UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CÂMPUS DE DRACENA

Beatriz Moreira Alves

APLICAÇÃO DE BIOCHAR DE CASCA DE CAFÉ E TORTA DE FILTRO EM CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADA EM SUAS FASES INICIAIS DE CULTIVO

Dracena
2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CÂMPUS DE DRACENA

Beatriz Moreira Alves

APLICAÇÃO DE BIOCHAR DE CASCA DE CAFÉ E TORTA DE FILTRO EM CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADA EM SUAS FASES INICIAIS DE CULTIVO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas Unesp, Câmpus de Dracena como parte das exigências para graduação em Engenharia Agronômica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Alexandre Monteiro de Figueiredo

Dracena
2025

certificado de aprovação.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Dracena

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
UNESP – CÂMPUS DE DRACENA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: **"APLICAÇÃO DE BIOCHAR DE CASCA DE CAFÉ E TORTA DE FILTRO EM CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADA EM SUAS FASES INICIAIS DE CULTIVO"**

Modalidade: Trabalho de **Atividades de pesquisa**

Autor: **Beatriz Moreira Alves**

Orientador (a): **Prof. Dr. Paulo Alexandre Monteiro de Figueiredo**

Co-orientador(es):

Número de Créditos: 12

Data da aprovação e correção de acordo com as sugestões da Banca: 06/11/2025

PAULO ALEXANDRE MONTEIRO DE FIGUEIREDO:07458632801

Assinado de forma digital por PAULO ALEXANDRE MONTEIRO DE FIGUEIREDO:07458632801
Dados: 2025.11.06 22:21:58 -0300'

gov.br Documento assinado digitalmente
ANDERSON CHAGAS MAGALHAES
Data: 09/11/2025 14:04:13-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

gov.br Documento assinado digitalmente
SERGIO BISPO RAMOS
Data: 07/11/2025 10:40:16-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Nome membro da Banca	Nome membro da Banca	Nome membro da Banca

Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas – CCG-EA
Rod. Cmte. João Ribeiro de Barros, km 651- Bairro das Antas – CEP: 17900-000 – Dracena/SP - Brasil
Tel. (18) 3821-8200 – www.dracena.unesp.br – ccgea.dracena@unesp.br

DEDICATÓRIA

Às minhas queridas avós, Raimunda Coelho Moreira e Maria de Fatima Ajala Alves, que são mulheres extraordinárias e são minhas maiores fontes de inspiração. Cada conquista minha carrega um pedaço de vocês. Obrigada por todo o amor dedicado a mim, vocês são essenciais, raízes que me sustentam e luz que guia a minha vida.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, sou grata a Deus por me permitir concretizar este sonho e por me sustentar ao longo de toda a minha trajetória acadêmica.

À minha família, meu porto seguro: minha mãe, Patrícia, e meu pai, José Antônio, pelo amor e apoio; minhas avós, Maria de Fátima e Raimunda, pelo carinho que me acompanha desde sempre; e aos meus irmãos, Fábio, Ana Paula, José Antônio, e especialmente Aline e Jaqueline, que sempre acreditaram em mim e me incentivaram a seguir meu caminho. Vocês são meu alicerce, e serei eternamente grata por tudo.

Aos meus sobrinhos, Lorenzo, José Eduardo e Jade, minhas maiores alegrias, que enchem minha vida de luz.

À República Mulherama, que foi meu lar e meu refúgio, meu obrigada a todas as meninas que fizeram essa caminhada mais leve, divertida e cheia de histórias. Um carinho especial para Lepecid, Kuki, Lindinha, Turbina, Moranguinho, Babosa, Catatau e Summer: cada uma de vocês deixou um pedacinho de si em mim. E a todas as outras meninas que passaram por essa grande república, à qual chamo carinhosamente de família.

Ao grupo de estudo GECANA, por sempre me incluir, me apoiar e compartilhar conhecimento, e aos professores Paulo, Sérgio e Viana, que me ajudaram com paciência e dedicação.

A todos os professores da UNESP FCAT, meu muito obrigada por cada ensinamento e incentivo ao longo desses anos.

E a todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa trajetória, meu obrigada do fundo do coração. Cada gesto, cada palavra e cada ajuda tornaram essa caminhada mais especial e inesquecível.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original” (Albert Einstein).

RESUMO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp*.) possui grande importância econômica pela produção de etanol, açúcar e bioenergia. O uso de resíduos orgânicos, como biochar de casca de café e torta de filtro, pode melhorar a fertilidade do solo e reduzir custos com fertilizantes. Este estudo avaliou o efeito desses materiais no crescimento inicial da cana-de-açúcar, utilizando um delineamento em blocos ao acaso com quatro tratamentos: T1 – muda sem biochar; T2 – biochar aplicado no dia do plantio; T3 – biochar + torta de filtro aplicado após brotação; T4 – biochar + torta de filtro aplicado no dia do plantio, com seis repetições. Foram avaliadas características fisiológicas e de crescimento, incluindo altura, número de folhas, diâmetro e número de colmos, nota de vigor, índice de área foliar, teor de clorofila e acúmulo de matéria seca. Os dados foram submetidos à análise de variância ($p<0,05$) e, quando encontrados diferenças significativas, analisados pelo teste de Tukey. O tratamento com biochar e torta de filtro apresentou os melhores resultados para altura de plantas, vigor, acúmulo de matéria seca e IAF, evidenciando efeito positivo no crescimento inicial e na expansão foliar. Nas demais variáveis, os tratamentos apresentaram desempenho similar, sugerindo que, apesar das diferenças iniciais no crescimento, o comportamento fisiológico das plantas permaneceu equilibrado entre os tratamentos.

Palavras-chave: Crescimento inicial, Resíduos orgânicos, Fertilidade do solo.

ABSTRACT

Sugarcane (Saccharum spp.) is of great economic importance for the production of ethanol, sugar, and bioenergy. The use of organic residues, such as coffee husk biochar and filter cake, can improve soil fertility and reduce fertilizer costs. This study evaluated the effect of these materials on the initial growth of sugarcane, using a randomized block design with four treatments: T1 – seedling without biochar; T2 – biochar applied on the day of planting; T3 – biochar + filter cake applied after sprouting; T4 – biochar + filter cake applied on the day of planting, with six replications. Physiological and growth characteristics were evaluated, including height, number of leaves, diameter and number of stalks, vigor score, leaf area index, chlorophyll content, and dry matter accumulation. The data were subjected to analysis of variance ($p<0.05$) and, when significant differences were found, analyzed using Tukey's test. The treatment with biochar and filter cake showed the best results for plant height, vigor, dry matter accumulation, and LAI, demonstrating a positive effect on initial growth and leaf expansion. In the other variables, the treatments showed similar performance, suggesting that, despite the initial differences in growth, the physiological behavior of the plants remained balanced among the treatments.

Keywords: Early growth, Organic waste, Soil fertility.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....10

2 OBJETIVOS.....12

2.1 Objetivo Geral 12

2.1 Objetivos Específicos.....12

3 REVISÃO DE LITERATURA.....13

3.1 Cana-de-açúcar.....13

3.2 Torta de filtro 14

3.3 Biochar de Casca de Café..... 15

4 MATERIAL E MÉTODOS.....16

4.1 Localização 18

4.2 Delineamento Experimental 18

4.3 Avaliações 20

4.4 Análises estatísticas 21

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 22

6 CONCLUSÃO..... 35

REFERÊNCIAS..... 36

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp*.), pertencente à família Poaceae, é uma gramínea tropical originária do sudeste asiático, introduzida no Brasil no século XVI, tornando-se um dos principais pilares do desenvolvimento agrícola e econômico do país (EMBRAPA, 2022). Trata-se de uma cultura perene de grande porte, com colmos suculentos ricos em sacarose, carboidrato que constitui a principal matéria-prima para a produção de açúcar, etanol e bioprodutos renováveis (Silva *et al*., 2021). O cultivo da cana ocupa posição central no setor sucroenergético brasileiro, contribuindo de forma significativa para o Produto Interno Bruto (PIB) agroindustrial, para a geração de empregos e para a produção de energia limpa.

O Brasil é atualmente o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com destaque para o estado de São Paulo, responsável por cerca de 55% da produção nacional (CONAB, 2024). O país se sobressai não apenas pela dimensão das áreas cultivadas, mas também pela alta produtividade alcançada em função de condições edafoclimáticas favoráveis, avanços genéticos e inovações tecnológicas no manejo da cultura (MAPA, 2023). Além do açúcar e do etanol, a cana-de-açúcar desempenha um papel estratégico na geração de bioeletricidade, por meio da queima do bagaço e da palha em sistemas de cogeração, contribuindo para a diversificação da matriz energética e a redução das emissões de carbono (UNICA, 2023).

Durante as fases iniciais do cultivo, o sucesso do estabelecimento da lavoura depende da qualidade da muda, da disponibilidade de nutrientes e das condições físicas e biológicas do solo. O crescimento das brotações e o desenvolvimento radicular estão diretamente relacionados à estrutura e à fertilidade do solo, que influenciam a absorção de água e nutrientes (Pereira *et al*., 2010). Entretanto, a degradação dos solos agrícolas, causada pelo uso intensivo, pela baixa adição de matéria orgânica e pelo manejo inadequado, tem comprometido o desenvolvimento inicial das plantas, reduzindo o potencial produtivo e a longevidade dos canaviais (Marques *et al*., 2022).

Nesse contexto, a busca por estratégias sustentáveis de manejo tornou-se fundamental para manter a produtividade da cana-de-açúcar e reduzir os impactos ambientais da agricultura convencional. Entre as alternativas promissoras, destaca-

se a utilização de biochar, um material carbonoso e poroso obtido pela pirólise de resíduos orgânicos sob baixa disponibilidade de oxigênio. O biochar tem despertado grande interesse devido à sua capacidade de melhorar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, aumentar a retenção de água e nutrientes, e reduzir a emissão de gases de efeito estufa (Mota, 2020; Galvão, 2023).

O uso de biochar de casca de café apresenta elevado potencial agronômico, uma vez que esse resíduo contém compostos orgânicos e minerais que, após o processo de carbonização, resultam em um produto com alta estabilidade e capacidade de retenção de nutrientes. Já a torta de filtro, subproduto da indústria sucroalcooleira, é uma fonte significativa de matéria orgânica, fósforo, cálcio e micronutrientes, podendo atuar em sinergia com o biochar na melhoria das condições químicas e biológicas do solo (Costa *et al*., 2019). A combinação desses dois resíduos representa uma solução sustentável e de baixo custo, contribuindo para o reaproveitamento de materiais agroindustriais e a melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar.

Dessa forma, a aplicação conjunta de biochar de casca de café e torta de filtro pode favorecer o crescimento inicial da cana-de-açúcar, estimulando o desenvolvimento de brotações vigorosas e um sistema radicular mais eficiente. Essa prática promove benefícios agronômicos e ambientais, reduzindo a dependência de fertilizantes minerais e contribuindo para sistemas agrícolas mais resilientes e sustentáveis.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do biochar de resíduos de café e biochar com torta de filtro no crescimento da cana-de-açúcar em suas fases iniciais de cultivo.

2.1 Objetivos Específicos

Estimar se tem diferença nas características fisiológicas e parâmetros de crescimento da cana-de-açúcar quando aplicado biochar e biochar com torta de filtro.

- Parâmetros de crescimento: índice de velocidade de emergência, vigor, número de folhas, número e diâmetro de colmos, altura das plantas, índice de área foliar e matéria seca;
- Parâmetros fisiológicos: características fotossintéticas e teor de clorofila.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) é uma das culturas mais significativas para a economia brasileira, sendo base para a produção de açúcar, etanol e bioenergia, além de gerar empregos em áreas rurais (CONAB, 2024). Originária da Nova Guiné, a planta apresenta adaptação ampla a regiões tropicais, sendo altamente eficiente na utilização de luz e água devido ao seu metabolismo fotossintético do tipo C4 (FAO, 2023).

O desenvolvimento inicial da cana depende fortemente da interação entre características genéticas da variedade, tipo de solo e condições climáticas. Solos argilosos ou franco-argilosos, com pH entre 5,5 e 6,5, são ideais, pois permitem adequada disponibilidade de nutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo e potássio, e favorecem a formação de uma estrutura radicular eficiente (EMBRAPA, 2022). A presença de matéria orgânica é determinante para a retenção de água e estímulo à atividade microbiana, impactando diretamente na absorção de nutrientes e no vigor inicial da planta (Silva et al., 2021).

O manejo inicial envolve preparo do solo, correção da acidez, adubação de base e escolha de variedades adaptadas ao clima e ao tipo de solo. Técnicas como aração e gradagem, aliadas à incorporação de resíduos orgânicos, favorecem a formação de agregados estáveis, reduzem a compactação e promovem melhor penetração radicular (Souza *et al*., 2020). Plantios realizados em linhas bem espaçadas, com mudas saudáveis e uniformes, resultam em maior número de colmos, folhas e biomassa, fatores críticos para a produtividade futura.

Além do manejo do solo, condições climáticas desempenham papel crucial no crescimento inicial. Temperaturas médias entre 20 e 28 °C, radiação solar adequada e precipitação anual bem distribuída favorecem o desenvolvimento vegetativo da cana. Deficiências hídricas ou excessos podem reduzir vigor, atrasar a emissão de colmos e comprometer a uniformidade do crescimento (Almeida *et al*., 2022).

A fase inicial da cana é crítica, pois define a quantidade de colmos e a biomassa foliar, determinando o rendimento da safra. Pesquisas indicam que solos manejados com adubação equilibrada, correção de acidez e utilização de matéria orgânica apresentam aumento no número de colmos, altura das plantas e teor de

sacarose, confirmando a importância de práticas agronômicas adequadas desde o plantio (Souza *et al*., 2020; Silva *et al*., 2021).

3.2 Torta de filtro: Características, Aplicações e Impactos na Cana-de-açúcar

A torta de filtro é um subproduto gerado durante o processo de clarificação do caldo da cana-de-açúcar, composto por resíduos sólidos provenientes da filtração do caldo extraído das moendas do filtro giratório. Este material apresenta uma notável quantidade de umidade e alto teor de micronutrientes, tornando-se uma fonte potencial de nutrientes para a cultura da cana-de-açúcar (Silva *et al*., 2023).

A composição da torta de filtro varia conforme o processo de filtração e a matéria-prima utilizada. Em geral, é rica em nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e matéria orgânica, elementos essenciais para o desenvolvimento da cana-de-açúcar. Além disso, apresenta baixo teor de metais pesados, o que a torna uma alternativa segura para uso agrícola (Almeida *et al*., 2011).

A aplicação da torta de filtro pode ser realizada de diferentes formas, dependendo das características do solo e das necessidades da cultura. Estudos indicam que a aplicação localizada no sulco de plantio é eficaz, pois coloca os nutrientes próximos às raízes, facilitando a absorção pela planta. Além disso, a incorporação ao solo pode melhorar a estrutura do solo e aumentar a retenção de água (Fravet *et al*., 2010).

Pesquisas demonstram que a aplicação de torta de filtro pode resultar em aumento significativo na produtividade da cana-de-açúcar. Por exemplo, Fravet *et al*. (2010) observaram que doses de até 60 t ha^{-1} aumentaram a produtividade em até 25% em comparação com áreas não adubadas. Além disso, a qualidade tecnológica da cana, medida pela concentração de sacarose nos colmos, também apresentou melhorias com o uso da torta de filtro (Silva *et al*., 2023).

O uso da torta de filtro não apenas contribui para a melhoria da produtividade e qualidade da cana-de-açúcar, mas também oferece benefícios ambientais e econômicos. A utilização desse resíduo reduz a necessidade de fertilizantes químicos, diminuindo os custos de produção e os impactos ambientais associados ao uso excessivo de produtos químicos. Além disso, o reaproveitamento da torta de filtro contribui para a sustentabilidade do setor sucroalcooleiro (Costa, 2023).

3.3 Biochar de Casca de Café

O biochar é um material carbonáceo obtido pela pirólise de biomassa vegetal, processo em que a matéria orgânica é aquecida em condições controladas na ausência ou redução de oxigênio. Quando derivado da casca de café, apresenta propriedades físicas e químicas que o tornam uma alternativa promissora para o manejo de solos agrícolas, especialmente na cultura da cana-de-açúcar (Lehmann & Joseph, 2015).

O biochar de casca de café caracteriza-se por elevada porosidade, alta superfície específica e capacidade de adsorção de nutrientes e água. Quimicamente, apresenta pH moderadamente alcalino, o que pode contribuir para a correção parcial da acidez do solo. Sua composição inclui carbono estável, baixo teor de nutrientes solúveis e presença de cátions como Ca^{2+}, Mg^{2+} e K^{+}, que influenciam positivamente a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo (Matos *et al*., 2021).

A incorporação do biochar no solo promove melhorias físicas, como aumento da porosidade, maior retenção hídrica e diminuição da compactação. Quimicamente, contribui para a estabilidade da matéria orgânica, aumento da CTC e elevação do pH em solos ácidos. Biologicamente, estimula a atividade microbiana, criando um ambiente favorável ao crescimento radicular da cana-de-açúcar (Santos *et al*., 2022).

Estudos indicam que o uso de biochar de casca de café no plantio da cana-de-açúcar melhora o vigor inicial, aumenta a biomassa foliar e o número de colmos, e contribui para maior uniformidade no desenvolvimento das plantas (Almeida *et al*., 2022). A aplicação combinada com a torta de filtro potencializa os efeitos positivos, proporcionando maior disponibilidade de nutrientes, redução de perdas por lixiviação e incremento na produtividade da cultura (Souza *et al*., 2020).

O biochar apresenta benefícios ambientais significativos, pois contribui para a sequestro de carbono no solo, reduzindo a emissão de gases de efeito estufa. Além disso, ao melhorar a fertilidade e a retenção de água, pode diminuir a necessidade de insumos químicos e irrigação, tornando o manejo da cana-de-açúcar mais sustentável e economicamente viável (Lehmann & Joseph, 2015).

O biochar de casca de café representa uma estratégia promissora para o manejo de solos cultivados com cana-de-açúcar. Seu uso adequado, especialmente em combinação com a torta de filtro, promove melhorias físicas, químicas e biológicas do solo, resultando em maior vigor inicial, produtividade e sustentabilidade da produção. Para maximizar os benefícios, é fundamental avaliar a granulometria, dose aplicada e características do solo antes da aplicação (Lima *et al*., 2020).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Unesp- Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT), Dracena –SP

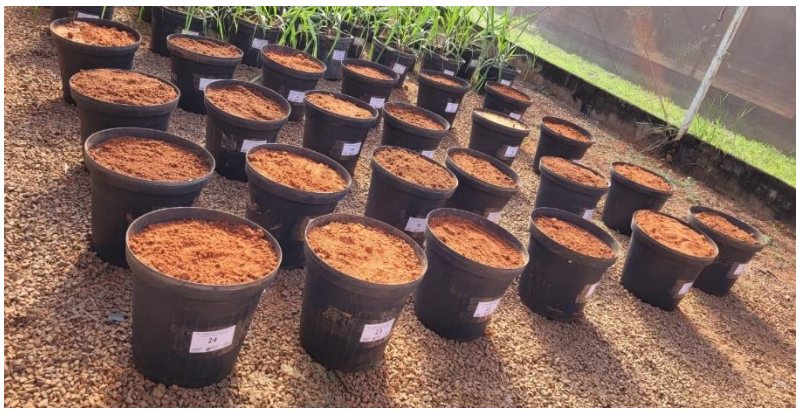
4.2 Delineamento Experimental, Tratamentos e Condução do Experimento

O experimento foi Delineado em Blocos Casualizados – DBC, com quatro tratamentos e seis repetições, totalizando 24 parcelas ou unidades experimentais (Figuras 1 e 2). Foram utilizadas diferentes formas de aplicação de biochar e torta de filtro (Figura 3). As doses aplicadas corresponderam a 7 t ha^{-1} de biochar, corrigidas para 24,15 t ha^{-1} conforme o fator médio de 3,45, e 10 t ha^{-1} de torta de filtro (composto orgânico), conforme especificado nos tratamentos. Em relação à aplicação por vaso, as quantidades utilizadas foram equivalentes a 384 g de biochar e 159 g de torta de filtro**.**

As parcelas foram constituídas de vasos preenchidos com 45 dm^3 de terra corrigida e adubada, segundo as recomendações técnicas usuais.

Em cada vaso foram plantados três minitoletes de cana da variedade CTC Adavana1 (Figura 4). É uma cultivar de ciclo médio-precoce, indicada para condições de cultivo que variam de favoráveis a intermediárias, sendo amplamente recomendada para a região Centro-Sul.

Figura 1: Distribuição dos vasos

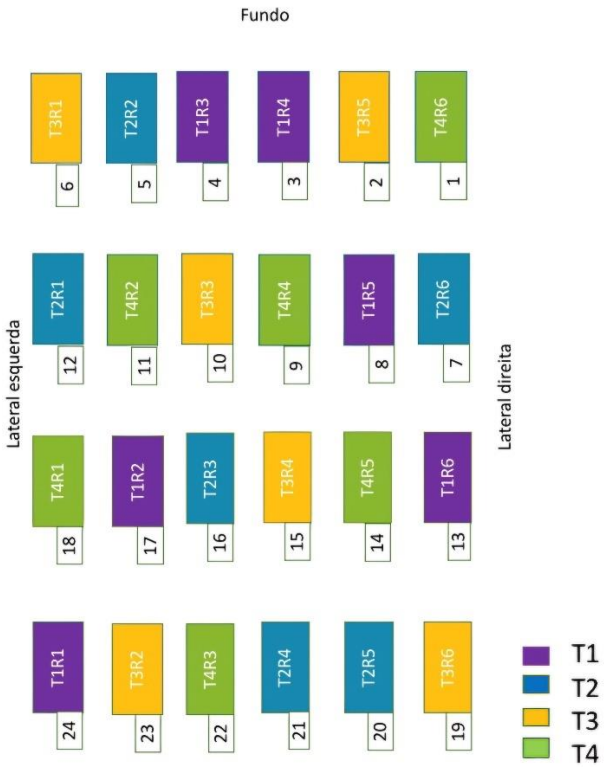


Fonte: Elaboração própria

Descrição dos tratamentos do experimento:

- T1: Testemunha
- T2: Biochar em todo o vaso aplicado no dia do plantio
- T3: Biochar + Torta de Filtro incorporado após brotação
- T4: Biochar + Torta de Filtro em todo o vaso aplicado no dia do plantio

Figura 2: Croqui da distribuição dos vasos na casa de vegetação



Fonte: Elaboração própria

Figura 3: Formas de aplicação dos tratamentos



Fonte: Elaboração própria

Figura 4: Plantio dos minitoletes



Fonte: Elaboração própria

Aos 51 dias da instalação do experimento foi feita uma adubação de plantio, foi colocado 23g do adubo NPK 4-14-8 por vaso (Figura 5). Cerca de 110 dias após o plantio foi realizada uma adubação foliar com aminoácidos, utilizando uma solução na concentração de 0,5%, correspondente a 5mL do produto por litro de água, aplicada igualmente em todos os vasos com um borrifador de 500mL em toda parte aérea das plantas (Figura 6).

Figura 5: Adubação de Plantio



Fonte: Elaboração própria

Figura 6: Adubação foliar com aminoácidos



Fonte: Elaboração própria

4.3 Avaliações

Nos primeiros 30 dias após o plantio dos minitoletes de cana-de-açúcar, foram avaliados o Índice de Velocidade de Emergência (IVE) e a Velocidade de Emergência (VE). Aos 60, 90 e 120 dias, foram feitas avaliações não destrutivas das seguintes características das plantas: Nota de vigor geral para as plantas emergidas, número de folhas, Altura das plantas, número de colmos, diâmetro dos colmos. Aos 90 e 120 dias após a instalação do experimento, foram feitas avaliações fisiológicas como: teor de clorofila, condutância estomática e fotossíntese. Após essas análises, foi conduzida uma avaliação destrutiva, na qual as plantas foram retiradas dos vasos e cuidadosamente limpas. Em seguida, permaneceram em ambiente seco para o processo de secagem. Após 13 dias, efetuou-se a pesagem da matéria seca da parte aérea e do sistema radicular.

4.4 Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, considerando nível de significância de $p < 0,05$. Quando identificados efeitos significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa R.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão apresentados os valores médios de Índice de Velocidade de Emergência (IVE) e Velocidade de Emergência (VE) da cana-de-açúcar submetida aos diferentes tratamentos. Observa-se que o IVE apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, conforme o teste de Tukey ($p \leq 0,05$), com a Testemunha (T) diferindo do BP e BTB, enquanto o tratamento BTP apresentou valor intermediário, não diferindo da Testemunha nem dos demais. A VE por outro lado não diferiu estatisticamente.

O tratamento Testemunha (T) apresentou o maior valor de IVE (1,51), sendo estatisticamente semelhante ao tratamento BTP (Biochar + Torta de filtro aplicado no plantio), com valor médio de 1,44. Por outro lado, o tratamento BP (Biochar no plantio) apresentou o menor IVE (0,91), sugerindo que a aplicação isolada de biochar no momento do plantio pode ter afetado a emergência inicial das mudas.

Para a Velocidade de Emergência (VE), os valores variaram de 30,8 a 32,9, sem diferenças significativas entre os tratamentos, indicando que as formas de aplicação de biochar e torta de filtro não influenciaram a taxa de emergência das plântulas. O coeficiente de variação (CV) foi de 26,74% para o IVE e 10,36% para a VE, valores que indicam baixa variação dos dados.

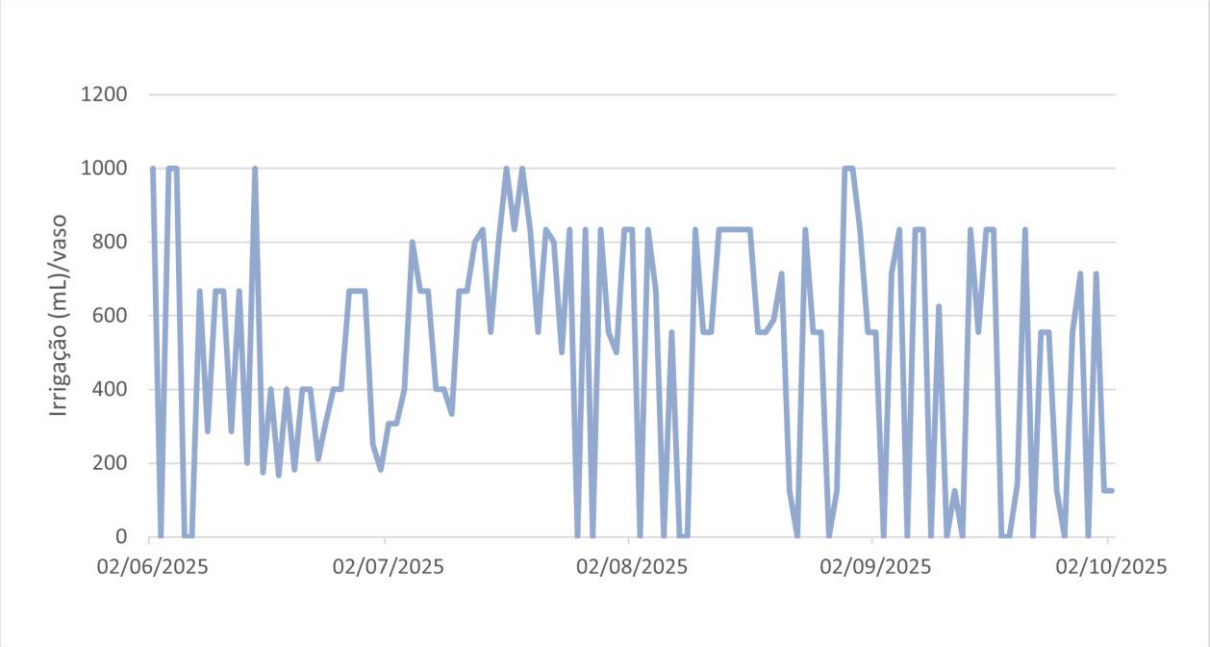
Tabela 1. Índice de Velocidade de Emergência (IVE) e Velocidade de Emergência (VE) da cana-de-açúcar submetida a diferentes formas de aplicação de biochar e torta de filtro. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem entre si, enquanto letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativas pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

Tratamento	IVE	VE
Testemunha (T)	1.51a ± 0.46	30.8a ± 3.0
Biochar em todo o vaso aplicado no dia do plantio (BP)	0.91c ± 0.46	31.3a ± 3.20
Biochar + Torta de filtro incorporado após brotação (BTB)	0.95bc ± 0.03	32.9a ± 3.72
Biochar + Torta de filtro em todo o vaso aplicado no dia do plantio (BTP)	1.44ab ± 0.12	32.4a ± 4.00
CV(%)[1]	**26.74**	**10.36**

Fonte: Elaboração própria

A figura 7 mostra como a irrigação ao longo do experimento foi conduzida de forma a simular eventos naturais de precipitação, ajustando-se o volume aplicado conforme a demanda hídrica das plantas e as condições ambientais diárias. Os fornecimentos de água foram realizados em diferentes volumes, representando chuvas leves, moderadas ou mais intensas, de modo a manter umidade semelhante àquela observada em condições de campo. Assim, o experimento reproduziu variações típicas de chuva durante o ciclo da cultura.

Figura 7: O gráfico mostra a variação do volume de irrigação (mL/vaso) ao longo do tempo entre Junho e Outubro de 2025.



Fonte: Elaboração própria

A altura das plantas apresentou aumento gradual ao longo do desenvolvimento da cultura (Figura 8). Aos 60 dias após o plantio (DAP), não houve diferenças significativas entre os tratamentos. Aos 90 DAP, entretanto, houve diferença estatística entre os tratamentos. O tratamento Biochar + Torta no Plantio (BTP) apresentou a maior altura média, sendo significativamente superior aos tratamentos Biochar no Plantio (BP) e Biochar + Torta na Brotação (BTB), que registraram os menores valores. A Testemunha apresentou crescimento intermediário, sem diferença estatística em relação aos demais grupos. Esses resultados indicam que a aplicação conjunta de biochar e torta de filtro no momento do plantio favoreceu o crescimento da cana aos 90 dias, enquanto o biochar isolado apresentou desempenho inferior.

Aos 120 DAP, o tratamento BTP apresentou a maior altura (160 cm), sendo superior à testemunha (140,83 cm). O biochar aplicado isoladamente (148,17 cm) e a combinação após brotação (158 cm) apresentaram desempenho intermediário, sem diferença significativa em relação a BTP, mas numericamente superiores à testemunha.

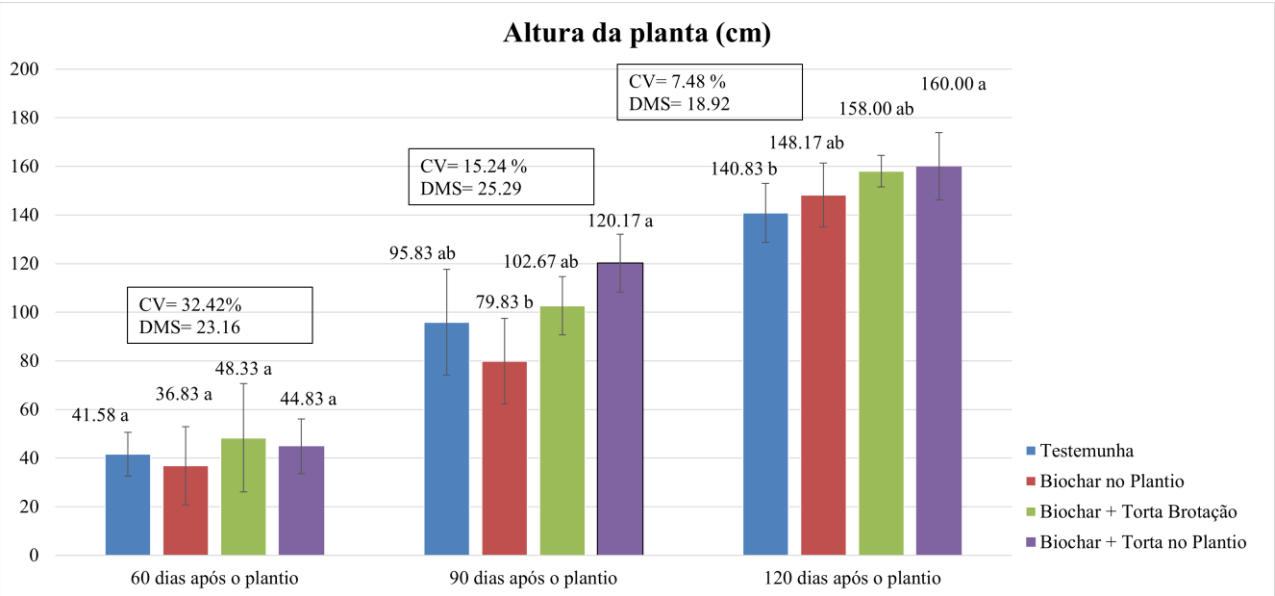
Tabela 2: Valores médios de altura das plantas obtidos aos 60, 90 e 120 dias após o início do experimento. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem entre si, enquanto letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativas pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

Altura da planta (cm)

Tratamentos	60 DAP	90 DAP	120 DAP
Testemunha (T)	41,58 a	95,83 ab	140,83 b
Biochar no plantio (BP)	36,83 a	79,83 b	148,17 ab
Biochar + torta após brotação (BTB)	48,33 a	102,67 ab	158,00 ab
Biochar + torta no plantio (BTP)	44,83 a	120,17 a	160,00 a
DMS	23,16	25,29	18,92
CV %	32,42	15,24	7,48

Fonte: Elaboração própria

Figura 8: Gráfico da altura média das plantas (cm) aos 60, 90 e 120 dias após o plantio sob diferentes tratamentos com biochar e torta de filtro.



Fonte: Elaboração própria

O número de folhas das plantas avaliadas não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, conforme indicado pelas letras “a” atribuídas a todos os valores (Tabela 3). Observa-se que, embora haja variação numérica entre

os tratamentos ao longo do tempo, estas não foram estatisticamente relevantes, sugerindo que a aplicação de biochar e torta de filtro, seja no plantio ou na brotação, não afetou o desenvolvimento foliar da cultura durante o período experimental.

O coeficiente de variação (CV%) variou entre 26,02 e 32,03, indicando moderada variabilidade entre as plantas.

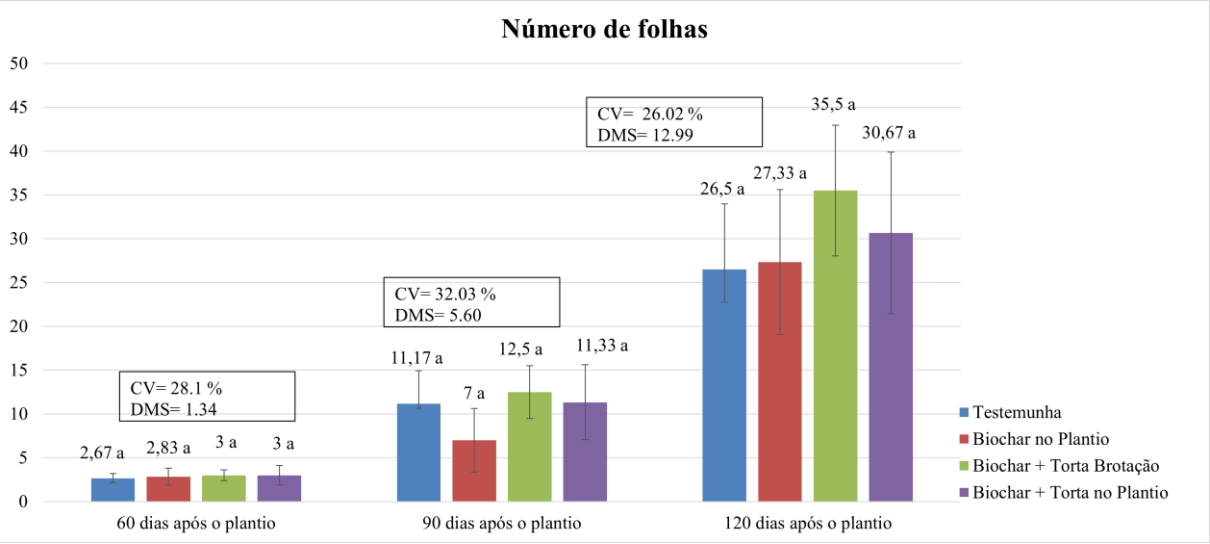
Tabela 3: Número de folhas aos 60, 90 e 120 dias após a instalação do experimento. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

Número de folhas

Tratamentos	60 DAP	90 DAP	120 DAP
Testemunha (T)	2,67 a	11,17 a	26,5 a
Biochar no plantio (BP)	2,83 a	7 a	27,33 a
Biochar + torta após brotação (BTB)	3 a	12,5 a	35,5 a
Biochar + torta no plantio (BTP)	3 a	11,33 a	30,67 a
DMS	1,34	5,60	12,02
CV %	28,1	32,03	26,02

Fonte: Elaboração própria

Figura 9: Gráfico do número médio de folhas aos 60, 90 e 120 dias após o plantio nos diferentes tratamentos.



Fonte: Elaboração própria

A largura das folhas (Figura 10) apresentou incremento contínuo até os 120 DAP, sem diferenças significativas entre os tratamentos. Portanto, a utilização de biochar e torta de filtro não influenciou essa característica no período considerado.

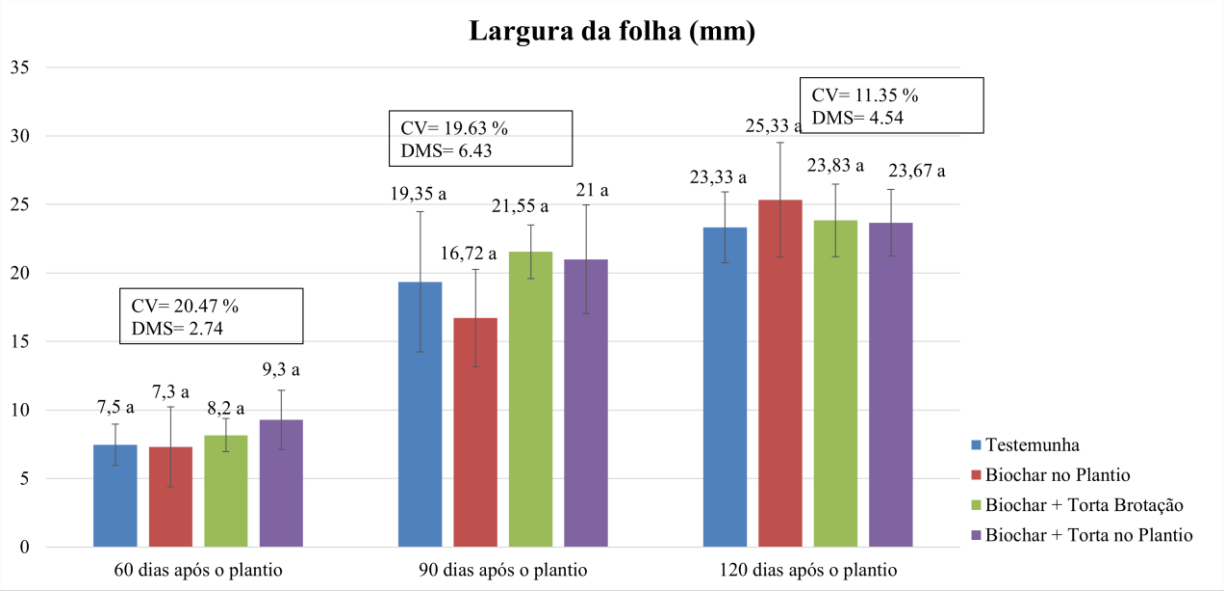
Tabela 4: Largura média das folhas aos 60, 90 e 120 dias após a instalação do experimento. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05)

Largura da folha (mm)

Tratamentos	60 DAP	90 DAP	120 DAP
Testemunha (T)	7,5 a	19,35 a	23,33 a
Biochar no plantio (BP)	7,3 a	16,72 a	25,33 a
Biochar + torta após brotação (BTB)	8,2 a	21,55 a	23,83 a
Biochar + torta no plantio (BTP)	9,3 a	21 a	23,67 a
DMS	2,74	6,43	4,54
CV %	20,47	19,63	11,35

Fonte: Elaboração própria

Figura 10: Gráfico da largura média das folhas (mm) aos 60, 90 e 120 dias após o plantio.



Fonte: Elaboração própria

Aos 60 e 90 dias após o plantio (DAP), não houve diferença significativa no número de colmos entre os tratamentos, indicando que o perfilhamento inicial da cana-de-açúcar ainda não havia respondido às aplicações de biochar ou torta de filtro. Apenas aos 120 DAP ocorreu diferença estatística, com destaque para o tratamento biochar + torta após brotação (BTB), que apresentou o maior número de colmos (11,17), diferindo do biochar isolado (BP), que registrou o menor valor (7 colmos). Esse desempenho superior das combinações biochar + torta está associado à melhoria das propriedades químicas e físico-hídricas do solo, que favorecem o perfilhamento, conforme destacado por Santos *et al*. (2020), que observaram maior emissão de colmos em solos condicionados com biochar devido ao aumento da retenção de água e disponibilidade de nutrientes.

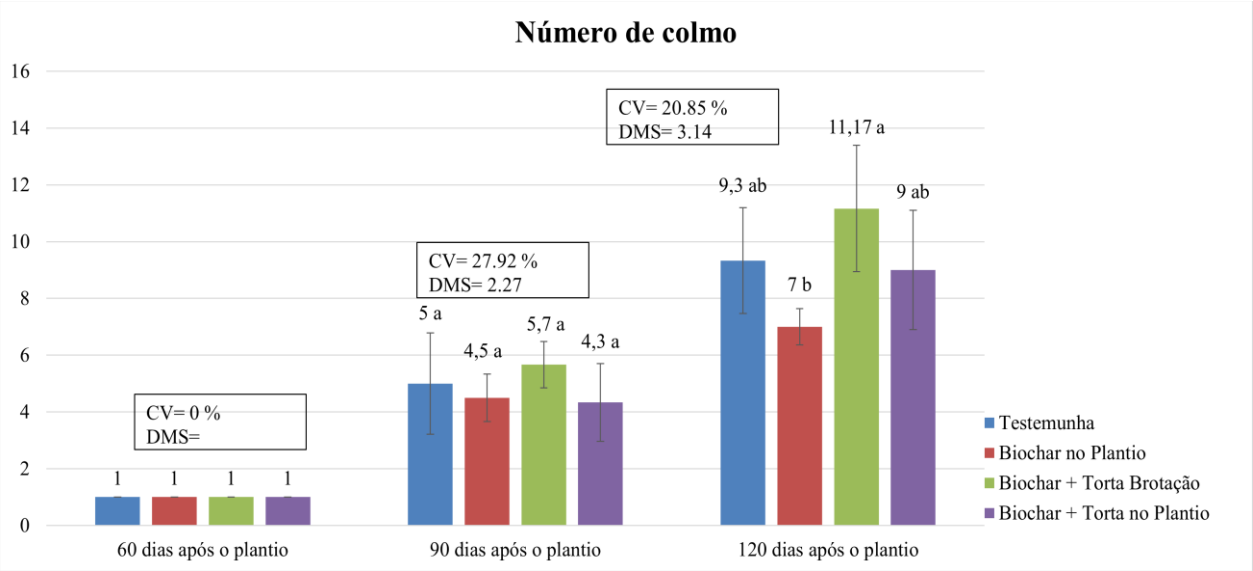
Tabela 5: Número médio de colmos da cultura, avaliados em diferentes períodos após a instalação do experimento. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem entre si, enquanto letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativas pelo teste de Tukey (p<0,05).

Número de colmo

Tratamentos	60 DAP	90 DAP	120 DAP
Testemunha (T)	1 a	5 a	9,3 ab
Biochar no plantio (BP)	1 a	4,5 a	7b
Biochar + torta após brotação (BTB)	1 a	5,7 a	11,17 a
Biochar + torta no plantio (BTP)	1 a	4,3 a	9 ab
DMS	0	2, 27	3,14
CV %	0	27,92	20,85

Fonte: Elaboração própria

Figura 11: Gráfico do número de colmo aos 60, 90 e 120 dias após o plantio



Fonte: Elaboração própria

O somatório do diâmetro de colmos das plantas (Tabela 6) mostram que não houve diferença significativa entre os tratamentos em nenhuma das avaliações (60, 90 e 120 DAP). Embora os valores médios tenham aumentado ao longo do tempo, especialmente aos 120 dias, as variações numéricas entre os tratamentos permaneceram estatisticamente equivalentes. Mesmo com pequenas diferenças, como a maior média no tratamento Biochar + Torta na Brotação (BTB) e a menor no Biochar no Plantio (BTP). Essas variações não foram suficientes para caracterizar efeito dos manejos sobre o diâmetro dos colmos. Assim, até os 120 DAP, nenhuma das formas de aplicação de biochar ou de sua combinação com torta de filtro influenciou significativamente essa variável.

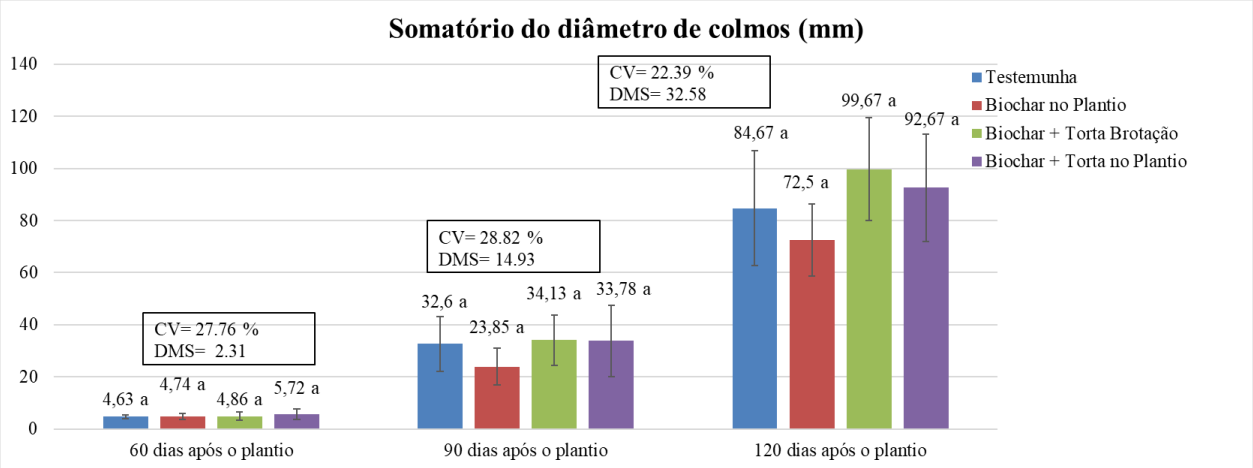
Tabela 6: Somatório médio do diâmetro de colmos (mm) aos 60, 90 e 120 DAP sob diferentes tratamentos. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05)

Somatório do diâmetro de colmos (mm)

Tratamentos	60 DAP	90 DAP	120 DAP
Testemunha (T)	4,63 a	32,6 a	84,67 a
Biochar no plantio (BP)	4,74 a	23,85 a	72,5 a
Biochar + torta após brotação (BTB)	4,86 a	34,13 a	99,67 a
Biochar + torta no plantio (BTP)	5,72 a	33,78 a	92,67 a
DMS	2,31	14,93	32,58
CV %	27,76	28,82	22,39

Fonte: Elaboração própria

Figura 12: Gráfico do somatório do diâmetro de colmos dias após a instalação do experimento



Fonte: Elaboração própria

O vigor das plantas (Figura 13) não apresentou diferenças significativas aos 60 e 90 dias após o plantio, indicando que os tratamentos ainda não influenciavam de forma expressiva essa variável. Entretanto, aos 120 dias, observaram-se diferenças estatísticas: o tratamento Biochar + Torta no Plantio (BTP) apresentou o maior vigor, enquanto a Testemunha e o Biochar no Plantio (BP) tiveram os menores

valores. O tratamento Biochar + Torta na Brotação (BTB) mostrou desempenho intermediário, não diferindo do melhor tratamento. Essa superioridade reforça que a combinação dos dois insumos promoveu melhores condições edáficas, contribuindo para o crescimento inicial e o vigor geral das plantas. Estudos brasileiros recentes, como o de Oliveira *et al*. (2023), corroboram esses resultados ao demonstrarem efeitos positivos do biochar de torta de filtro sobre a fertilidade do solo e o desenvolvimento morfofisiológico de mudas.

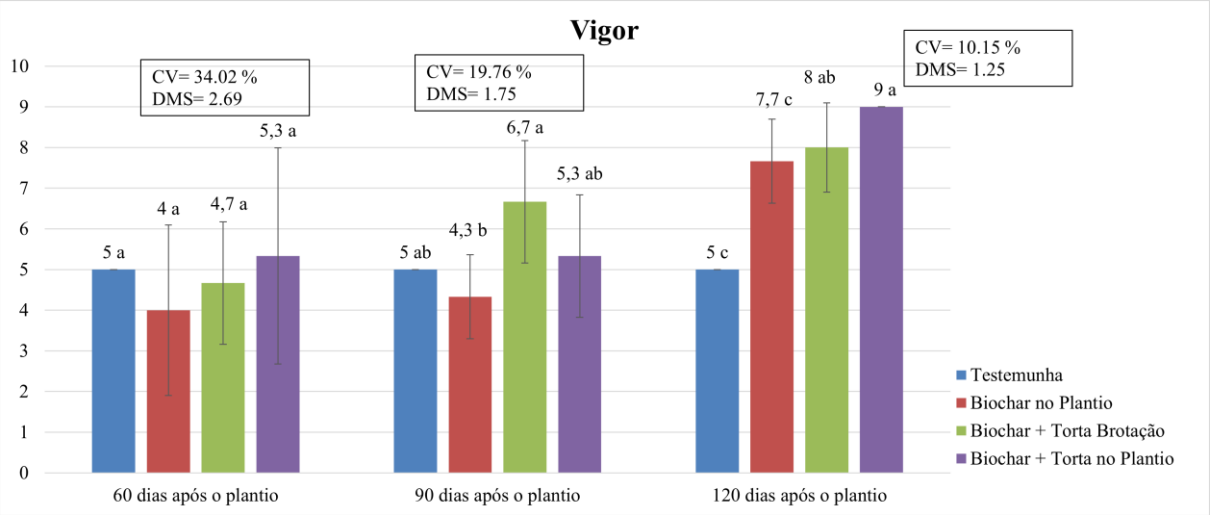
Tabela 7: Vigor médio das plantas aos 60, 90 e 120 DAP sob diferentes tratamentos. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem entre si, enquanto letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativas pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

Vigor

Tratamentos	60 DAP	90 DAP	120 DAP
Testemunha (T)	5 a	5 a	5c
Biochar no plantio (BP)	4 a	4,3 ab	7,7 c
Biochar + torta após brotação (BTB)	4,7 a	6,7 a	8 ab
Biochar + torta no plantio (BTP)	5,3 a	5,3 ab	9a
DMS	2,69	1,75	1,25
CV %	34,02	19,76	10,15

Fonte: Elaboração própria

Figura 13: Gráfico do vigor das plantas aos 60, 90 e 120 dias após o plantio sob diferentes tratamentos com biochar e torta de filtro.



Fonte: Elaboração própria

Os resultados apresentados na Tabela 8 demonstram que não houve diferenças significativas entre os tratamentos para os teores de clorofila A, B e total ao longo de todas as avaliações. Observou-se apenas a variação natural dos pigmentos em função do desenvolvimento das plantas, com tendência de incremento conforme o avanço do ciclo.

Aos 60 DAP, observou-se que os valores de clorofila A variaram de 30,55 a 33,08 mg g^{-1}, enquanto os de clorofila B oscilaram entre 11,85 e 13,97 mg g^{-1}. A clorofila total apresentou médias de 42,07 a 46,85 mg g^{-1}, sem diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, indicando comportamento semelhante entre as plantas tratadas e a testemunha.

Aos 90 DAP, houve incremento geral nos teores de pigmentos, com a clorofila A variando de 39,48 a 40,60 mg g^{-1}, a clorofila B entre 22,90 e 25,37 mg g^{-1} e a clorofila total de 62,42 a 65,90 mg g^{-1}. Assim como na primeira avaliação, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos.

Aos 120 DAP, os teores médios de clorofila A mantiveram-se elevados, variando entre 43,42 e 46,08 mg g^{-1}, e os de clorofila B entre 19,32 e 21,48 mg g^{-1}. A clorofila total apresentou valores entre 63,12 e 67,62 mg g^{-1}, mantendo a tendência de leve incremento ao longo do ciclo. Mesmo com o avanço do desenvolvimento, não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos.

Tabela 8: Teores médios de clorofila A, B e total nas folhas da cultura avaliadas aos 60, 90 e 120 dias após o plantio (DAP), sob diferentes tratamentos com biochar e torta de filtro. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem entre si, enquanto letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativas pelo teste de Tukey (p<0,05).

Estágio de crescimento	Tratamento	Clorofila A	Clorofila B	Clorofila Total
60 dias após o plantio	**Testemunha**	31.22 ± 11.29 a	13.25 ± 5.37 a	44.48 ± 14.80 a
	Biochar no Plantio	33.08 ± 5.39 a	12.45 ± 3.41 a	45.55 ± 8.68 a
	Biochar + Torta Brotação	30.55 ± 8.62 a	11.85 ± 4.59 a	42.07 ± 13.26 a
	Biochar + Torta no Plantio	33.02 ± 5.82 a	13.97 ± 4.54 a	46.85 ± 9.69 a
CV %		33,78	27,02	28,55
DMS		7,25	14,39	21,28
90 dias após o plantio	**Testemunha**	40.55 ± 0.97 a	25.37 ± 3.23 a	65.90 ± 3.15 a
	Biochar no Plantio	40.6 ± 1.96 a	22.90 ± 3.74 a	63.53 ± 4.93 a
	Biochar + Torta Brotação	39.48 ± 2.83 a	22.92 ± 2.71 a	62.42 ± 5.17 a
	Biochar + Torta no Plantio	40.1 ± 2.13 a	23.72 ± 2.96 a	63.87 ± 5.07 a
CV %		5,05	12,07	7,01
DMS		3,38	5,02	7,47
120 dias após o plantio	**Testemunha**	43.42 ± 5.57 a	19.63 ± 7.03 a	63.12 ± 12.55 a
	Biochar no Plantio	45.12 ± 3.07 a	19.32 ± 3.85 a	64.48 ± 6.64 a
	Biochar + Torta Brotação	45.90 ± 3.84 a	19.87 ± 4.21 a	65.78 ± 7.55 a
	Biochar + Torta no Plantio	46.08 ± 2.00 a	21.48 ± 2.96 a	67.62 ± 4.89 a
CV %		8,32	24,19	12,9
DMS		6,26	8,09	14,02

Fonte: Elaboração própria

Á análise do desenvolvimento fisiológico das plantas, aos 120 dias após o plantio (DAP), observou-se que a temperatura foliar manteve-se relativamente constante entre os tratamentos, variando de 38,35 °C a 38,66 °C, sem diferenças significativas (p > 0,05), indicando que as plantas não apresentaram estresse térmico sob as condições do experimento (Tabela 9). Segundo Taiz *et al*. (2017), variações moderadas na temperatura foliar geralmente refletem regulação estomática eficiente e equilíbrio entre transpiração e assimilação de carbono.

O carbono interno (Ci) apresentou ampla variação entre 136,23 e 184,76 mmol m^{-2} s^{-1}, porém sem diferença estatística significativa (DMS = 99,81).

A taxa fotossintética, contudo, apresentou valores superiores nos tratamentos que utilizaram biochar (isolado ou associado), sugerindo que o material contribuiu para melhorar a difusão de CO_2 e a disponibilidade hídrica do solo, ampliando a assimilação líquida de carbono pelas folhas. Já a condutância estomática e a transpiração foliar não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos

(p > 0,05), sugerindo que os estômatos mantiveram regulação adequada da troca gasosa em todos os tratamentos.

A eficiência no uso da água da folha, que relaciona a assimilação de carbono com a perda de água por transpiração, não apresentou diferenças estatísticas entre os tratamentos.

Tabela 9: Parâmetros fisiológicos das plantas aos 120 DAP em diferentes tratamentos: temperatura foliar, carbono interno, taxa de fotossíntese, condutância estomática, transpiração foliar e eficiência no uso da água. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem entre si, enquanto letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativas pelo teste de Tukey (p<0,05).

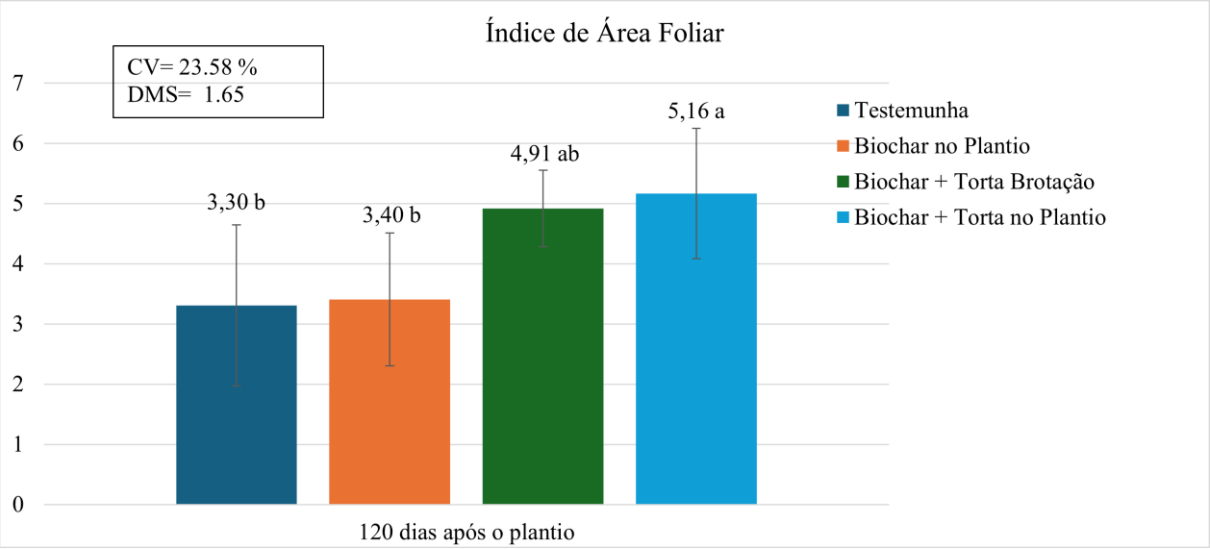
Estágio de crescimento	Tratamento	Temperatura foliar (° C)	Carbono interno mmol (m-2 s-1)	Transpiração foliar (mmol m-2 s-1)
120 dias após o plantio	**Testemunha**	38.42 ± 1.25 a	184.76 ± 37.62 a	2.86 ± 1.42 a
	Biochar no Plantio	38.66 ± 1.05 a	136.23 ± 46.99 a	3.43 ± 1.01 a
	Biochar + Torta Brotação	38.36 ± 1.24 a	162.40 ± 65.53 a	2.92 ± 1.41 a
	Biochar + Torta no Plantio	38.35 ± 1.37 a	178.8 ± 71.64 a	3.12 ± 0.53 a
CV %		3,59	36,2	40,4
DMS		2,3	99,81	2,07

Condutância estomática nas folhas (mol m-2 s-1)	Taxa de fotossíntese (µmol m2 s-1)	Eficiencia no uso da água da folha (umol CO2 mmol H2O-1)
0.09 ± 0.06 a	10.18 ± 4.03 b	3.66 ± 0.57 a
0.11 ± 0.04 a	17.94 ± 5.24 a	4.51 ± 0.96 a
0.09 ± 0.05 a	17.25 ± 3.42 ab	4.24 ± 1.10 a
0.10 ± 0.03 a	11.68 ± 3.76 ab	3.84 ± 1.34 a
47,51	31,22	27,67
0,08	7,43	1,87

Fonte: Elaboração própria

O Índice de Área Foliar (IAF) apresentou diferenças significativas entre os tratamentos aos 120 dias após o plantio (DAP). Os menores valores foram observados na testemunha (3,30) e no tratamento com biochar aplicado isoladamente (3,40), que não diferiram entre si e indicam menor expansão foliar. Em contraste, os tratamentos que combinaram biochar e torta de filtro apresentaram valores superiores. O tratamento biochar + torta no plantio obteve o maior IAF (5,16), diferindo significativamente dos tratamentos sem torta. Já o biochar + torta na brotação (4,91) apresentou valor intermediário, sem diferença estatística em relação ao tratamento com maior média, mas superior à testemunha e ao biochar isolado. Esses resultados evidenciam que a associação entre biochar e torta de filtro favorece o aumento da área foliar das plantas.

Figura 14: Índice de Área Foliar (IAF) aos 120 dias após o plantio sob diferentes tratamentos com biochar e torta de filtro. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem entre si, enquanto letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativas pelo teste de Tukey (p<0,05).



Fonte: Elaboração própria

Na Tabela 10 são apresentados os valores médios de matéria seca da parte aérea, raiz e somatório total obtidos aos 120 dias após o plantio (DAP). Observa-se que os valores médios da parte aérea variaram de 41,67 a 67,33 g planta^{-1}, sendo o maior valor registrado no tratamento com biochar + torta de filtro no plantio (BTP), que diferiu significativamente da testemunha. O biochar + torta aplicado após brotação (BTB) apresentou valor intermediário, superior ao biochar isolado (BP) e a testemunha.

Em relação à massa seca da raiz, os valores oscilaram entre 65,00 e 107,67 g planta^{-1}, não havendo diferença significativa entre os tratamentos. O somatório da matéria seca total variou de 106,67 a 169,33 g planta^{-1}, com destaque para o tratamento biochar + torta de filtro na brotação, que diferiu da testemunha, evidenciando o efeito positivo da associação desses insumos no acúmulo de biomassa.

Tabela 10: Valores médios da massa seca da parte aérea, raiz e somatório da matéria seca (g planta^{-1}) aos 120 dias após o plantio (DAP), sob diferentes tratamentos com biochar e torta de filtro. Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem entre si, enquanto letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativas pelo teste de Tukey (p<0,05).

Estágio de crescimento	Tratamento	Parte aérea (g)	Raíz (g)	Somatório da matéria seca
120 dias após o plantio	Testemunha	41.67 ± 12.93 c	65.00 ± 25.79 a	106.67 ± 38.23 b
	Biochar no Plantio	45.00 ± 13.43 bc	86.3 ± 14.99 a	131.33 ± 21.27 ab
	Biochar + Torta Brotação	61.67 ± 6.38 ab	107.67 ± 42.43 a	169.33 ± 42.06 a
	Biochar + Torta no Plantio	67.33 ± 13.13 a	72.33 ± 16.17 a	139.67 ± 23.61 ab
CV%		20,11	32,63	21,92
DMS		18,06	45,02	49,93

Fonte: Elaboração própria

6 CONCLUSÃO

O tratamento com aplicação conjunta de biochar de casca de café e torta de filtro no plantio (BTP) proporcionou os melhores resultados para altura de plantas, vigor, acúmulo de massa seca da parte aérea e índice de área foliar (IAF), evidenciando efeito positivo no crescimento inicial da cana-de-açúcar e na expansão foliar. Para as demais variáveis, não houve diferenças significativas entre os tratamentos, indicando comportamento fisiológico semelhante.

Dessa forma, a combinação de biochar e torta de filtro se mostra como alternativa sustentável e promissora para o manejo inicial da cana, favorecendo o desenvolvimento vegetativo, o acúmulo de biomassa e a utilização eficiente de resíduos agroindustriais, além de contribuir para a melhoria das condições do solo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. C.; LIMA, J. R.; PEREIRA, L. R. Composição e aplicação da torta de filtro na cana-de-açúcar**. Revista Agropecuária Técnica**, v. 40, n. 3, 2011. Disponível em: https://www.revagro.ufv.br/artigo/12345. Acesso em: 19 out. 2025.

ALMEIDA, R. F.; SILVA, M. T.; SOUZA, T. S. Resposta da cana-de-açúcar à aplicação de resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, e0210125, 2022. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbcs/i/2022.v46/. Acesso em: 19 out. 2025.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 9. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2019.

CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar: safra 2024/2025. Brasília, DF: Conab, 2024. Disponível em: https://www.conab.gov.br. Acesso em: 13 out. 2025.

COSTA, A. S. V.; SILVA, T. A.; GOMES, J. C. Torta de filtro como fonte de nutrientes para culturas agrícolas: revisão de literatura. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 1, p. 45–54, 2019. DOI: 10.21206/rbas.v9i1.892.

COSTA, A. L. Uso sustentável da torta de filtro em propriedades canavieiras. **Ciência Rural**, v. 53, n. 5, 2023. Disponível em: https://www.scielo.br/j/cr/i/2023.v53n5/. Acesso em: 19 out. 2025.

EMBRAPA **– Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Cana-de-açúcar: produção, manejo e sustentabilidade.** Brasília, DF: Embrapa, 2022. Disponível em:https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana-de-acucar. Acesso em: 13 out. 2025.

EMBRAPA – **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de Fertilidade do Solo e Adubação da Cana-de-Açúcar**. Brasília: Embrapa, 2022.

FAO – **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Cane sugar production and efficiency. Rome: FAO, 2023. Disponível em: https://www.fao.org/sugar/en/. Acesso em: 19 out. 2025.

FERRI, L. F. S.; SOARES, J. C. B.; GOMES, E. C. S.; SOUSA, R. A. R. F.; COSTA, C. M.; ROCHA, G. C. T**.** Short-term effects of filter cake and biochar on soil physical-hydric properties. **Caatinga**, Mossoró, v. 38, n. 2, p. 393-403, 2025. Disponível em: https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/11792 Acesso em: 20 out. 2025.

FRAVET, M.; SILVA, R. F.; PEREIRA, A. D. Aplicação da torta de filtro e efeitos na produtividade da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 6, 2010.

GALVÃO, Í. M. **Caracterização de propriedades físico-hídricas de solo condicionado com biochar de cana-de-açúcar**. 2023. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2023. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-07122023-162401/. Acesso em: 13 out. 2025.

LIMA, D. F.; MATOS, F. R.; SANTOS, J. R**.** Biochar de resíduos de café em solos tropicais: efeitos agronômicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 5, 2020.

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

MAPA **– Ministério da Agricultura e Pecuária**. Anuário da cana-de-açúcar no Brasil 2023. Brasília, DF: MAPA, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura. Acesso em: 13 out. 2025.

MARQUES, C. A. et al. Produção de biochar com palha de cana-de-açúcar (*Saccharum sp*.). **Research, Society and Development**, v. 11, n. 1, p. e24675, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i1.24675.

MATOS, F. R.; SANTOS, J. R.; ALMEIDA, R. F. Biochar e crescimento inicial da cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, e02037, 2021.

MOTA, M. F. C. **Uso de biochar de eucalipto na produção de cana-de-açúcar**. 2020. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/items/85d5a557-4e66-4487-83fe-2e18b6ae9e5f. Acesso em: 13 out. 2025.

OLIVEIRA, G. C.; SILVA, R. J.; NUNES, J. R. S.; FERREIRA, A. F. B. Atributos químicos e microbiológicos do solo e aspectos morfofisiológicos de mudas do Cerrado sob aplicação de biochar de torta de filtro**.** **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 27, n. 3, p. 205-213, 2023. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbee Acesso em: 20 out. 2025.

PEREIRA, S. C.; ALMEIDA, M. S.; SILVA, R. F.; MOURA, A. F. Influência de fatores ambientais no desenvolvimento da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*.). **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 16, n. 2, p. 89–96, 2010.

SANTOS, J. R.; LIMA, D. F.; SOUZA, T. S. Biochar e torta de café: efeitos combinados na cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, e0210182, 2022.

SANTOS, R. A. et al. Aplicação de biochar na agricultura: efeitos sobre propriedades do solo e produtividade vegetal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 50, e60678, 2020.

SILVA, J. R. et al. Cana-de-açúcar e sustentabilidade: desafios e perspectivas. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 29, n. 3, p. 261–272, 2021. DOI: 10.13083/reveng.v29i3.10429.

SILVA, M. T.; ALMEIDA, R. F.; COSTA, A. L**.** Aplicação de torta de filtro e impactos na qualidade da cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 53, n. 3, 2023.

SILVA, T. M. et al. Efeito do biochar na disponibilidade de nutrientes e crescimento de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, e0200148, 2021.

SOUZA, T. S.; ALMEIDA, R. F.; SILVA, M. T**.** Resíduos orgânicos e produtividade da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 10, n. 1, 2020.

UNICA – **União da Indústria de Cana-de-Açúcar**. Bioeletricidade e sustentabilidade no setor sucroenergético. São Paulo: UNICA, 2023. Disponível em: https://unica.com.br/. Acesso em: 13 out. 2025.