

Biochar de casca de pequi como componente de substrato para produção de mudas de *Eucalyptus urophylla* S. T.

Josiana Jussara Nazaré Basílio¹, Lorrane Aguiar Rodrigues², Maria Shirley Amorim Silva³, Fernando Colen⁴, Leandro Silva de Oliveira⁵

DOI: <https://doi.org/10.35699/2447-6218.2020.24836>

Resumo

O uso de substratos empregando o *biochar* como componente consiste de uma alternativa viável na produção de mudas florestais, devido às melhorias nas suas características físico-químicas. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do tamanho de partícula e da proporção de *biochar* de casca de *Caryocar brasiliensis* sobre a produção de mudas de *Eucalyptus urophylla*. O *biochar* foi empregado em quatro granulometrias (>0,5; 0,5-1,0; 1,0-2,0; 2,0-4,0 mm), misturados ao substrato comercial @bioplant (turfa de Sphagnum, fibra de Coco, casca de arroz, casca de pinus e vermiculita) em cinco proporções: 0, 25, 50, 75%, 100% (v/v). Avaliou-se as propriedades físicas, densidade de partícula, densidade aparente e porosidade dos substratos testados. Já o desenvolvimento fisiológico da muda foi analisado através das variáveis: porcentagem de germinação, índice de velocidade de emergência, altura, diâmetro de colo, relação altura / diâmetro de colo, comprimento de raiz pivotante, massa seca da raiz e massa seca aérea aos 120 dias, correlacionando com as características físicas e químicas do *biochar* utilizado. A adição do *biochar* em menores proporções (< 25%) com o substrato comercial, confere ao substrato melhorias nos atributos físico-químicos, como o aumento da porosidade. Conclui-se que os melhores resultados fisiológicos para a espécie em estudo foram obtidos utilizando granulometrias de *biochar* entre 1 e 4 mm independente da proporção e *biochar* aplicada.

Palavras chaves: *Caryocar brasiliensis*. Granulometrias. Carvão vegetal. Desenvolvimento inicial.

Pequi bark biochar as a substrate component for the production of *Eucalyptus urophylla* S. T. seedlings

Abstract

The use of substrates using or biochar as a component is a viable alternative in the production of forest seedlings, due to improvements in physical-chemical characteristics. In view of the above, the objective of this study was to evaluate the effect of particle size and the proportion of biochar bark from *Caryocar brasiliense* on the production of *Eucalyptus urophylla* seedlings. The biochar was used in four particle sizes (> 0.5; 0.5-1.0; 1.0-2.0; 2.0-4.0 mm), mixed with the commercial substrate @bioplant (Sphagnum peat, coconut fiber, rice husks, pine husks and vermiculite) in five proportions: 0, 25, 50, 75%, 100% (v / v). Biodegradable as physical properties, particle density, bulk density and porosity of the tested substrates. The physiological development of the changes, on the other hand, was analyzed using the variables: germination percentage, emergence speed index, height, neck diameter, height / neck

¹Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Faculdade de Ciências Agrônomicas. Botucatu, SP. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0002-7597-2942>

²Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. Montes Claros, MG. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0002-2012-4276>

³Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. Montes Claros, MG. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0002-4450-6586>

⁴Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. Montes Claros, MG. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0001-6039-1240>

⁵Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. Montes Claros, MG. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0003-0800-5001>

*corresponding autor: josianajussara@gmail.com

diameter ratio, articulated root length, dry root mass and dry mass for 120 days, correlating with the technical and chemical characteristics of the biochar used. The addition of biochar in smaller proportions (<25%) to the commercial substrate, gives the substrate improvements in the physical-chemical attributes, such as the increase in porosity. We conclude that the best physiological results for the species under study were used using biochar grain sizes between 1 and 4 mm regardless of the proportion and applied biochar.

Keywords: *Caryocar brasiliensis*. Granulometries. Biochar. Initial development.

Introdução

O *Caryocar brasilienses* (pequi) constitui uma importante fonte de renda para a região do cerrado, sendo processado e comercializado por pequenas indústrias e cooperativas locais que os disponibilizam em mercados regionais e até nacionais (Silva, 2011). O fruto do pequi é um dos produtos não madeireiros do Cerrado, ocorrendo basicamente em todo o bioma e possui grande representatividade econômica pela sua exploração extrativista (Silva, 2017).

Dentre os subprodutos resultantes da comercialização e processamento de *C. brasilienses* está a casca, que possui baixo índice de aproveitamento, gerando um volume enorme de resíduos oriundos do extrativismo do fruto em cidades onde ocorre seu comércio. Estima-se que para cada tonelada de fruto colhido, são geradas 0,765 toneladas de casca (Moura et al., 2013), as quais por não ter um local apropriado de descarte, ou mesmo uma destinação economicamente viável, acaba sendo descartada em lixões a céu aberto e/ou aterros sanitários, gerando diversos problemas ambientais (Silva, 2017).

Uma alternativa para o aproveitamento destes resíduos é a conversão termoquímica, que ocorre em ambientes com baixas concentrações de oxigênio e temperaturas acima de 300°C. Através desse processo de pirólise, a biomassa é convertida em carvão (*biochar*) (Xu et al., 2011). Este método apresenta diversas vantagens, como a redução significativa de resíduos (Bridgwater, 2012) e da emissão de gases do efeito estufa pelo fato de possuir carbono recalcitrante em sua constituição (Silva et al., 2017).

O *biochar* apresenta potencial para ser empregado como substrato na produção de mudas agrícolas e florestais (Dumroese et al., 2011; Laghari et al., 2016), pois proporciona diversas alterações nas características físico-químicas do material suporte. Dentre os benefícios destacam-se: redução da densidade, aumento da porosidade, maior disponibilidade de água e absorção de nutrientes (Glaser e Lehman, 2002; Suliman et al., 2017), influenciando significativamente na fertilidade e crescimento das plantas (Biederman e Harpole, 2013).

A produção de mudas consiste de uma das etapas primordiais para o estabelecimento dos grandes plantios florestais, sendo fundamental a escolha do substrato adequado nesta fase, onde além de apresentar caracte-

rísticas físico-químicas ideais para o desenvolvimento da planta devem ser adquiridos com facilidade e a um baixo preço no mercado (Fonseca, 2001). Tais informações permitem selecionar melhores arranjos da composição do substrato que possuam melhor custo / benefício, além de mitigar indiretamente possíveis problemas ambientais oriundos de resíduos industriais, urbanos e agroindustriais (Trautenmüller et al., 2016). O que torna o *biochar* de casca de *C. brasiliensis*, uma alternativa viável para este uso, em decorrência de suas propriedades (Silva, 2017).

Mudas de espécies florestais podem apresentar crescimento diferenciado em função da presença de *biochar* no substrato (Petter et al., 2012) e da granulometria utilizada do mesmo, havendo escassez dessas informações na literatura. Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar a utilização do *biochar* produzido a partir de cascas de frutos de *C. brasilienses*, como substrato em diferentes granulometrias e proporções, em substituição parcial ou total ao substrato comercial para produção de mudas de *E. urophylla*.

Material e métodos

O experimento foi realizado no viveiro do setor de Jardinagem do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (ICA/UFMG). Situado no ponto de coordenadas geográficas 16° 44' 06"S, 43° 51' 42"W e com 648 metros de altitude. O clima predominante na região é do tipo Aw – clima tropical de savana, apresentando inverno seco e verão chuvoso, segundo classificação de Köppen (Lopes et al. 2011).

Produção de *biochar* de resíduos de casca de frutos de *C. brasiliensis*

A produção do *biochar* das cascas (mesocarpo e o epicarpo) de *C. brasiliensis* foi realizada no Laboratório de Biodigestão Anaeróbica do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, sendo que a matéria prima foi obtida em Bocaiuva – MG. Após a coleta, as cascas foram secas a pleno sol durante sete dias, a fim de retirar o excesso de água, até umidade final de 11,64 %. Em seguida, realizou-se a pirólise em um forno elétrico tipo mufla, em condições de temperatura de 450°C e tempo de residência de 30 minutos. Para finalizar o processo, as amostras foram submetidas a um choque térmico com água na temperatura ambiente.

O biochar foi triturado e peneirado em quatro diferentes granulometrias: >0,5; 0,5-1,0; 1,0-2,0; 2,0-4,0, definidas segundo norma NBR NM-ISO 3310-1: c1997 – com a utilização de peneiras de ensaio e posterior mistura manual ao substrato comercial *Bioplant*[®] (turfa de Sphagnum, fibra de Coco, casca de arroz, casca de pinus e vermiculita), nas dosagens de 100, 75, 50 e 25 % v/v.

A caracterização física dos substratos foi realizada no Laboratório de Resíduos Sólidos da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), no Instituto de Ciências Agrárias. A densidade real foi determinada através da me-

todologia proposta pela EMBRAPA (1997) e a densidade de partícula segundo Fermino (2003). De posse dessas variáveis, determinou-se a porosidade total, conforme metodologia apresentada por *Zorzeto et al.* (2014).

Para caracterização química do biochar utilizou-se para as variáveis umidade, teor de cinzas, material volátil, carbono fixo, potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica, pelo método proposto pela *International Biochar Initiative*, *IBI* (2012) (Tabela 1). O teor de macro e micronutrientes foi obtido segundo metodologia disponível no Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos do MAPA (Brasil, 2015).

Tabela 1 – Caracterização química do biochar de casca de *C. brasiliensis* usado na produção de mudas de *E. urophylla*.

Análise química biochar casca de <i>C. brasiliensis</i>	
Variáveis	biochar
Umidade (%)	4,55
pH em CaCl ₂	9,09
Matéria Orgânica (%)	74,52
Carbono Orgânico (g kg ⁻¹)	590,93
Nitrogênio (g kg ⁻¹)	10,2
Relação C/N	59/1
Fósforo Total (g kg ⁻¹)	<10
Potássio Total (g kg ⁻¹)	10,39
Magnésio (g kg ⁻¹)	<5,0
Boro (g kg ⁻¹)	<0,7
Sódio (g kg ⁻¹)	<0,612
Cobre Total (g kg ⁻¹)	<0,5
Manganês (g kg ⁻¹)	<0,5
Cálcio Total (g kg ⁻¹)	<5,0
Ferro (g kg ⁻¹)	<0,5
Enxofre Total (g kg ⁻¹)	<10,0
Zinco Total (g kg ⁻¹)	<0,5
Condutividade elétrica (dS cm ⁻³)	0,935
Sólidos Voláteis (%)	78,5
Teor de Cinzas (%)	5,19

Produção de mudas de *E. urophylla*

A produção de mudas de *E. urophylla* foi realizada pela semeadura direta em tubetes de polietileno com capacidade volumétrica de 55 cm³. Semeou-se três sementes por recipiente. As bandejas com os tubetes foram dispostas sobre uma bancada de madeira a 1,20 m do solo em casa de vegetação coberta com filme de

plástico transparente e revestida lateralmente com telas de sombreamento. O raleio das mudas ocorreu 21 dias após a semeadura, deixando-se apenas a plântula mais vigorosa em cada tubete. As mudas foram irrigadas por aspersão diariamente até a saturação do substrato e adubadas semanalmente com solução nutritiva composta por: 0,76 Kg de Ca (NO₃)₂; 0,23 Kg de NH₄SO₄; 0,11 Kg de MAP; 0,4 Kg de KCl; 0,375 Kg de MgSO₄; 0,022 Kg

de FeEDDHMA - 6%Fe; 0,0045Kg de $MnSO_4$; 0,00275 de HBO; 0,0003 Kg de $ZnSO_4$; 0,00025 Kg de $CuSO_4$; 0,0005 Kg de NaMoO dissolvidos em 1.000 L de água.

As avaliações começaram no quinto dia após a semeadura através da contagem diária das plântulas que apresentavam visivelmente o primeiro par de folhas, sendo no final (25º dia) determinado o Índice de Velocidade de Emergência (IVE) (Maguirre, 1962) (equação 1) e a porcentagem de sementes emergidas.

$$IVE = \frac{E1}{D1} + \frac{E2}{D2} + \dots + \frac{En}{Dn} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

E1 = número de plântulas que emergiram

D1 = número de dias após a semeadura.

Para a avaliação da qualidade das mudas mensurou-se a altura (H) (cm) da planta do colo até o meristema apical, com auxílio de régua milimétrica, e o diâmetro do coleto (DC) (mm) com paquímetro digital aos 120 dias. A partir dessas variáveis determinou-se o equilíbrio

de crescimento das mudas através do cálculo da relação altura/diâmetro (Sturion e Antunes, 2000).

O comprimento da raiz pivotante (cm) foi determinado com o auxílio de régua milimétrica. Em sequência foram acondicionados em sacos de papel e submetidos a secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65°C por um período de 48 horas, com pesagem em balança analítica de precisão (0,001g) até peso constante. O peso total foi obtido por meio da soma da massa seca aérea e do sistema radicular.

Delineamento experimental e análise estatística dos dados

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, contendo oito repetições por tratamento. Os tratamentos consistiram em quatro granulometrias (>0,5; 0,5-1,0; 1,0-2,0; 2,0-4,0 mm), misturados ao substrato comercial @bioplant (turfa de Sphagnum, fibra de Coco, casca de arroz, casca de pinus e vermiculita) em cinco proporções: 0, 25, 50, 75%, 100% (v/v) (Tabela 2).

Tabela 2 – Proporções e granulometrias do *biochar* de casca de *C. brasilienses* (B) e de substrato comercial (SC) utilizados na composição dos substratos empregados na produção de mudas de *E. urophylla*.

Tratamento	Proporção (v/v)		Granulometria (mm)
	B (%)	SC (%)	
1	100	0	> 0,5
2	100	0	0,5 - 1,0
3	100	0	1,0 - 2,0
4	100	0	2,0 - 4,0
5	75	25	> 0,5
6	75	25	0,5 - 1,0
7	75	25	1,0 - 2,0
8	75	25	2,0 - 4,0
9	50	50	> 0,5
10	50	50	0,5 - 1,0
11	50	50	1,0 - 2,0
12	50	50	2,0 - 4,0
13	25	75	> 0,5
14	25	75	0,5 - 1,0
15	25	75	1,0 - 2,0
16	25	75	2,0 - 4,0
SC	0	0	-

Os dados da análise física dos substratos e morfológica das plantas foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo as médias significativas agrupadas pelo critério de Scott-Knott a 1% de significância, utilizando o software *Sisvar*.

Resultados e discussão

Características físicas

Os valores médios encontrados para a densidade de partícula, densidade aparente e porosidade foram estatisticamente diferentes para os substratos testados (Tabela 3). Para a variável densidade de partículas, os

maiores valores foram obtidos para o substrato comercial *Bioplant*[®]. Entretanto, pode-se constatar, que independente da proporção de *biochar* aplicada, os maiores valores da densidade de partículas foram dos tratamentos com granulometrias inferiores a 0,5 mm em relação aos tratamentos que continham as demais granulometrias. Fato esse, que pode estar ligado ao maior número de partículas contidas em um determinado volume. Os tratamentos somente a base de *biochar* (com mesma granulometria) a densidade de partículas apresentou valores decrescentes em relação ao aumento do tamanho das partículas, o que foi modificado com o acréscimo das proporções de substrato comercial.

Tabela 3 – Valores de F calculado da análise de variância (ANOVA) das propriedades físicas: densidade partícula, densidade aparente e porosidade dos substratos compostos por *biochar* produzido a partir de casca de *C. brasilienses*.

FV	GL	Densidade de partícula (g/cm ³)	Densidade aparente (g/cm ³)	Porosidade (%)
Substrato	16	185,419	207,512	39,612
Resíduo	32	1,412	0,820	0,623
Média Geral	-	1,045	0,271	74,455
CV (%)		2,96	4,53	2,10

**Valor significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F;

FV: Fontes de Variação; P: Proporção; G: Granulometria; Test: Testemunha; CV: Coeficiente de variação.

O aumento da granulometria do *biochar* utilizado acarretou uma redução da densidade aparente do substrato (Tabela 4). Os tratamentos contendo 75, 50 e 25% da proporção de *biochar* com granulometria inferior a 0,5 mm e o substrato comercial *Bioplant*[®] apresentaram os maiores valores para a densidade aparente. Substratos com baixa densidade são importantes na produção de mudas, por facilitar o crescimento e estabelecimento do sistema radicular (Araújo e Sobrinho, 2011). Segundo Gonçalves e Poggiani (1996) o substrato deve apresentar valores inferiores a 0,5 g/cm³ de densidade aparente, o que pode ser constatado no presente estudo, onde observou-se uma variação de 0,15 a 0,42 g/cm³ nesta característica. Resultados similares foram obtidos por Kratz *et al.* (2012), no qual misturas de distintas granulometrias aumentaram ou reduziram a densidade do substrato.

O tratamento com 50% de *biochar* e granulometria entre 2,0-4,0 mm apresentaram os maiores valores para a característica porosidade do substrato e os tratamentos com granulometria inferiores a 0,5 mm os menores valores para esta variável. A redução da porosidade pode estar associada a menor granulometria do *biochar*, em função do efeito cimentante ocasionado através da justaposição entre partículas de tamanhos distintos (Zorzeto, 2014). Os demais tratamentos apresentaram porosidade dentro do desejado para um material suporte de qualidade, exibindo valores entre 75 e 85%, os quais assemelham-se aos encontrados por Gonçalves e Poggiani (1996).

De maneira geral, as características físicas não devem ser analisadas separadamente, pois podem não expressar exatamente a qualidade da muda. Devem-se também ser levadas em consideração as características morfológicas, importantes para o crescimento das mudas (Kratz *et al.*, 2012)

Características fisiológicas

As variáveis fisiologias apresentaram valores médios estatisticamente diferentes em função dos substratos testados (Tabela 5). O Índice de Velocidade de Emergência (IVE) e a porcentagem de emergência divergiram em função da granulometria e da proporção empregada do *biochar* (Figura 1A e B). Os valores maiores de IVE foram encontrados nos tratamentos com 25 e 50% de *biochar*, com exceção da granulometria 1 - 2 mm para a proporção de 50% (Figura 1A e B).

A porcentagem de emergência apresentou comportamento bastante semelhante em relação ao IVE, quando isolado apenas o caractere proporção de *biochar*. Constatou-se que em baixas proporções de *biochar* (50% de *biochar* com granulometrias menores que 0,5 e entre 0,5-1,0 e 75% de *biochar* nas granulometrias menor que 0,5 mm e entre 0,5-1,0 e 2,0-4,0 mm) apresentaram os maiores valores de porcentagem de emergência (Figura 1B).

Tabela 4 – Valores médios das propriedades físicas: densidade partícula, densidade aparente e porosidade dos substratos compostos por *biochar* produzido a partir de casca de *C. brasilienses*.

Tratamento	Densidade de partícula (g/cm ³)	Densidade aparente (g/cm ³)	Porosidade (%)
T1	1,01 g	0,38 b	62,38 h
T2	0,85 i	0,18 g	79,54 b
T3	0,69 k	0,15 h	77,79 b
T4	0,62 l	0,15 h	76,75 c
T5	1,21 d	0,41 a	65,47 g
T6	0,96 g	0,20 f	78,52 b
T7	0,75 j	0,20 f	73,06 d
T8	0,85 i	0,18 g	78,28 b
T9	1,29 b	0,42 a	67,18 f
T10	1,06 f	0,25 d	76,58 c
T11	0,92 h	0,23 e	75,11 d
T12	1,13 e	0,20 f	82,53 a
T13	1,33 b	0,42 a	67,99 f
T14	1,25 c	0,29 c	76,67 c
T15	1,25 c	0,25 d	79,63 b
T16	1,13 e	0,26 d	77,12 c
SC	1,48 a	0,42 a	71,23 e

Médias nas colunas seguidas de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 1% de probabilidade de erro.

Tabela 5 – Valores de F calculado da análise de variância (ANOVA) para as propriedades morfológicas: Valores médios do índice de velocidade de emergência (IVE), porcentagem de germinação (GER), diâmetro (D), altura (H), relação altura/diâmetro (H/D), comprimento da raiz pivotante (RP), matéria seca sistema radicular (MSRA), matéria seca parte aérea (MSPA) de mudas seminais de *E. urophylla* produzidas em substratos a base de *biochar* de casca de *C. brasilienses*.

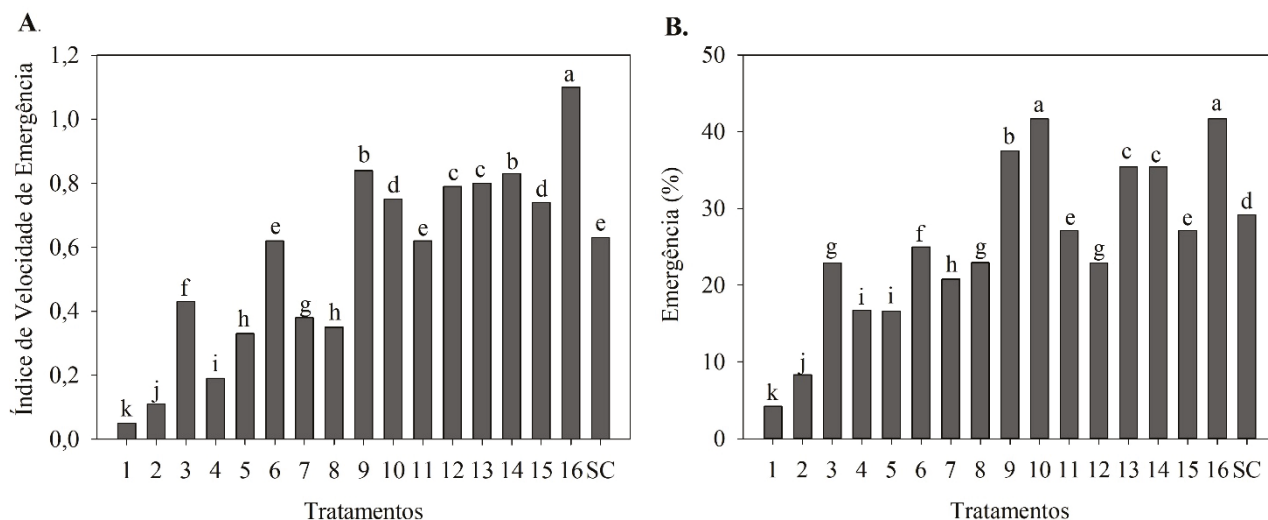
FV	GL	IVE	GER	D	H	H/D	RP	MSRA	MSPA
Substrato	16	623,14	1244,70	93,40	40,64	8,88	17,61	93,92	46,84
Resíduo	112	4,49	0,83	1,30	0,82	0,32	4,40	0,80	1,03
Média Geral	-	0,56	25,62	1,61	14,64	9,16	15,41	1,23	1,31
CV (%)	-	5,91	3,35	3,77	5,63	7,64	5,01	1,96	2,47

** Valor significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro pelo teste F; FV: Fontes de Variação; P: Proporção; G: Granulometria; Test: Testemunha; CV: Coeficiente de variação.

O alto teor de voláteis do *biochar* da casca de *C. brasiliensis* (Gonzaga et al., 2017) pode ter sido a causa dos resultados do presente estudo, pois, em concentrações mais elevadas (acima de 75%) nota-se uma grande redução nas taxas germinativas da espécie avaliada. Além disso, após a pirólise estes compostos tendem a aumentar a capacidade de retenção de água (Milla et al., 2013), o que resultou no apodrecimento das raízes e posteriormente sua morte (Figura 2B), consequentemente não ocorrendo o estabelecimento da muda.

Apesar de alguns autores afirmarem que proporções mais baixas de *biochar* favorecem a germinação (Laghari et al., 2016, Bueno 2017), como ocorreu para as sementes de *E. urophylla*, contudo, deve-se ressaltar que isto pode variar entre as espécies ou mesmo entre culturas, fato este apontado por Cavalcante et al. (2012) para *Passiflora edulis Sims*, as maiores taxas germinativas foram obtidas utilizando maiores proporções de *biochar*.

Figura 1 – Valores médios do índice de velocidade de emergência (A) e porcentagem de emergência (B) de sementes de *E. urophylla* em substratos a base de *biochar* de casca de *C. brasilienses*. Barras seguidas de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de *Scott-Knott* a 1% de probabilidade de erro.



De maneira geral, constatou-se redução da altura e diâmetro da planta indiferente da proporção e granulometria do *biochar* empregado (Figura 2A e 2B), resultados estes, similares aos obtidos por Petter *et al.* (2012). Segundo Nelissen *et al.* (2014), geralmente tratamentos com a presença de *biochar* tendem a reduzir a disponibilidade de NO_3^- , seja por imobilização biótica do nitrogênio (N), mineralização reduzida de matéria orgânica do solo, nitrificação reprimida, aumento de perdas gasosas ou imobilização abiótica de NH_4^+ e / ou NO_3^- . O nitrogênio por estar presente em uma série de mecanismos metabólicos da planta, como a síntese de fotoassimilados, agindo diretamente no processo de divisão e expansão celular (Varvel *et al.*, 1997), tende a reduzir conforme a menor disponibilidade deste nutriente, consequentemente isto irá afetar diretamente o crescimento e diâmetro da planta (Smerthurst *et al.*, 2004).

Apesar dos tratamentos que continham o *biochar* no substrato não atingirem altura e diâmetro do coleto semelhantes ao substrato comercial, estas variáveis não devem ser analisadas de forma isolada. Segundo Gasparin *et al.* (2014) estas variáveis não são bons indicativos de estabelecimento da muda no campo, pois uma muda com altura elevada e diâmetro de coleto reduzido, poderá facilmente tombar logo após o plantio. Logo, a relação altura/diâmetro do coleto é um índice de qualidade de grande importância pois avalia o crescimento das mudas (Carneiro 1995) refletindo na resistência e melhor fixação da planta ao solo (Artur *et al.*, 2007).

Baseado nestes fatores observou-se grande variação nos valores da relação altura/diâmetro (2,62 a 10,18) (Figura 2C). Deve-se ressaltar que neste índice valores que apresentam relação menor que 10 são ditos de qualidade (Birchler *et al.*, 1998) e quanto menor este valor maior a qualidade da muda (Gomes e Paiva, 2012). Neste caso, todos os tratamentos que germinaram exceto

o de 75% de *biochar* com granulometria entre 2 - 4 mm apresentaram bons valores de estabelecimento, sendo o tratamento com 25% de *biochar* com granulometria menor que 0,5 mm se sobressaiu sobre os demais.

O comprimento da raiz pivotante também demonstrou sofrer grande influência em função da granulometria e da porcentagem de *biochar* aplicada (Figura 2D). De maneira geral, observou-se que os tratamentos onde ocorreu a germinação da plântula, maiores valores foram obtidos com o emprego de uma maior granulometria, exceção apenas para o tratamento contendo 25% de *biochar* com granulometria inferior à 0,5 mm. Estes resultados podem estar associados a maior porosidade do substrato (Tabela 4) o que consequentemente resulta em uma maior drenagem de água, fazendo com que a planta “explore” em maior profundidade o recipiente a qual está submetido.

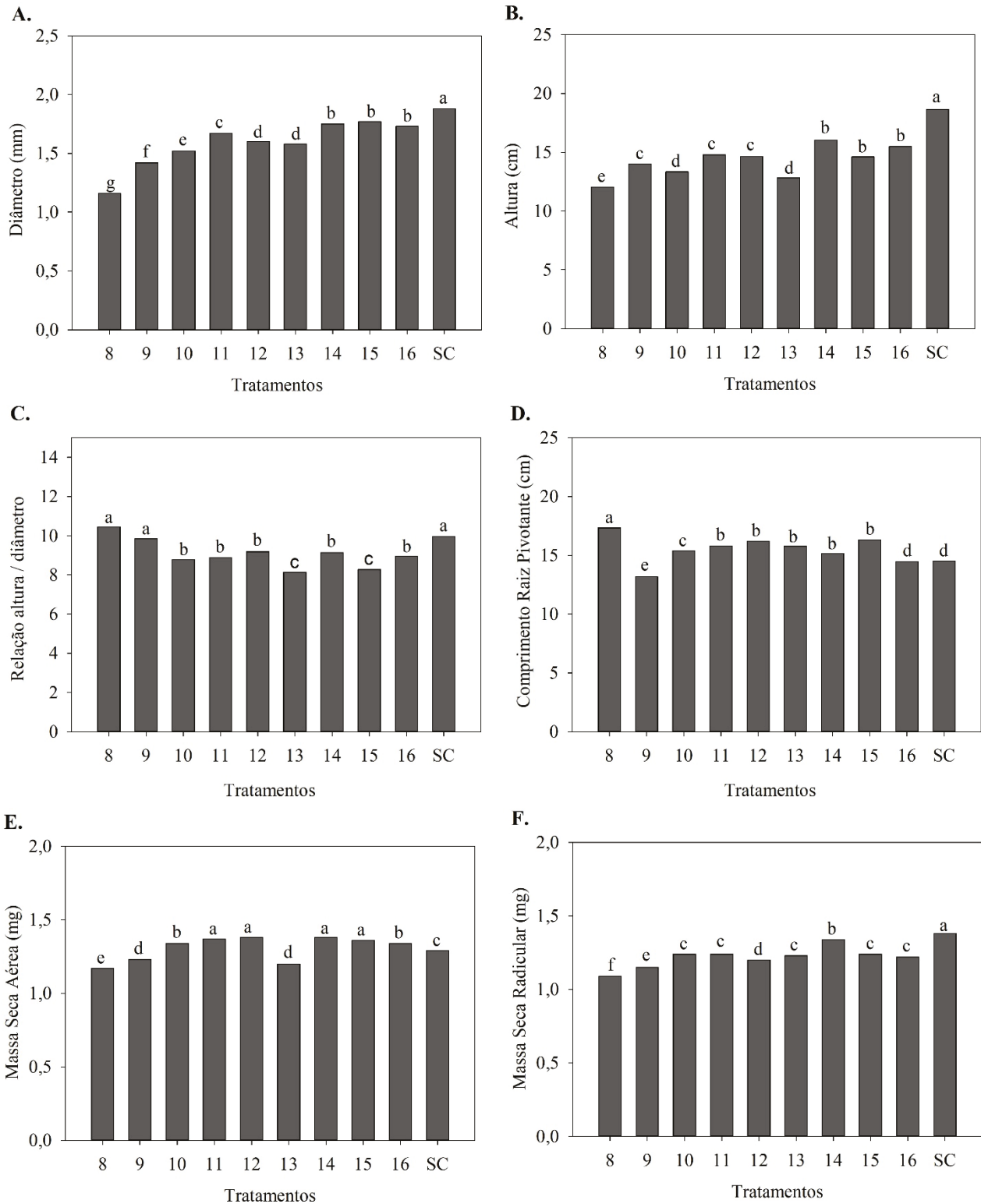
Os tratamentos com *biochar* apresentaram, em sua maioria, maiores valores de comprimento de raiz pivotante (Figura 2D) em relação ao tratamento somente com substrato comercial. Estes resultados corroboram com os obtidos por Olmo *et al.* (2016) onde segundo estes autores o *biochar* afeta diretamente a disponibilidade de nitrogênio e manganês. Contudo, aumenta-se a disponibilidade de fósforo e estas alterações favorecem a proliferação da raiz, aumentando seu comprimento específico por impulsionar uma maior atração de água e nutrientes, o que resulta em uma maior exploração do substrato.

De acordo com Olmo *et al.* (2016) o comprimento de raiz muitas vezes está relacionado diretamente com a biomassa do sistema radicular. No presente estudo isto não foi constatado, onde todos os tratamentos contendo *biochar* independente da granulometria utilizada, se mantiveram abaixo dos valores obtidos ao substrato comercial sem adição de *biochar* (Figura 2E). Segundo

Prieto (2016), esta redução da matéria seca do sistema radicular na presença de *biochar* ocorre devido a uma maior alocação de biomassa para a parte aérea da planta. Fato este, que pode ser observado no presente estudo, onde todos os tratamentos exceto os que continham 75%

de *biochar* com granulometria entre 2,0 – 4,0 mm e com 50 e 25% de *biochar* com granulometrias inferiores a 0,5 mm apresentaram valores de matéria seca de parte aérea superiores a testemunha, o que reforça a hipótese destes autores.

Figura 2 – Valores médios relação de diâmetro (A), altura (B), relação altura/diâmetro (C), comprimento raiz pivotante (D), massa seca radicular (E) e massa seca aéreas (F) em mudas seminais de *E. urophylla* produzidas em substratos a base de *biochar* de casca de *C. brasilienses*.



Barras seguidas de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de *Scott-Knott* a 1% de probabilidade de erro.

Geralmente este tipo de comportamento ocorre em plantas que apresentam uma alta disponibilidade de nutrientes devido o emprego de *biochar*, nestes casos a planta reduz a necessidade de investir biomassa para produção de sistema radicular e aloca para outros órgãos (Shipley e Meziane, 2002; Poorter *et al.*, 2012). Entretanto, apesar do *biochar* influenciar o desenvolvimento do sistema radicular, deve-se levar em consideração que isto irá depender do tipo de *biochar* utilizado e a espécie a qual irá ser empregada (Olmo *et al.*, 2016, Petter *et al.*, 2012).

Em virtude de se tratar de um resíduo com potencial poluidor para o meio ambiente, a pirólise das cascas de *C. brasilienses* para produção de *biochar* é uma alternativa viável para eliminação desses resíduos do meio

ambiente, além de proporcionar melhorias na qualidade do substrato.

Conclusão

Substratos compostos apenas com *biochar de casca de C. brasilienses* demonstraram ser um material inadequado para a produção de mudas de *E. urophylla*. Entretanto, ao associar o *biochar* em menores proporções (< 25%) com outro material de origem orgânica, como o substrato comercial, confere ao substrato melhorias nos atributos físico-químicos.

Melhores resultados foram obtidos utilizando granulometrias de *biochar* entre 1 e 4 mm independente da proporção e *biochar* aplicada, por proporcionar melhor porosidade do substrato.

Referências

- Araújo, A.P.; Sobrinho, S.P. 2011. Germinação e produção de mudas de tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (vell.) Morong) em diferentes substratos. *Revista Árvore*, 35(3): 581–588. Doi: [10.1590/S0100-67622011000400001](https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000400001).
- Artur, A.G.; Cruz, M.C.P.; Ferreira, M.E.; Barretto, V.C.M.; Yagi, R. 2007. Esterco bovino e calagem para formação de mudas de guanandi. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42: 843–850. Doi: [10.1590/S0100-204X2007000600011](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000600011).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1997. ABNT NBR NM-ISO 3310-1: 1997 - Peneiras de ensaio: Requisitos técnicos e verificação. 20 p.
- Biederman, L.A.; Harpole, W.S. 2013. *biochar* and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *Global Change Biology*. *Bioenergy*, 5: 202–214. Doi: [10.1111/gcbb.12037](https://doi.org/10.1111/gcbb.12037).
- Birchler, T.; Rose, R.W.; Royo, A.; Pardos, M. 1998. La planta ideal: revision del concepto, parametros definitorios e implementacion practica. *Investigacion Agraria, Sistemas y Recursos Forestales*, 7: 109–121.
- Brasil. 2015. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA nº 03, de 26 de janeiro de 2015. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 27 jan. 2015.
- Bridgwater, A.V. 2012. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and Bioenergy*, 38: 68–94. Doi: [org/10.1016/j.biombioe.2011.01.048](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.048).
- Bueno, C.C. 2017. *biochar*: Caracterização estrutural e interações com nutrientes e microorganismos pedológicos. Dissertação, Instituto de Ciência e Tecnologia (Câmpus de Sorocaba), Universidade estadual Paulista “Júlio de Mesquita de Filho”. 158p.
- Carneiro, J.G.A. 1995. Produção e controle de qualidade de mudas florestais. Curitiba: UFPR/FUPEF/UENF, 451 p.
- Cavalcante, L.; Herbert, I.; Petter, F.A.; Albano, F.G.; Rachel, R.; Silva, S.; Silva Júnior, G.B. 2012. *biochar* no substrato para produção de mudas de maracujazeiro amarelo. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 111: 4147.
- Dumroese, K.R.; Heiskanen, J.; Englund, K.; Tervahauta, A. 2011. Pelleted *biochar*: Chemical and physical properties show potential use as a substrate in container nurseries. *Biomass and Bioenergy*, 35: 2018–2027. Doi: [org/10.1016/j.biombioe.2011.01.053](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.053).
- Embrapa (1997). Manual de métodos de análise do solo. 2ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 247 p.
- Fermino, M.H. 2003. Métodos de análise para características de física de substratos. Tese, Universidade Federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre. 80f.
- Fonseca, T.G. 2001. Produção de mudas de hortaliças em substratos de diferentes composições com adição de CO₂ na água de irrigação. Dissertação, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 72p.
- Gasparin, E.; Avila, A.L.; Araujo, M.M.; Cargnelutti Filho, A.; Dorneles, D.U.; Foltz, D.R.B. 2014. Influência do substrato e do volume de recipiente na qualidade das mudas de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. em viveiro e no campo. *Ciência Florestal*, 24: 553–563. Doi: [org/10.5902/1980509815731](https://doi.org/10.5902/1980509815731).
- Glaser, J.; Lehmann, W.Z. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with bio-char – a review. *Biology and Fertility of Soils*, 35: 219–230. Doi: [10.1007/s00374-002-0466-4](https://doi.org/10.1007/s00374-002-0466-4).
- Gomes, J.M.; Paiva, H.N. 2012. Viveiros florestais: propagação sexuada. Ed. UFV, Viçosa - MG.
- Gonçalves, J.L.M.; Poggiani, F. 1996. Substratos para produção de mudas florestais. In: Congresso Latino Americano De Ciência Do Solo. Águas de Lindóia. São Paulo.
- Gonzaga, M.I.S.; Mackowiak, C.L.; Comerford, N.B.; Moline, E.F.V.; Shirley, J.P.; Guimaraes, N.B. 2017. Pyrolysis methods impact biosolids-derived *biochar* composition, maize growth and nutrition. *Soil & Tillage Research*, 165: 59–65. Doi: [org/10.1016/j.still.2016.07.009](https://doi.org/10.1016/j.still.2016.07.009).
- IBI – International *biochar* Initiative. 2012. Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for *biochar* That Is Used in Soil. v. 8. Disponível em: <http://www.biocharinternational.org/sites/default/files/Guidelines_for_biochar_That_Is_Used_in_Soil_Final.pdf>. Acesso em: 17 de out. 2017.
- Kratz, D.; Wendling, I.; Pires, P.P. 2012. Miniestaquia de *Eucalyptus benthamii* x *E. dunnii* em substratos a base de casca de arroz carbonizada. *Scientia Forestalis*, 40: 547–556.

- Laghari, M.; Naidu, R.; Xiao, B.; Hu, Z.; Mirjat, M.S.; Hu, M.; Kandhro, M.N.; Chen, Z.; Guo, D.; Jogi, D.; Abudi, Z.N.; Fazal, S. 2016. Recent developments in *biochar* as an effective tool for agricultural soil management: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96: 4840–4849. Doi: [10.1002/jsfa.7753](https://doi.org/10.1002/jsfa.7753).
- Lopes, O.D.; Kobayashi, M.K.; Oliveira, F.G.; Alvarenga, I.C.A.; Martins, E.R.; Corsato, C.E. 2011. Determinação do coeficiente de cultura (Kc) e eficiência do uso de água do alecrim-pimenta irrigado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15: 548–553. Doi.org/10.1590/S1415-43662011000600002.
- Maguirre, J.D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedlings emergence and vigor. *Crop Science*, 2: 176–177.
- Milla, O.V.; Rivera, E.B.; Huang, W.J.; Chien, C.C.; Wang, Y.M. 2013. Agronomic properties and characterization of rice husk and wood *biochars* and their effect on the growth of water spinach in a field test. *Journal of soil science and plant nutrition*, 13: 251–266. Doi: [10.4067/S0718-95162013005000022](https://doi.org/10.4067/S0718-95162013005000022).
- Moura, N.F.; Chaves, L.J.; Naves, R.V. 2013. Caracterização física de frutos de pequi (Caryocar brasiliense Camb.) do cerrado. *Revista Árvore*, 37: 905–912.
- Nelissen, V.; Ruyschaert, G.; Müller-Stöver, D.; Bodé, S.; Cook, J.; Ronsse, F.; Shackley, S.; Boeckx, P.; Hauggaard-Nielsen, H. 2014. Short-Term Effect of Feedstock and Pyrolysis Temperature on *biochar* Characteristics, Soil and Crop Response in Temperate Soils. *Agronomy*, 4: 52–73. Doi: [10.3390/agronomy4010052](https://doi.org/10.3390/agronomy4010052).
- Olmo, M.; Villar, R.; Salazar, P.; Albuquerque J. A. 2016. Changes in soil nutrient availability explain *biochar*'s impact on wheat root development. *Plant and Soil*. 339: 333-343. Doi:[10.1007/s11104-015-2700-5](https://doi.org/10.1007/s11104-015-2700-5).
- Petter, A.F.; Andrade, F.R.; Marimon Junior, B.H.; Gonçalves, L.G.; Schossler, T.R. 2012. *biochar* como condicionado de substrato para a produção de mudas de eucalipto. *Revista Caatinga*, 25: 44–51.
- Prieto, M.O. 2016. Efectos del *biochar* sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal. Tese, Universidad de Córdoba, Córdoba. 157p.
- Poorter, H.; Niklas, K.J.; Reich, P.B.; Oleksyn, J.; Poot, P.; Mommer, L. 2012. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist*, 193: 30–50. Doi: [10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x).
- Smerthurst, P.; Holz, G.; Moroni, M.; Baillie, C. 2004. Nitrogen management in Eucalyptus nitens plantations. *Forest Ecology and Management*, 193: 63–80. Doi.org/10.1016/j.foreco.2004.01.023.
- Shipley, B.; Meziane, D. 2002. The balanced-growth hypothesis and the allometry of leaf and root biomass allocation. *Functional Ecology*, 16: 326–331. Doi: [10.1046/j.1365-2435.2002.00626.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2002.00626.x).
- Silva, M.I.; Mackowiak, C.; Minogue, P.; Reis, A.F.; Moline, E.F.V. 2017. Potential impacts of using sewage sludge *biochar* on the growth of plant Forest seedlings. *Ciência Rural*, 147: 1–5. Doi: [10.1590/0103-8478cr20160064](https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160064).
- Silva, M.N.S. 2011. Entre brejos, grotas e chapadas manuscrito: o campesinato sertanejo e o extrativismo do pequi nos cerrados de Minas Gerais. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 277p.
- Silva, M.S.A. 2017. *biochar* de casca de pequi como condicionador de solo no desempenho agrônomo de feijoeiro. Dissertação, Universidade Federal de Minas Gérias, Instituto de Ciências Agrárias. 89p.
- Sturion, J.A.; Antunes, J.B.M. 2000. Produção de mudas de espécies florestais. In: GALVÃO, A.P.M. (Ed.). *Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais*. Colombo: Embrapa Florestas, 125–150.
- Suliman, W.; Harsh, J.B.; Abul-lail, N.I.; Fortuna, A.M.; Allmeyer, I.; Pérez, M.G. 2017. The role of *biochar* porosity and surface functionality in augmenting hydrologic properties of a sandy soil. *Science of The Total Environment*. 574: 139–1547. Doi: [org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.025](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.025). doi: [10.1016/j.scitotenv.2016.09.025](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.025).
- Trautenmüller, J.W.; Borella, J.; Lambrecht, F.R.; Valerius, J.; Costa Junior, S.; Leschewitz, R. 2016. Influência de composto orgânico no desenvolvimento de *Ilex paraguariensis* St. Hilaire. *Advances in Forestry Science*, 4: 55–58.
- Varvel, G.E.; Schpers, J.S.; Francis, D.D. 1997. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. *Soil Science Society of America Journal*, 61: 1233-1239. Doi: [10.2136/sssaj1997.03615995006100040032x](https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100040032x).
- Xu, R.; Ferrante, L.; Salão, K.; Brins, C.; Berruti, F. 2011. Thermal self-sustainability of *biochar* production by pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 91: 55–66. Doi.org/10.1016/j.jaap.2011.01.001.
- Zorzeto, T. Q.; Dechen, S.C.F.; Abreu, M.F.; Fernandes Junior, F. 2014. Caracterização física de substratos para plantas. *Bragantia*, 73: 300–311. Doi: [org/10.1590/1678-4499.0086](https://doi.org/10.1590/1678-4499.0086).