

Artigos

Resposta morfofisiológica de plantas do Cerrado à aplicação de biochar de torta de filtro

Morphophysiological response of Cerrado plants to filtercake biochar application

Jéssica Costa de Oliveira¹ , Evander Alves Ferreira¹ ,
Maria das Dores Magalhães Veloso^{II} , Rodinei Facco Pegoraro¹ ,
André Luis Palma Salgado¹ , Jaqueline de Cássia de Oliveira¹ ,
Ana Clara Santos Duarte¹ , Leidivan Almeida Frazão¹ 

^IUniversidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, MG, Brasil

^{II}Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, MG, Brasil

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do biochar de torta de filtro como condicionador de solo e sua influência no crescimento e na fisiologia de macaúba, araçá e cajuzinho do cerrado. Os experimentos foram montados na Fazenda Hamilton de Abreu Navarro da UFMG, onde foram avaliados o efeito de quatro doses de biochar de torta de filtro (1%, 2%, 4% e 8% v/v) e dois tratamentos controle: um com correção do solo e adubação mineral, e o outro sem adubação. Para acompanhar o desempenho das mudas, foram realizadas avaliações aos 30, 60 e 120 dias após o transplante, dos parâmetros fisiológicos (fotossíntese, transpiração, condutância estomática, CO₂ consumido, carbono interno e taxa de transporte de elétrons), e morfológicos (altura e diâmetro), aos 30, 60, 90 e 120 dias após o transplante. Aos 120 dias, avaliou-se a produção de biomassa seca da parte aérea, de raízes e total. Para a macaúba, a aplicação de biochar, na dose de 2%, favoreceu a sua fotossíntese. Já para o araçá, aos 30 dias após o transplante, o tratamento sem adubação foi melhor para a maioria das variáveis, entretanto os tratamentos com biochar também tiveram resultados satisfatórios. O cajuzinho do cerrado também respondeu positivamente à aplicação de biochar em todas as doses. As variáveis fisiológicas e morfológicas responderam bem aos tratamentos sem adubação e com aplicação de biochar ao solo. Portanto, o biochar de torta de filtro pode ser indicado no plantio das espécies estudadas, assim como a não aplicação de corretivo e fertilizante mineral.

Palavras-chave: *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius; *Psidium firmum* O. Berg; *Anacardium humile* A. St.-Hil; Fotossíntese; Crescimento de plantas



ABSTRACT

Some native species of the Cerrado have great ecological and economic potential. An alternative that aims to contribute to the good performance of post-planting plants is the incorporation of biochar into the soil. The objective of this work was to evaluate the effect of filter cake biochar as a soil conditioner and its influence on the growth and physiology of macaúba, araçá and cajuzinho do cerrado. The experiments were set up at Fazenda Hamilton de Abreu Navarro, Federal University of Minas Gerais, where the effect of four doses of filter cake biochar (1%, 2%, 4% and 8% v/v) and two treatments were evaluated. control: one with soil correction (7.5 g of GEOX) and mineral fertilization (380 g NPK 4:14:8 per plant) and the other without fertilization. To monitor the performance of the seedlings, evaluations were carried out at 30, 60 and 120 days after transplanting, the physiological parameters (photosynthesis, transpiration, stomatal conductance, CO₂ consumed, internal carbon and electron transport rate), and morphological parameters (height and diameter), at 30, 60, 90 and 120 days after transplanting. At 120 days, the production of shoot, root and total dry biomass was evaluated. For macaúba, the application of biochar, at a dose of 2%, favored its photosynthesis. As for araçá, at 30 days after transplanting, the treatment without fertilization was better for most variables, however the treatments with biochar also had satisfactory results. The cajuzinho from the cerrado also responded positively to the application of biochar at all doses. The physiological and morphological variables responded well to treatments without fertilization and with application of biochar to the soil. Therefore, filter cake biochar can be indicated in the planting of the studied species, as well as the non-application of corrective and mineral fertilizer.

Keywords: *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius; *Psidium firmum* O. Berg; *Anacardium humile* A. St.-Hil; Photosynthesis; Plant growth

1 INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior bioma da América do Sul em extensão, representa 24% do território brasileiro e abrange uma área aproximada de dois milhões de km² (MEDRADO; LIMA, 2014). Engloba uma ampla variação de fitofisionomias e possui uma alta diversidade de espécies animais e vegetais, com uma flora contabilizada em mais de 12.000 espécies. Além disso, o Cerrado apresenta um elevado potencial comercial das espécies frutíferas, madeireiras e medicinais (SOARES; MELO; OLIVEIRA; SOUZA, 2017). Dentre essas espécies potenciais, pode-se citar a macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius), o araçá (*Psidium firmum* O. Berg) e o cajuzinho do cerrado (*Anacardium humile* A. St.-Hil.).

A macaúba é uma palmeira que possui um grande potencial para a indústria, pela sua alta produtividade e rendimento de óleo. O óleo do mesocarpo apresenta



características adequadas como matéria-prima para biocombustível (LANES; COSTA; MOTOIKE, 2014), além de propriedades medicinais (LESCANO; IWAMOTO; ARGANDOÑA; KASSUYA, 2015). O araçá e o cajuzinho do cerrado são plantas frutíferas muito cultivadas em pomares domésticos. Os frutos são amplamente utilizados pelas populações regionais de forma extrativista, além de serem muito utilizados nas indústrias de alimentos, fármacos e cosméticos (RESSEL; LIMA-RIBEIRO; REIS, 2015).

Essas espécies também podem ser utilizadas em programas de recuperação de áreas degradadas, e uma alternativa que visa contribuir para o bom desempenho das plantas pós plantio é a incorporação de biochar (também conhecido como biocarvão) ao solo. O biochar é um material sólido, poroso, rico em carbono, obtido pela conversão termoquímica da biomassa em um ambiente com restrição de oxigênio (SÁNCHEZ-REINOSO; ÁVILA; RESTREPO, 2020). Dessa forma, a produção de biochar atua positivamente no tratamento e reaproveitamento de resíduos gerados em diversas atividades (ABDELHAFEZ; LI; MOHAMED; ABBAS, 2014), como a torta de filtro, resíduo da indústria de cana-de-açúcar.

A incorporação do biochar ao solo pode melhorar as suas propriedades físico-químicas e biológicas além de aumentar a capacidade de retenção de água e nutrientes (MAIA; SILVA; CARNEIRO; MONTICELLI; PINHATI; MULINARI, 2021). Deste modo, seu uso aumenta a produtividade das plantas, diminui os custos com irrigação e fertilização e diversifica o uso de resíduos orgânicos gerados na agricultura (PIMENTA; MIRANDA; CARVALHO; SILVA; OLIVEIRA, 2019).

A qualidade do solo é um dos fatores que mais interferem nos processos morfofisiológicos da planta, pois a disponibilidade hídrica e de nutrientes é responsável por diversos processos bioquímicos e metabólicos (MOŽDŽEŇ; BOJARSKI; RUT; MIGDAŁEK, 2015). Embora os efeitos benéficos da aplicação de biochar tenham sido comprovados para diversas culturas, estudos com espécies nativas do Cerrado são escassos e podem servir de base para novas pesquisas. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do biochar de torta de filtro como condicionador de solo e sua influência no desenvolvimento morfofisiológico de três espécies nativas do Cerrado: macaúba, araçá e cajuzinho do cerrado.



2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Preparação e caracterização do biochar

O biochar utilizado no trabalho foi produzido a partir da torta de filtro, subproduto da indústria sucroalcooleira, proveniente da filtração do caldo extraído das moendas no filtro rotativo, obtido de uma mistura de bagaço moído e lodo da decantação. Após coleta do material no pátio da usina, o mesmo foi seco em estufa a 105°C para posterior pirólise. Em seguida, a torta de filtro seca foi acondicionada em recipientes de alumínio e levada para a mufla, onde procedeu-se a pirólise, em condições de temperatura de 550°C e tempo de residência de 180 minutos. Em seguida o biochar, foi triturado e peneirado em peneira de 1 mm. Antes de ser aplicado ao solo, foi realizada a caracterização do biochar (Tabela 1). O teor de cinzas, pH e condutividade elétrica foi determinado segundo método proposto pela International Biochar Initiative (IBI, 2012). E o teor de macro e micronutrientes foi obtido de acordo com o método oficial proposto pelo Ministério da Agricultura e Abastecimento (MAPA, 2017) para fertilizantes orgânicos. O rendimento do biochar produzido foi de 73,4 % \pm 0,73, sendo calculado por meio da relação entre a massa do biochar pirolisada e a massa da matéria-prima in natura antes do processo de pirólise.

Tabela 1 – Caracterização do biochar de torta de filtro, utilizado no experimento

Atributo	Nível
Umidade (%)	1,8
pH	8,50
CE (mS cm ⁻¹)	0,323
Cinzas (%)	46,86
C total (g kg ⁻¹)	287,9
N total (g kg ⁻¹)	1,84
P (g kg ⁻¹)	0,48
K (g kg ⁻¹)	3,55
Ca (g kg ⁻¹)	115,56
Mg (g kg ⁻¹)	2,84
Zn (mg kg ⁻¹)	0,017
Cu (mg kg ⁻¹)	0,051
Mn (mg kg ⁻¹)	0,055
Fe (g kg ⁻¹)	12,68

Fonte: Autores (2022)



2.2 Produção das mudas em viveiro e montagem dos experimentos em casa de vegetação

As mudas das três espécies utilizadas foram produzidas no viveiro do laboratório de Ecologia Vegetal da Unimontes. No momento do transplântio, as mudas se encontravam com 180 dias. O solo utilizado no experimento foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, segundo Embrapa (2018). A coleta foi realizada na região próxima à cidade de Montes Claros, em área de vegetação nativa. As características físicas e químicas do mesmo estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização química e textural do solo utilizado no experimento

Análise química do solo	
Atributo do solo	Nível
pH (água)	4,11
P (mg/dm ³)	5,58
K (mg/dm ³)	37,49
Ca (cmolc/dm ³)	0,93
Mg (cmolc/dm ³)	<0,1
Al (cmolc/dm ³)	0,88
H+Al (cmolc/dm ³)	5,28
SB (%)	18
t (%)	100
T (cmolc/dm ³)	6,41
m (%)	44
V (%)	18
Análise granulométrica do solo	
Areia (dag/kg)	38,74
Silte (dag/kg)	16,26
Argila (dag/kg)	45 Ar

Fonte: Autores (2022)

Os três experimentos foram montados em Julho de 2020, no viveiro de plantas medicinais da fazenda Hamilton de Abreu Navarro do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, sendo um experimento por espécie. As espécies nativas do Cerrado utilizadas foram: macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius), araçá (*Psidium firmum* O. Berg) e cajuzinho do cerrado (*Anacardium humile* A. St.-Hil.). Os experimentos



foram implantados em vasos (12 litros) em casa de vegetação num delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições, constituído por seis tratamentos (quatro doses de biochar: 1; 2; 4 e 8 % v/v e dois tratamentos controle: um sem adubação (SA) e outro com correção do solo, 7,5 g de GEOX e adubação mineral, 380 g NPK 4:14:8 por planta (CA)). O solo foi peneirado em peneira de malha < 4 mm, misturado ao biochar, e acondicionado nos vasos, onde se realizou o transplântio das mudas.

2.3 Avaliação das plantas

Para acompanhamento do desempenho das mudas, foram realizadas avaliações dos parâmetros fisiológicos: fotossíntese (A), transpiração (E), condutância estomática (Gs), CO₂ consumido (ΔC), carbono interno (Ci) e taxa de transporte de elétrons (ETR), aos 30, 60 e 120 dias após o transplântio e morfológicos (altura e diâmetro) aos 30, 60, 90 e 120 dias após o transplântio.

As avaliações de A, E, Gs, ΔC e Ci, foram realizadas com um Analisador de Gás por Absorção na Faixa do Infravermelho (IRGA) Modelo LCpro-sd. A ETR foi avaliada com auxílio de um fluorômetro modelo Y (II) meter fluorometer (OPTI-SCIENCES, Hudson, USA).

A altura foi obtida por um metro de madeira graduado e o diâmetro através de um paquímetro digital. Ao final dos 120 dias as plantas foram colhidas, separadas em parte aérea e raiz e secas em estufa a 65°C até peso constante para obtenção da biomassa seca.

2.4 Análise estatística

Os dados de cada variável foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e Cochran e Bartlett para testar a distribuição normal e homogeneidade de variâncias. Para verificar a existência de diferenças significativas entre os tratamentos, foi feita análise de variância e, para as variáveis cujo teste F for significativo, as médias foram comparadas pelo teste Tukey ($p < 0.05$). Os procedimentos estatísticos foram realizados com auxílio do software SISVAR.



3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius (macaúba)

Para a espécie *Acrocomia aculeata*, onde o efeito de tratamento foi significativo, as médias foram maiores nos tratamentos sem adubação e com adição de biochar (Figura 1). Importante ressaltar que o solo utilizado apresenta baixos teores de P e K (Tabela 2). Estudos têm mostrado que a utilização do biochar em mudas de espécies nativas pode acelerar o crescimento e melhorar o padrão de qualidade das plantas (ÁVILA; ANDRADE; VENDRUSCOLO; MARTINS; LIMA, 2020; COIMBRA; LIMA; LIMA; SILVA; KANECO, 2021).

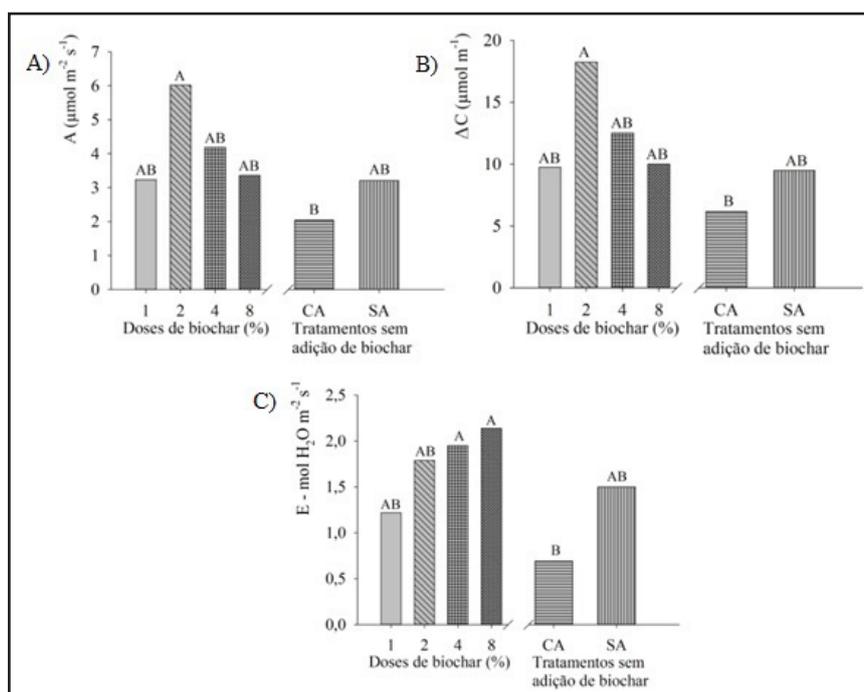
Aos 30 e 60 dias após o transplântio, não houve efeito significativo para nenhuma variável fisiológica. Já para as variáveis morfológicas (altura, diâmetro e biomassa seca) não houve efeito de tratamento em nenhuma das épocas avaliadas. Mudanças de espécies arbóreas apresentam baixa taxa de crescimento e baixas taxas fotossintéticas quando comparadas com espécies herbáceas (NASCIMENTO; NOGUEIRA; SILVA; SILVA, 2011).

Nas avaliações aos 120 dias após o transplântio, os valores de A e ΔC das plantas de *Acrocomia aculeata* foram superiores na dose de 2% de biochar (Figura 1A e 1B). Esse resultado justifica-se pelo fato da dose de 2% de biochar ter sido o tratamento, dentre os estudados, que proporcionou melhores condições para a fotossíntese da *Acrocomia aculeata*, aos 120 dias após o transplântio. O biochar utilizado neste trabalho apresenta uma favorável composição química elementar (Tabela 1) macronutrientes como o N, o S e micronutrientes como o Fe, o Cu, e o Mn fazem parte da cadeia de transporte de elétrons nas membranas dos cloroplastos, dessa forma sua disponibilidade no solo e no biochar é essencial (TAIZ; ZEIGER; MOLLER; MURPHY, 2017), e os elementos químicos disponíveis no solo, podem beneficiar os processos de fotossíntese (XU; WANG; LI; YAO; SU; ZHU, 2014). Taiz, Zeiger, Moller e Murphy (2017) afirmam que alguns fatores como, recursos hídricos e elementos minerais na solução do solo influenciam o desenvolvimento e manutenção das plantas, sobretudo



nos aspectos fisiológicos. Trabalhos sobre às exigências nutricionais da macaúba, têm mostrado que essa espécie é responsiva a disponibilidade de nutrientes, na fase de crescimento inicial das plantas, destacando-se que tais nutrientes estão presentes no biochar e em quantidades variáveis no solo (Tabelas 1 e 2) (PIMENTEL; BRUCKNER; MARTINEZ; MOTOIKE; MANFIO; SANTOS, 2015; PIMENTEL; BRUCKNER; MANFIO; MOTOIKE; MARTINEZ, 2016).

Figura 1 – A - Fotossíntese (A), B - Transpiração (E) e C - CO_2 consumido (ΔC) das plantas de *Acrocomia aculeata*, aos 120 dias após o transplante, em função das doses de biochar (1, 2, 4 e 8%) e dos tratamentos com e sem adubação (CA e SA)



Fonte: Autores (2022)

Em que: *Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ao nível $p < 0,05$.

Entretanto, observa-se as menores médias de A, e ΔC (Figura 1A e 1B), no tratamento com adubação. Isso pode ser justificado pelo fato da dose de adubo utilizada ser superior às necessidades nutricionais da espécie *Acrocomia aculeata* (TAIZ; ZEIGER; MOLLER; MURPHY, 2017).



As maiores médias de E foram observadas nas maiores doses de biochar (4 e 8%) (Figura 1C). Este fato pode estar associado a maior disponibilidade hídrica no solo nesses tratamentos. Maia, Silva, Carneiro, Monticelli, Pinhati e Mulinari (2021) descreveram aumentos na capacidade de retenção de água de solos tratados com biochar de diferentes fontes.

3.2 *Psidium firmum* O. Berg (araçá)

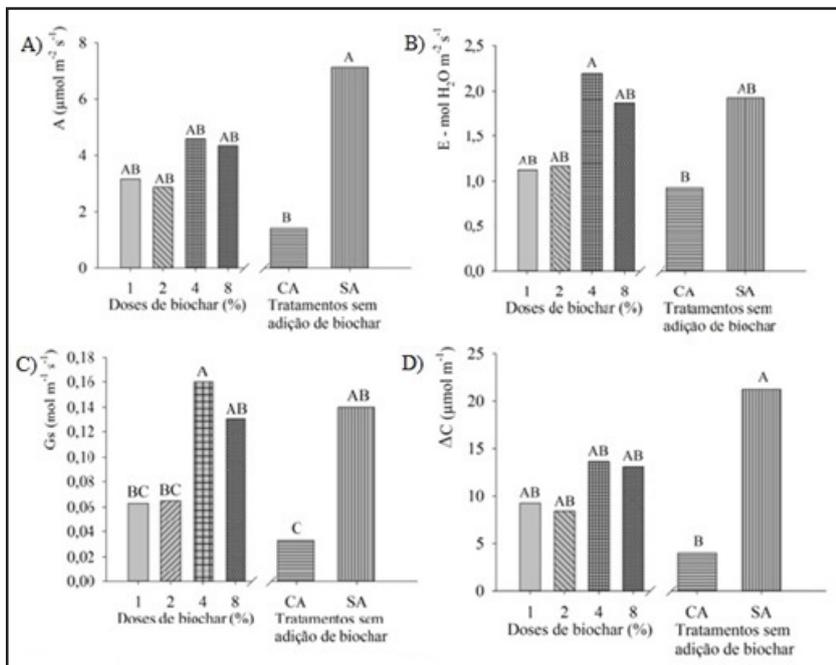
Para as plantas de *Psidium firmum*, aos 30 dias após o transplântio, observou-se efeito significativo dos tratamentos em quatro variáveis fisiológicas (A, E, Gs e ΔC) (Figura 2), sendo que houve aumento considerável da A e do ΔC no tratamento sem adubação (SA) (Figura 2A e 2D). O araçá é uma espécie típica do cerrado e pode apresentar adaptação ao ambiente, uma vez que, normalmente, a vegetação do cerrado ocorre, em solos distróficos, pobres em cálcio e magnésio e com alta disponibilidade de alumínio. Dessa forma, espécies do cerrado apresentam menor crescimento, bem como, baixa taxa fotossintética, sendo fisiologicamente adaptadas ao ambiente (ALVES JÚNIOR; TAVEIRA; CASAROLI; EVANGELISTA, 2015).

Para as variáveis E e Gs, as doses de 4 e 8% de biochar proporcionaram maiores médias (Figura 2B e 2C). Isso pode ser justificado pela capacidade do biochar em reter água no solo (MAIA; SILVA; CARNEIRO; MONTICELLI; PINHATI; MULINARI, 2021), sendo essas variáveis altamente influenciadas pela disponibilidade hídrica. Além disso, os nutrientes do biochar podem não ter influenciado as plantas aos 30 dias após o transplântio, devido o mesmo disponibilizar os nutrientes para o solo-planta de forma lenta (WEN; WU; HAN; CRAVOTTO; WANG; WE, 2017).

Em *Psidium firmum*, aos 60 dias após o transplântio, houve diferença estatística entre os tratamentos para a E e para a Gs (Figura 3), sendo o tratamento com adubação (CA) com as maiores médias. Possivelmente, a maior transpiração e a maior condutância estomática observada nas plantas adubadas estão relacionadas à maior abertura dos estômatos mediada pela concentração de potássio nas células guardas (TAIZ; ZEIGER; MOLLER; MURPHY, 2017).



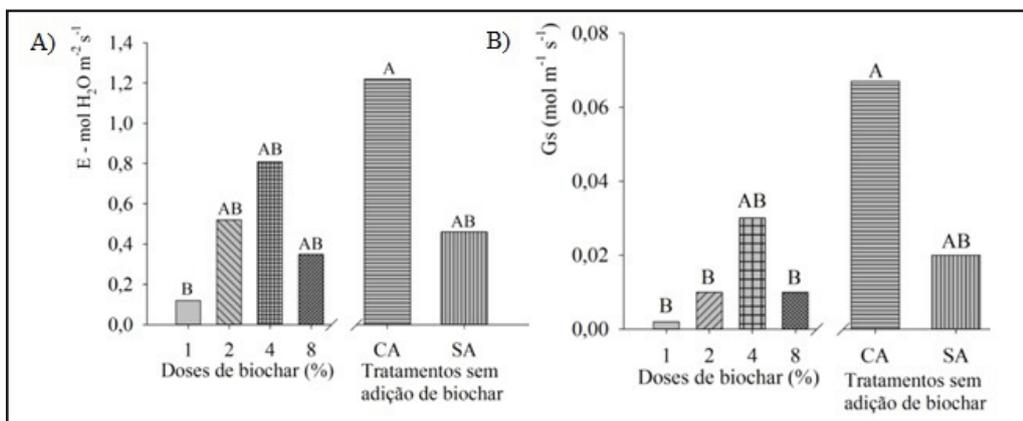
Figura 2 – A – Fotossíntese (A), B – Transpiração (E), C – Condutância estomática (Gs), D – CO₂ consumido (ΔC) das plantas de *Psidium firmum*, aos 30 dias após o transplântio, em função das doses de biochar (1, 2, 4 e 8%) e dos tratamentos com e sem adubação (CA e SA)



Fonte: Autores (2022)

Em que: *Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ao nível $p < 0,05$.

Figura 3 – A - Transpiração (E) e B - Condutância estomática (Gs) das plantas de *Psidium firmum*, aos 60 dias após o transplântio, em função das doses de biochar (1, 2, 4 e 8%) e dos tratamentos com e sem adubação (CA e SA)



Fonte: Autores (2022)

Em que: *Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ao nível $p < 0,05$.



Aos 120 dias após o transplântio, não houve efeito significativo para nenhuma variável fisiológica.

Quanto aos parâmetros morfológicos, o efeito significativo foi para a variável altura aos 30 e 60 dias após o transplântio e para a massa seca de raiz (MSR) aos 120 dias após o transplântio (Tabela 3). Os tratamentos com adição de biochar e com adubação proporcionaram maior crescimento em altura aos 30 e 60 dias após o transplântio, não diferindo estatisticamente entre si, e o tratamento sem adubação (SA) foi o que obteve as menores médias (28, 38 e 47 cm) para a variável altura (Tabela 3). Todavia, para as variáveis fisiológicas, o tratamento com adubação foi o que obteve menor fotossíntese e CO₂ consumido (Figura 2A e 2D) aos 30 dias após o transplântio. Isso pode ser justificado pelo excesso de nutrientes para essa espécie, principalmente nitrogênio, no tratamento com adubação.

Tabela 3 – Médias de altura (cm), aos 30 e 60 dias após o transplântio; e massa seca de raiz (MSR – g/planta), aos 120 dias após o transplântio das plantas de *Psidium firmum*, em função das doses de biochar (1, 2, 4 e 8%) e dos tratamentos com e sem adubação (CA e SA)

Tratamento	Altura (cm)		MSR aos 120 dias (g/planta)
	30 Dias	60 Dias	
1%	38,75 a	55,13 ab	50,11 a
2%	36,75 ab	55,75 ab	54,12 a
4%	33,00 ab	48,00 b	50,58 a
8%	40,75 a	62,75 a	52,31 a
CA	37,38 ab	49,13 ab	12,34 c
SA	28,38 b	47,00 b	32,02 b

Fonte: Autores (2022)

Em que: *Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ao nível $p < 0,05$.

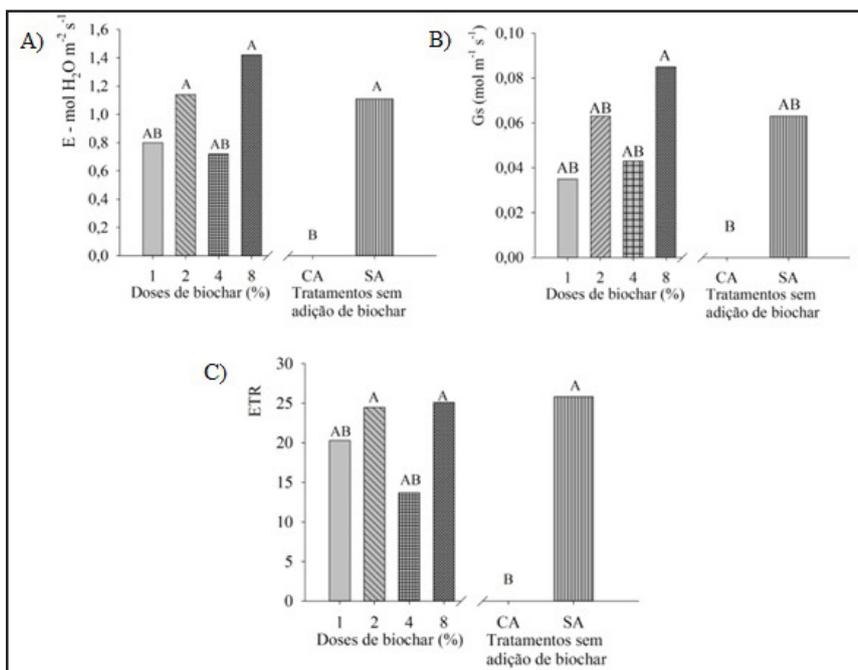
Os principais aspectos de excesso de nitrogênio absorvido e metabolizado estão relacionados ao desvio de carboidratos para as proteínas, que promove excesso de desenvolvimento vegetativo da parte aérea, causando também aumento da relação parte aérea/raiz, prejudicando o desenvolvimento do sistema radicular e capacidade de resistência das plantas a períodos secos bem como o tombamento das mesmas. (PRADO, 2020). Tal fato pode ser observado na produção de massa seca de raiz, pois o tratamento com adubação teve a menor média (12,34 g/planta).



3.3 *Anacardium humile* A. St.-Hil. (cajuzinho do cerrado)

Quanto às plantas de *Anacardium humile*, aos 30 dias após o transplântio, houve efeito significativo dos tratamentos para E, Gs e ETR (Figura 4). As plantas cultivadas nos tratamentos sem adubação e com biochar, não diferiram estatisticamente entre si para E, Gs, e ETR (Figuras 6A, 6B). As plantas de *Anacardium humile* do tratamento com adubação (CA) morreram antes das avaliações. O cajuzinho do cerrado é uma espécie que se adapta a solos de baixa fertilidade, de pH ácido e alta saturação por alumínio (RODRIGUES; RESENDE; MROJINSKI; SILVA; MENDES, 2016). Isso pode justificar o fato de as plantas não terem respondido positivamente ao tratamento com adubação onde também foi adicionado corretivo de acidez. Comportamento semelhante, também, tem sido verificado em outros trabalhos, onde a correção da acidez passou a ser prejudicial ao crescimento das plantas (HARIDASAN, 2008; CARLOS; VENTURIN; MACEDO; HIGASHIKAWA; GARCIA; FARIAS, 2014; ALVES JÚNIOR; TAVEIRA; CASAROLI; EVANGELISTA, 2015).

Figura 4 – A - Transpiração (E), B - Condutância estomática (Gs) e C - Taxa de transporte de elétrons (ETR) das plantas de *Anacardium humile*, aos 30 dias após o transplântio, em função das doses de biochar (1, 2, 4 e 8%) e dos tratamentos com e sem adubação (CA e SA)



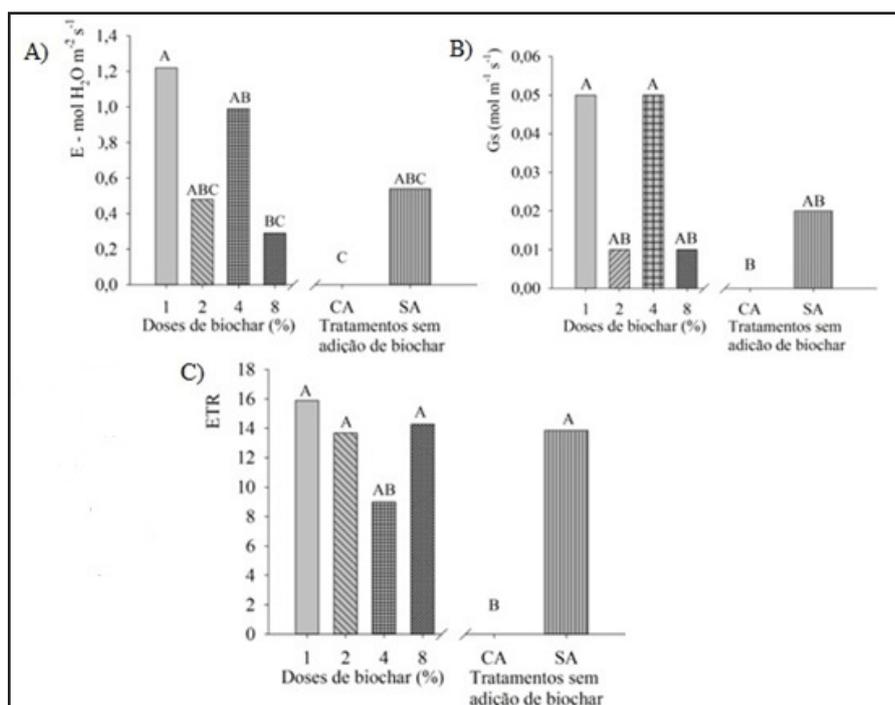
Fonte: Autores (2022)

Em que: *Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ao nível $p < 0,05$.



Os parâmetros E, a Gs, e a ETR apresentaram comportamento diferente entre os tratamentos, aos 60 dias após o transplante (Figura 5). As plantas com biochar nas doses de 1 e 4% teve maior E e Gs (Figura 5A e 5B). Para a ETR, as plantas responderam positivamente aos tratamentos sem adubação (SA) e com biochar (Figura 5C), indicando maior capacidade fotoquímica e maior eficiência na transferência de elétrons de energia luminosa para o PSII (HUANG; WU; CHEN; DONG, 2011).

Figura 5 – A - Transpiração, B - Condutância estomática (Gs) e C - Taxa de transporte de elétrons (ETR) das plantas de *Anacardium humile*, aos 60 dias após o transplante, em função das doses de biochar (1, 2, 4 e 8%) e dos tratamentos com e sem adubação (CA e SA)



Fonte: Autores (2022)

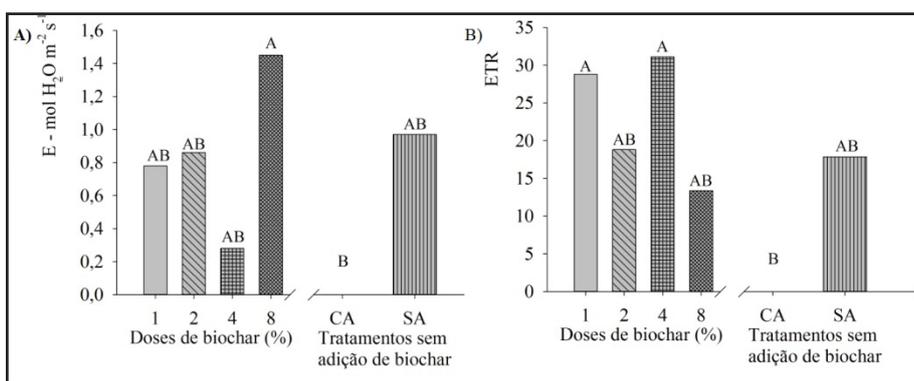
Em que: *Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ao nível $p < 0,05$.

Aos 120 dias, houve efeito significativo para E e ETR. A transpiração foi maior na dose de 8% (Figura 6A), isso reafirma a alta capacidade do biochar em reter água no solo. Para a ETR os tratamentos com biochar foram iguais estatisticamente ao tratamento sem adubação (Figura 6B). O biochar é um material poroso e rico em carbono, sua



incorporação ao solo favorece a população de microrganismos benéficos (ALI; RIZWAN; QAYYUM; OK; IBRAHIM; RIAZ; ARIF; HAFEEZ; AL-WABEL; SHAHZAD, 2017). Os efeitos positivos e negativos do biochar no desempenho do crescimento das plantas têm sido discutidos na literatura por muitos pesquisadores (YOUNIS; DANISH; MALIK; AHMED; MUNIR; RASHEED, 2020; ALABOUDI; AHMED; BRODIE, 2019). Gul e Whalen (2016) revisaram possíveis fatores atuando sobre a ciclagem bioquímica de N e de P em solos tratados com biochar, quais sejam: aumento do pH do solo e suprimento de macro e micronutrientes.

Figura 6 – A - Transpiração e B - Taxa de transporte de elétrons (ETR) das plantas de *Anacardium humile*, aos 120 dias após o transplante, em função das doses de biochar (1, 2, 4 e 8%) e dos tratamentos com e sem adubação (CA e SA)



Fonte: Autores (2022)

Em que: *Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ao nível $p < 0,05$.

Quanto aos parâmetros morfológicos, o efeito foi significativo aos 90 e 120 dias após o transplante para a altura; e aos 120 dias para massa seca de raízes (MSR) (Tabela 4). Os dados de altura e MSR corroboram com os dados fisiológicos, onde é possível observar que tanto os tratamentos com biochar quanto o tratamento sem adubação proporcionam bons resultados para as plantas de *Anacardium humile*, sobretudo a dose de 2% de biochar. De acordo com Lima, Marimon Junior, Melo-Santos, Reis, Petter, Vilar e Marimon (2016), o melhor desenvolvimento vegetal proporcionado



pelo biochar varia conforme suas características químicas, deste modo cada biochar apresenta uma dose ideal a depender da espécie.

Tabela 4 – Médias de altura (cm) aos 90 e 120 e massa seca de raiz (MSR – g/planta), aos 120 dias após o transplante das plantas de *Anacardium humile*, em função das doses de biochar (1, 2, 4 e 8%) e dos tratamentos com e sem adubação (CA e SA)

Tratamento	Altura (cm)		MSR aos 120 dia (g/planta)
	90	120	
1%	18,25 a	21,00ab	6,47 ab
2%	20,25 a	24,95 a	17,86 a
4%	9,75 ab	11,63 ab	4,05 ab
8%	19,00 a	21,75 a	6,39 ab
CA	—	—	—
SA	12,88 ab	17,13 ab	10,75 ab

Fonte: Autores (2022)

Em que: *Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ao nível $p < 0,05$.

4 CONCLUSÕES

A dose 2% de biochar proporcionou maior fotossíntese e CO_2 consumido para as plantas de *Acrocomia aculeata*. Dessa forma essa dose pode ser indicada no plantio dessa espécie.

O tratamento sem adubação proporcionou maior fotossíntese e CO_2 consumido para a espécie *Psidium firmum*; e os tratamentos com biochar em todas as doses promoveram maior ganho em biomassa seca de raiz.

Para *Anacardium humile* os tratamentos com aplicação de biochar e sem adubação contribuíram positivamente para o seu crescimento e fisiologia.

A adubação e a correção da acidez do solo (tratamento CA) desfavoreceram o crescimento e fisiologia das plantas, sobretudo para a espécie cajuzinho do Cerrado (*Anacardium humile*).



Dessa maneira, tanto a ausência de adubação quanto o uso do biochar de torta de filtro podem ser indicados, no plantio de *macaúba* (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius), *araçá* (*Psidium firmum* O. Berg) e cajuzinho do cerrado (*Anacardium humile* A. St.-Hil.).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), à empresa Destilaria Veredas e Fazenda Agro, ao Instituto Federal do Norte de Minas Gerais e à Universidade Estadual de Montes Claros.

REFERÊNCIAS

- ABDELHAFEZ, A. A.; LI, J.; MOHAMED, H.H.; ABBAS, H. H. M. Feasibility of biochar manufactured from organic wastes on the stabilization of heavy metals in a metal smelter contaminated soil. **Chemosphere**, v. 117, p. 66-71, 2014.
- ALABOUDI, K. A. B.; AHMED, B.; BRODIE, G. Effect of biochar on Pb, Cd and Cr availability and maize growth in artificial contaminated soil. **Ann. Agric. Sci**, v.64, n.1, p.95-102, 2019.
- ALI, S.; RIZWAN, M.; QAYYUM, M. F.; OK, Y. S.; IBRAHIM, M.; RIAZ, M.; ARIF, M. S.; HAFEEZ, F.; AL-WABEL, M. I.; SHAHZAD, A. N. Biochar soil amendment on alleviation of drought and salt stress in plants: a critical review. **Environ Sci Pollut Res**, v.24, p.12700-12712, 2017.
- ALVES JÚNIOR, J.; TAVEIRA, M. R.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A. W. P. Respostas do pequizeiro à irrigação e adubação orgânica. **Gl. Sci Technol, Rio Verde**, v.08, n.01, p.47-60, 2015.
- ÁVILA, J.; ANDRADE, M. G. O.; VENDRUSCOLO, E. P.; MARTINS, J. D.; LIMA, S. F. Cover crops change the phytosociology of weeds and the banana yield. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.7, p.53-59, 2020.
- CARLOS, L.; VENTURIN, N.; MACEDO, R. L. G.; HIGASHIKAWA, E. M.; GARCIA, M. B.; FARIAS, E. S. Crescimento e nutrição mineral de mudas de pequi sob efeito da omissão de nutrientes. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 13-21, 2014.
- COIMBRA, J. V. M.; LIMA, A. P. L.; LIMA, S. F.; SILVA, D. D.; KANECO, J. A. Moinha de carvão e bioestimulante vegetal na formação de mudas de cedro Australiano. **Interação**, v.21, p.298-316, 2021.
- EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2018.



GUL, S; WHALEN, J. K. Biochemical cycling of nitrogen and phosphorus in biochar-amended soils Shamim. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 103, p. 1-15, Dec. 2016.

HARIDASAN, M. Nutritional adaptations of native plants of the Cerrado biome in acid soils. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 20, n. 3, p. 183-195, 2008.

HUANG, D.; WU, L.; CHEN, J. R.; DONG, L. Morphological plasticity, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of *Athyrium pachyphlebium* at different shade levels. **Photosynthetica**, v.49, p.611-618, 2011.

INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE (IBI). Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil. N°08, 2012. Acesso em: jun 2020.

LANES, E. C. M.; COSTA, P. M. A.; MOTOIKE, S. Y. Brazil promotes aviation biofuels. **Nature**, v. 511, p.31, 2014.

LESCANO, C. H.; IWAMOTO, R. D.; ARGANDOÑA, E. J. S.; KASSUYA, C. A. L. Diuretic and Anti-Inflammatory Activities of the Microencapsulated *Acrocomia aculeata* (Arecaceae) Oil on Wistar Rats. **Journal of Medicinal Food**. v. 6, p. 656–662, 2015.

LIMA, S. L.; MARIMON JUNIOR, B. H.; MELO-SANTOS, K. 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**, Brasília, v. 51, n. 2, p. 120-131, 2016.

MAIA, L. S. da; SILVA, A. I. C. da; CARNEIRO, E. S.; MONTICELLI, F. M.; PINHATI, F. R.; MULINARI, D. R. Activated carbon from palm fibres used as an adsorbent for methylene blue removal. **Journal of Polymers and the environment**, v.29, n.4, p.1162-1175, 2021.

MAPA. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos** (2017). Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/laboratorios/legislacoes-emetodos/fertilizantesubstratos/manual-de-metodos>.

MEDRADO, E; LIMA, J. E. F. W. Development of pedotransfer functions for estimating water retention curve for tropical soils of the Brazilian savanna. **Geoderma Regional**, v.1, p.59-66, 2014.

MOŽDŽEŇ, K.; BOJARSKI, B.; RUT, G.; MIGDAŁEK, G. Effect of drought stress induced by mannitol on physiological parameters of maize (*Zea mays* L.) Seedlings and plants. **J Microbiol Biotech Food Sci**, v.4, p.86-91, 2015.

NASCIMENTO, H. H. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, E. C.; SILVA, M. A. Análise do crescimento de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes níveis de água no solo. **Revista Árvore**, v.35, n.3, p.617-626, 2011.

PIMENTA, A. S.; MIRANDA, N. O.; 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.



PIMENTEL, L. D.; BRUCKNER, C. H.; MARTINEZ, H. E. P.; MOTOIKE, S. Y.; MANFIO, C. E.; SANTOS, R. C. Effect of Nitrogen and Potassium Rates on Early Development of Macaw Palm. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1671-1680, 2015.

PIMENTEL, L. D.; BRUCKNER, C. H.; MANFIO, C. E.; MOTOIKE, S. Y.; MARTINEZ, H. E. P. Substrate, lime, phosphorus and topdress fertilization in macaw palm seedling production. **Revista Árvore**, v. 40, p. 235-244, 2016.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. 2ª Ed. São Paulo: UNESP, 2020.

RESSEL, K.; LIMA-RIBEIRO, M. de S.; REIS, E. F. Desempenho de progênies de diferentes matrizes de cajuzinho-do-cerrado mediante o armazenamento e o peso das núculas. **Ciência Rural**, v.45, n.10, p.1782-1787, 2015.

RODRIGUES, F.; RESENDE, C. L. P.; MROJINSKI, F.; SILVA, M. A.; MENDES, R. C. Comportamento inicial de mudas de *Anacardium humile* St. Hil sob diferentes substratos. **Revista Agrotecnologia**, v. 7, n. 1, p. 1-9, 2016.

SANCHEZ-REINOSO, A. D.; AVILA-PEDRAZA, E. A.; RESTREPO-DIAZ, H. Use of biochar in agriculture. **Acta biol. Colomb**, v. 25, n. 2, p. 327-338, 2020.

SOARES, L. V.; MELO, R.; OLIVEIRA, W.; SOUZA, P. M. Brazilian Cerrado fruits and their potential use in bakery products. In H. Lewis (Ed.), *Bread: Consumption, cultural significance and health effects* (Chap. 5, pp. 125-160). New York: Nova Publisher, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.

WEN, Z. S. P.; WU, Z.; HAN, Y.; CRAVOTTO, G.; WANG, J.; WE, B. Microwave-assisted synthesis of a novel biochar-based slow-release nitrogen fertilizer with enhanced water-retention capacity. **ACS Sustainable Chem. Eng**, v.5, n.8, p. 7374-7382, 2017.

XU, H.; WANG, X.; LI, H.; YAO, H.; SU, J.; ZHU, Y. Biochar impacts soil microbial community composition and nitrogen cycling in an acidic soil planted with rape. **Environ. Sci. Technol**, v.48, p.9391-9399, 2014.

YOUNIS, U.; DANISH, S.; MALIK, S. A.; AHMED, N.; MUNIR, T. M.; RASHEED, M. K. Role of cotton sticks biochar in immobilization of nickel under induced toxicity condition and growth indices of *Trigonella corniculata* L. **Environmental Science and Pollution Research**, v.27, p. 1752-1761, 2020.



Contribuição de Autoria

1 Jéssica Costa de Oliveira

Engenheira Florestal, Doutora em Produção Vegetal

<https://orcid.org/0000-0003-2273-506X> • jessica.costaoliveira@yahoo.com.br

Contribuição: : Conceitualização; Curadoria de dados; Análise de dados; Pesquisa; Metodologia; Desenvolvimento, implementação e teste de software; Validação de dados e experimentos; Design da apresentação de dados; Redação do manuscrito original; Escrita – revisão e edição

2 Evander Alves Ferreira

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Fitotecnia

<https://orcid.org/0000-0003-4701-6862> • evanderalves@gmail.com

Contribuição: Curadoria de dados; Análise de dados; Pesquisa; Metodologia; Disponibilização de ferramentas; Desenvolvimento, implementação e teste de software; Supervisão; Validação de dados e experimentos; Redação do manuscrito original; Escrita – revisão e edição

3 Maria das Dores Magalhães Veloso

Bióloga, Doutora em Engenharia Florestal

<https://orcid.org/0000-0002-2692-0249> • doraveloso13@gmail.com

Contribuição: Recebimento de financiamento; Pesquisa; Metodologia; Supervisão; Validação de dados e experimentos; Redação do manuscrito original; Escrita – revisão e edição

4 Rodinei Facco Pegoraro

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas)

<https://orcid.org/0000-0002-8692-9296> • rodinei@ufmg.br

Contribuição: Supervisão; Validação de dados e experimentos; Redação do manuscrito original; Escrita – revisão e edição

5 André Luis Palma Salgado

Engenheiro Florestal

<https://orcid.org/0009-0002-4841-0634> • ps10andre@gmail.com

Contribuição: Pesquisa; Metodologia; Redação do manuscrito original; Escrita – revisão e edição



6 Jaqueline de Cássia de Oliveira

Engenheira Florestal, Mestre em Produção Vegetal

<https://orcid.org/0000-0002-7180-7915> • oliveirajaqueline.c@gmail.com

Contribuição: Pesquisa; Metodologia; Redação do manuscrito original; Escrita – revisão e edição

7 Ana Clara Santos Duarte

Engenheira Agrônoma, Mestranda em Produção Vegetal

<https://orcid.org/0000-0001-9457-5849> • anaduart07@gmail.com

Contribuição: Pesquisa; Metodologia; Redação do manuscrito original; Escrita – revisão e edição

8 Leidivan Almeida Frazão

Engenheira Agrônoma, Doutora em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas)

<https://orcid.org/0000-0001-6848-9007> • lafrazao@ica.ufmg.br

Contribuição: Conceitualização; Curadoria de dados; Análise de dados;

Recebimento de financiamento; Pesquisa; Metodologia;

Administração do projeto; Disponibilização de ferramentas; Supervisão; Validação de dados e experimentos; Redação do manuscrito original; Escrita – revisão e edição

Como citar este artigo

OLIVEIRA, J. C.; FERREIRA, E. A.; VELOSO, M. D. M.; PEGORARO, R. F.; SALGADO, A. L. P.; OLIVEIRA, J. C.; DUARTE, A. C. S.; FRAZÃO, L. A. Resposta morfofisiológica de plantas do Cerrado à aplicação de biochar de torta de filtro. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 33, n. 3, e71838, p. 1-20, 2023. DOI 10.5902/1980509871838. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509871838>. Acesso em: dia mês abreviado. ano.