescimento, qualidade ou nutrição das plantas, sem esclarecer quais variáveis foram efetivamente mensuradas. Essa ausência de detalhamento pode dificultar a replicabilidade dos estudos e a comparação direta entre os resultados, além de limitar a compreensão do impacto real do biocarvão sobre aspectos específicos do desenvolvimento das mudas.

Outro ponto observado no quadro 8 é que alguns trabalhos adotaram conjuntos distintos de variáveis para cada espécie avaliada dentro do mesmo experimento. Isso foi identificado nos trabalhos de Lima (2015 e 2016), que estudaram o angico (*Anadenanthera colubrina*); Ferreira (2022) e Neves (2019), que abordaram o pau-rosa (*Aniba rosaeodora DUCKE*); e Gama (2018) e Oliveira (2017), que investigaram a castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsai*). Todos esses estudos testaram duas espécies nativas, mas cada uma optou por analisar parâmetros diferentes para cada uma. Embora essa abordagem seja comum em pesquisas com múltiplas espécies, ela exige cautela na interpretação dos dados, pois pode dificultar a padronização e a comparação direta dos resultados.

Além disso, é possível perceber que há uma predominância do uso de parâmetros morfológicos em relação aos fisiológicos. Essa preferência pode estar associada à praticidade de mensuração, ao menor custo envolvido e à aplicabilidade direta desses indicadores no contexto de viveiros comerciais. Segundo Fonseca (2000), os parâmetros morfológicos são atributos determinados física ou visualmente e têm sido amplamente utilizados, pois diversos estudos demonstram que os critérios baseados nessas características são fundamentais para o bom desempenho das mudas após o plantio no campo.

Por fim, vale destacar que a variedade de parâmetros e abordagens utilizadas nos estudos revisados reflete a diversidade metodológica da área, indicando que a avaliação do uso do biocarvão na produção de mudas ainda se encontra em construção e amadurecimento, abrindo espaço para o desenvolvimento de protocolos mais padronizados e integrativos.

3.5 Efeitos e Potencial do biocarvão sobre o desenvolvimento das espécies

Foram analisados os efeitos do uso do biocarvão sobre o desenvolvimento das espécies nativas avaliadas em cada trabalho, considerando se sua aplicação nos substratos resultou em respostas satisfatórias, insatisfatórias e parcialmente satisfatórias no crescimento das mudas (Quadro 11). Em alguns estudos, além dos resultados observados, os autores também discutiram o potencial do biocarvão para uso futuro, sugerindo sua viabilidade em pesquisas complementares ou em práticas voltadas à produção de mudas e à restauração florestal.

Quadro 11: Classificação dos resultados do uso do biocarvão

Autor	Resultados	Espécie
FRANÇA, George Martins de (2025).	Parcialmente Satisfatórios	Jurema-preta (<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.)
BORBA, Luiz Gustavo Lopes (2023).	Satisfatórios	Pau-ferro (<i>Libidibia ferrea</i>)
OLIVEIRA, Jéssica Costa de <i>et al</i> (2023).	Satisfatórios	Macaúba (<i>Acrocomia aculeata</i>), araçá (<i>Psidium cattleianum</i>) e cajuzinho do cerrado (<i>Anacardium humile</i>)
DOS SANTOS, Marina Remião <i>et al</i> (2023).	Satisfatórios	Acácia (<i>Acacia mangium</i>)
FERREIRA, João Cleber Cavalcante (2022).	Parcialmente Satisfatórios	Pau-rosa (<i>Aniba rosaeodora</i> DUCKE)
DA COSTA PASSOS, Elson <i>et al</i> (2022).	Insatisfatórios	Faveira (<i>Parkia platycephala</i> Bentham)
SOARES, Deanna Carla Oliveira <i>et al</i> (2021).	Insatisfatórios	Saboeiro (<i>Sapindus saponaria</i> L.)
TORRES, Leandro Marques <i>et al</i> (2021).	Insatisfatórios	Paricá (<i>Schizolobium amazonicum</i>)
NEVES, Luiz André Gomes (2019).	Satisfatórios	Pau-rosa (<i>Aniba rosaeodora</i> DUCKE)
GAMA, Romildo Torres da (2018).	Parcialmente Satisfatórios	Castanheira-do-Brasil (<i>Bertholletia excelsai</i>)
OLIVEIRA, Danielle Monteiro de (2017).	Parcialmente Satisfatórios	Castanheira-do-Brasil (<i>Bertholletia excelsai</i>)
LIMA, Stefany Lorrainny <i>et al</i> (2016).	Satisfatórios	Angico (<i>Anadenanthera colubrina</i>)
LIMA, Stefany Lorrainny (2015).	Parcialmente Satisfatórios	Angico (<i>Anadenanthera colubrina</i>)

Para avaliar o desempenho do biocarvão no desenvolvimento de mudas de espécies florestais nativas, os trabalhos selecionados foram classificados em três categorias distintas, conforme os efeitos observados:

- **Satisfatórios:** trabalhos que apresentaram resultados positivos do biocarvão na maioria ou em todos os parâmetros avaliados.
- **Parcialmente satisfatórios:** estudos que indicaram efeitos positivos do biocarvão em alguns parâmetros, enquanto outros apresentaram respostas negativas.
- **Insatisfatórios:** pesquisas que não observaram resposta positiva significativa ao uso do biocarvão, ou em que os efeitos foram negativos em quase todos os parâmetros.

Essa classificação permite uma compreensão mais clara da efetividade do biocarvão e dos fatores que podem influenciar seus resultados.

Borba (2023), Lima *et al.* (2016), Neves (2019), Dos Santos (2023) e Oliveira *et al.* (2023) apresentaram resultados satisfatórios. Esses estudos destacaram o biocarvão como um material eficiente no fornecimento de nutrientes, na melhora das características físicas do substrato e na promoção do desenvolvimento das mudas. Borba (2023) por exemplo, obteve sucesso com a espécie Pau-ferro (*Libidibia ferrea*), enquanto Neves (2019) demonstrou bons resultados com Pau-rosa (*Aniba rosaeodora DUCKE*), apontando que diferentes espécies podem se beneficiar da aplicação adequada do biocarvão.

Torres *et al.* (2021), Da Costa Passos *et al.* (2022) e Soares *et al.* (2021) apresentaram resultados insatisfatórios, nos quais o uso do biocarvão não trouxe benefícios evidentes. A ausência de resultados positivos pode estar relacionada a diferentes fatores, como: porosidade inadequada do biocarvão afetada pela intensidade térmica aplicada na pirólise (SUN *et al.*, 2014), excesso ou deficiência na quantidade aplicada, composição química desfavorável do material carbonizado, ou características específicas da espécie florestal utilizada, como no caso da faveira (*Parkia platycephala Benth*), avaliada por Da Costa Passos *et al.* (2022). É importante considerar ainda que a interação entre a espécie e o

tipo de biocarvão pode afetar a eficácia do substrato, não sendo viável aplicar a mesma formulação para todas as espécies nativas.

Gama (2018), Oliveira (2017), Ferreira (2022), Lima (2015) e França (2025) foram classificados como parcialmente satisfatórios. Esses estudos revelaram respostas positivas em alguns tratamentos ou parâmetros, enquanto outros resultados foram negativos ou nulos. As razões mais prováveis para essa variação incluem:

- **Interação diferenciada com os materiais do substrato**, o que resultou em desempenho positivo em alguns contextos e não em outros.

Ferreira (2022) destacou que o biocarvão, utilizado sozinho ou em associação ao esterco, demonstrou grande potencial como condicionador do solo, contribuindo para a melhoria de suas propriedades químicas, já Gama (2018) ressaltou que vários parâmetros do solo e das plantas apresentaram incremento nas doses de 0 a 135 kg ha⁻¹ de N, entretanto, esse mesmo padrão não foi verificado com o uso do biocarvão.

- **Variação nas quantidades ou doses aplicadas**, em que determinadas concentrações de biocarvão foram prejudiciais.

Um exemplo disso é que em Oliveira (2017), houve incremento na matéria seca da parte aérea com o aumento das doses de biocarvão em determinados tratamentos, mas na última avaliação observou-se um efeito negativo, indicando que doses mais elevadas podem ter prejudicado o desenvolvimento das plantas.

- **Composição química do biocarvão**, que favoreceu o desenvolvimento em algumas situações específicas, mas não em outras.

O trabalho realizado por Oliveira (2017) demonstrou que o biocarvão utilizado no estudo apresentou baixos teores de nitrogênio total, fósforo, cálcio, potássio e magnésio em comparação aos compostos orgânicos. Entretanto, ainda assim mostrou a capacidade de adsorção de alguns atributos químicos do solo e principalmente nos teores de P.

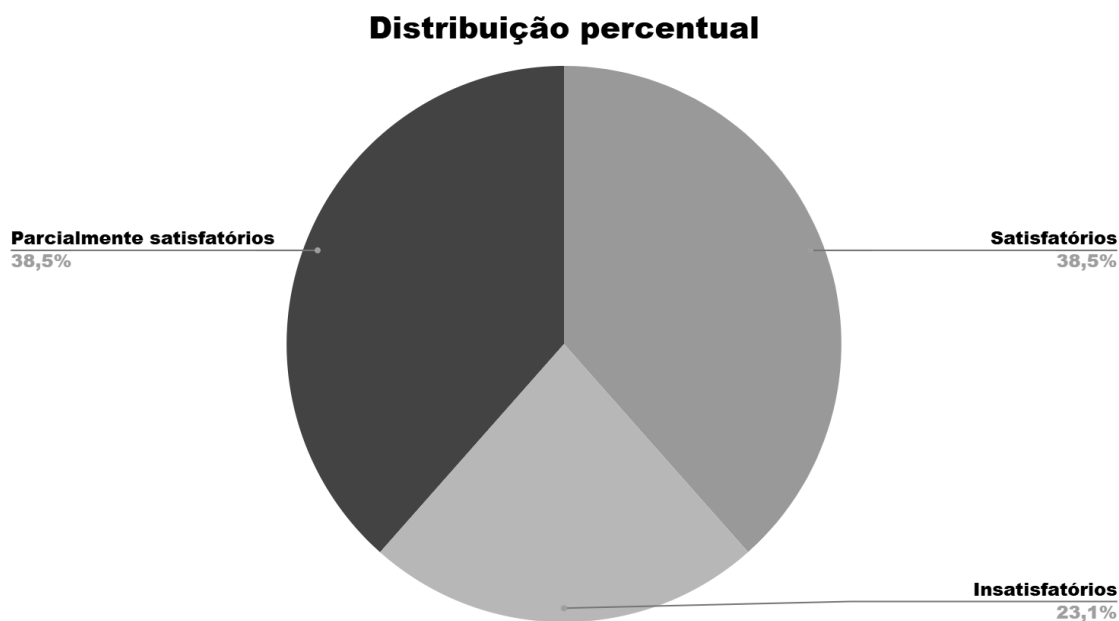
- **Resposta específica da espécie nativa**, sendo que em alguns casos o biocarvão somente produziu resultados satisfatórios quando aplicado de forma isolada ou

controlada.

Ferreira (2022) evidenciou que a Jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.) apresentou resultados satisfatórios apenas quando cultivada em substrato contendo a combinação de rejeito de caulim, esterco e 10% de biocarvão. De forma semelhante, Lima (2015) verificou que o uso de biocarvão associado a altas doses de nitrogênio favoreceu o desenvolvimento das mudas de Angico (*Anadenanthera colubrina*).

A Figura 5 apresenta a distribuição percentual dos trabalhos analisados, evidenciando que as categorias Satisfatórios (38,5%) e Parcialmente satisfatórios (38,5%) abrangem, cada uma, cinco trabalhos, totalizando dez dos 13 trabalhos avaliados. A categoria Insatisfatórios, por sua vez, corresponde a 23,1% do total, o que representa três trabalhos.

Figura 5: Percentual de satisfação dos resultados obtidos



Fonte: Autor (2025)

Assim como nos trabalhos insatisfatórios, reforça-se aqui que o tipo da espécie florestal é um fator determinante na eficácia do biocarvão. Cada espécie possui necessidades nutricionais, fisiológicas e morfológicas distintas, o que implica que um tipo de biocarvão eficaz para uma espécie pode não ser adequado para outra.

Além disso, os estudos de Lima *et al* (2016), Borba (2023), Ferreira (2022), Lima (2015) e Oliveira *et al* (2023) abordam explicitamente o potencial do biocarvão como uma alternativa viável, sustentável e econômica para a produção de mudas. Segundo Lima *et al* (2016), por exemplo, a adição de biocarvão ao substrato, associada ao fornecimento de nitrogênio (N) e fósforo (P), apresenta potencial para a produção de mudas de qualidade, favorecendo o sucesso das práticas de restauração florestal, especialmente em áreas com solos de baixa fertilidade e suscetíveis ao estresse hídrico.

Diante da análise dos trabalhos apresentados, conclui-se que o biocarvão mostra-se, de modo geral, um material promissor para o uso como substrato na produção de mudas de espécies florestais nativas. Sua aplicação adequada pode favorecer tanto aspectos morfológicos quanto fisiológicos das mudas, contribuindo para o sucesso do plantio no campo. Entretanto, é fundamental considerar a interação entre o tipo de biocarvão, a espécie florestal e as condições de aplicação, a fim de se obter os melhores resultados.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão sistemática demonstrou que o biocarvão apresenta potencial significativo para a melhoria das características físicas, químicas e biológicas dos substratos, podendo favorecer o desenvolvimento de mudas de espécies florestais nativas. Entretanto, a eficácia desse insumo está diretamente relacionada à sua origem, à dose aplicada, às combinações com outros materiais e, principalmente, às necessidades específicas de cada espécie.

Considerando a relevância ecológica, econômica e sociocultural das espécies nativas para o Brasil, o uso do biocarvão pode contribuir para a restauração de áreas degradadas e para práticas florestais mais sustentáveis. Contudo, a heterogeneidade dos resultados indica que não há uma formulação universal aplicável a todas as espécies, reforçando a importância de pesquisas direcionadas e metodologicamente padronizadas.

Dessa forma, este estudo reforça a necessidade de ampliar as investigações sobre o uso do biocarvão na produção de mudas nativas, explorando diferentes biomas, origens de matéria-prima e métodos de aplicação. O avanço desse conhecimento poderá apoiar o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes, promovendo ganhos ambientais e produtivos para o setor florestal brasileiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALHO, C. F. B. V. **Efeito da temperatura final de pirólise na estabilidade de biocarvão produzido a partir de madeira de Pinus sp. e Eucalyptus sp.** Seropédica, 58p.

Dissertação de mestrado para obtenção do grau de mestre em Ciências Ambientais e Florestais. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2012.

ARAÚJO, E. F., AGUIAR, A. S., ARAUCO, A. M. S., GONÇALVES, E. O., & ALMEIDA, K. N. S. **Crescimento e qualidade de mudas de paricá produzidas em substratos à base de resíduos orgânicos.** Nativa, v. 5, n. 1, p. 16-23, 2017.

BOATENG, A. A., MULLEN, C. A., GOLDBERG, N. M., HICKS, K. B., DEVINE, T. E., LIMA, I. M., & MCMURTREY, A. J. E. **Sustainable production of bioenergy and biochar from the straw of high-biomass soybean lines via fast pyrolysis.** Environ. Prog. Sustainable Energy, v. 29, p. 175–183, 2010.

BORBA, L. G. L. **Biochar como condicionante de substrato na produção de mudas de Libidibia ferrea.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2023.

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR (CAPES). **Portal de periódicos da CAPES.** Disponível em: <endereço eletrônico>. Acesso em: 02 jul. 2025.

CHAVES, L. de L. B.; CARNEIRO, J. G. de A.; BARROSO, D. G. **Crescimento de mudas de angico vermelho produzidas em substrato fertilizado, constituído de resíduos agro-industriais.** Scientia Forestalis, v. 72, p. 49-56, 2006.

DA COSTA PASSOS, E., de Oliveira, D. M., Ferreira, J. C. C., Aoki, R. B., & de Souza Falcão, N. P. **Influência de resíduos de biocarvão e esterco bovino no desenvolvimento de mudas de faveira.** Research, Society and Development, v. 11, n. 16, 2022.

DE SOUSA FREITAS, B. M.; DE OLIVEIRA BASTOS, A.; FERNANDES, A. P. D.; DOS SANTOS, C. R. C.; SHIBATA, M. **Desenvolvimento de mudas de paricá (Schizolobium parahyba var. amazonicum Barneby ex Ducke) sob influência de diferentes substratos.** Cadernos de Agroecologia, v. 15, n. 4, 2020. Anais do 1º Congresso Online Internacional de Sementes Crioulas e Agrobiodiversidade – Dourados, Mato Grosso do Sul.

DOS SANTOS, M. R., da Rocha, I. G., de Oliveira, J. M., Schlindwein, G., Moraes, C. A. M., Kappler, G., & Modolo, R. C. E. **Desenvolvimento inicial de acacia mearnsii em substrato contendo biocarvão derivado de finos de carvão vegetal: initial development of acacia mearnsii on substrate containing biochar derived from charcoal fines.** MIX Sustentável, v. 9, n. 5, p. 115-124, 2023.

FAO. **Wood Energy**. Rome, Italy. 2016.

FERREIRA, J. C. C. **Biochar, adubação orgânica e mineral no crescimento inicial de pau-rosa (*Aniba rosaeodora ducke*) em Latossolo Amarelo Distrófico da Amazônia Central**. 2022. Tese de Doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, 2022.

FRANÇA, G. M. de. **Uso do biochar e de resíduos de caulim na mitigação dos efeitos do déficit hídrico em mudas de Jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir)**. 2025. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande, Patos, Paraíba. 2025.

FONSECA, E. P. **Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume., *Cedrela fissilis* Vell. e *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. produzidas sob diferentes períodos de sombreamento**. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2000. 113 p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, 2000.

GAMA, R. T. D. **Biocarvão e adubação nitrogenada influenciando o crescimento e o estado nutricional de mudas de castanheiras-do-brasil em um latossolo da Amazônia Central**. 2018. Tese de Doutorado.

GOMES, J. M., Couto, L., Leite, H. G., Xavier, A., & Garcia, S. L. R. **Parâmetros morfológicos na avaliação de qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis***. Revista Árvore, v. 26, p. 655-664, 2002.

GOMES, G. M. R.; CENDON, B. V. **Análise da interação, busca e recuperação da informação no portal de periódicos da CAPES**. ENANCIB-Informação, memória e patrimônio: do documento às redes, 2016.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 1985. p. 492.

LATAWIEC, A. E. **O efeito do biocarvão em mudas da Mata Atlântica: uma análise ambiental e socioeconômica**. 2017. Tese de Doutorado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

LACERDA, R. T. DE O.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. **Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho**. Gestão & Produção, São Carlos, v. 19, n. 1, p. 59-78, 2012.

LIMA, S. L., MARIMON JUNIOR, B. H., MELO-SANTOS, K. D. S., Reis, S. M., PETTER, F. A., Vilar, C. C., & MARIMON, B. S. **Biochar no manejo de nitrogênio e fósforo para a produção de mudas de angico**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 51, p. 120-131, 2016.

LIMA, S. L. **Interações entre macronutrientes e biochar no desenvolvimento de mudas de espécies arbóreas**. Nova Xavantina, 2015.

MADARI, B. E.; CUNHA, T. J. F.; NOVOTNY, E. H.; MILORI, D. M. B. P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V. DE M.; COELHO, M. R.; SANTOS, G. A. **Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo.** In: Teixeira, W. G., Kern, D. C., Madari, B. E., Lima, H. N., Woods, W. I. (Org.), *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. Manaus, AM: Embrapa Amazônia Ocidental. Manaus: EDUA: Embrapa Amazônia Ocidental, 2010. p. 173-189.

MAIA, C. M. B. F.; GUIOTOKU, M.; PEIXOTO, R. T. G.; VARGAS, L. M. P. **Biochar e o eucalipto.** In: Oliveira, E. B., Pinto Jr., J. E. (Ed.), *O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento*. Brasília, DF: Embrapa., 2021. p. 589-609.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Editora: CERES, 2006. 638 p.

NEVES, L. A. G. **Influência do biocarvão e adubação nitrogenada na produção de Mudras de pau-rosa (Aniba rosaeodora Ducke) em Latossolo da Amazônia.** 2019. 86 p. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais-PPG CFT). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, 2019.

NOVOTNY, E. H.; et al. **Biochar: pyrogenic carbon for agricultural use – a critical review.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, p. 321-344, 2015.

OLIVEIRA, D. M. **Efeito do biocarvão e adubação fosfatada no desenvolvimento de castanheira do brasil em latossolo amarelo da Amazônia central.** 2017. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista. Botucatu, São Paulo, 2017.

OLIVEIRA, J. C. D., Ferreira, E. A., Veloso, M. D. D. M., Pegoraro, R. F., Salgado, A. L. P., Oliveira, J. D. C. D., ... & Frazão, L. A. **Resposta morfofisiológica de plantas do Cerrado à aplicação de biochar de torta de filtro.** *Ciência Florestal*, v. 33, n. 3, e71838, 2023.

PACKER, A. L., BIOJONE, M. R., ANTONIO, I., TAKENAKA, R. M., GARCÍA, A. P., SILVA, A. C. D., ... & DELBUCIO, H. C. R. F. **SciELO: uma metodologia para publicação eletrônica.** *Ciência da informação*, v. 27, nd-nd, 1998.

PETTER, F. A.; MADARI, B. E.; SILVA, M. A. S. D.; CARNEIRO, M. A. C.; CARVALHO, M. T. D. M.; MARIMON JUNIOR, B. H.; PACHECO, L. P. **Fertilidade do solo e produtividade do arroz de terras altas após aplicação de biocarvão no Cerrado.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, p. 699-706, 2012.

PIMENTA, A. S.; OLIVEIRA, M. N.; CARVALHO, M. A. B.; SILVA, G. G. C.; OLIVEIRA, E. M. M. **Effects of biochar addition on chemical properties of a sandy soil from northeast Brazil.** *Arabian Journal of Geosciences*, v. 12, n. 3, p. 70, 2019.

PODSAKOFF, P. M. et al. **The influence of management journals in the 1980s and**

1990s. Strategic Management Journal, v. 26, p. 473-488, 2005.

SOARES, D. C. O., LIMA, S. F., LIMA, A. P. L., & PAULA, J. A. F. **Uso do biochar e de bioestimulante na produção e qualidade de mudas de *Sapindus saponaria* L.** Ciência Florestal, v. 31, p. 106-122, 2021.

SUN, Y.; GAO, B.; YAO, Y.; FANG, J.; ZHANG, M.; ZHOU, Y.; CHEN, H.; YANG, L. **Effects of feedstock type, production method, and pyrolysis temperature on biochar and hydrochar properties.** Chemical Engineering Journal, v. 240, p. 574-578, 2014.

VIEIRA, C. R.; WEBER, O. L. S.; SCARAMUZZA, J. F. **Saturação por bases e doses de P no crescimento e nutrição de mudas de cerejeira (*Amburana Acreana* Ducke).** Nativa, Sinop, v. 3, n. 1, p. 01-09, 2015.