

## BIOCHAR COMO CONDICIONADOR DE SUBSTRATO PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE EUCALIPTO<sup>1</sup>

FABIANO ANDRÉ PETTER\*, FABRÍCIO RIBEIRO ANDRADE<sup>3</sup>, BEN HUR MARIMON JUNIOR<sup>4</sup>, LAISSA GRABRIELLE GONÇALVES<sup>4</sup>, THIAGO RODRIGO SCHOSSLER<sup>3</sup>

**RESUMO** - Objetivou-se avaliar o efeito do biochar como condicionador de substrato para a produção de mudas de eucalipto. O experimento foi conduzido em estufa utilizando delineamento experimental de blocos ao acaso em esquema fatorial 5 x 2, sendo os fatores constituídos por cinco concentrações de biochar (0; 7,5; 15; 30 e 60% do v/v) adicionadas ao substrato comercial Germinar<sup>®</sup> e duas espécies de eucalipto (*Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus urophylla*), com 4 repetições. Aos 75, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) avaliou-se o diâmetro do coleto e altura de plantas e ao final do experimento (120 DAS) procedeu à avaliação da fitomassa fresca da parte aérea e radicular, fitomassa seca da parte aérea e radicular e os parâmetros morfológicos relação altura de plantas/diâmetro do coleto, fitomassa seca da parte aérea/fitomassa seca de raízes e índice de qualidade de Dickson. De maneira geral os substratos acrescidos de 7,5% de biochar proporcionaram melhor desenvolvimento das mudas, com destaque para *E. citriodora*, que apresentou os melhores resultados para as características avaliadas. Avaliando os parâmetros morfológicos que atuam como principais componentes na qualidade de mudas, *E. citriodora* foi superior a *E. urophylla*. Concentrações de biochar acima de 30% prejudicaram o desenvolvimento das mudas.

**Palavras-chave:** *Eucalyptus citriodora* Hook. *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. Carvão vegetal.

## BIOCHAR CONDITIONER AS SUBSTRATE FOR THE PRODUCTION OF EUCALIPTO SEEDLINGS

**ABSTRACT** - The objective was to evaluate the effect of the biochar as a substrate conditioner for the production of eucalyptus seedlings. The work was lead in nursery and the experimental design was randomized blocks arranged in factorial 5 x 2, being the factors composed of five concentrations of biochar (0; 7.5; 15; 30 and 60% v/v) added to the Germinar<sup>®</sup> commercial substrate and two species of eucalyptus (*Eucalyptus citriodora* and *Eucalyptus urophylla*), with four repetitions. At 75, 90 and 120 days after sowing (DAS) evaluated the stem diameter and plant height and at the end of the experiment (120 DAS) assessed fresh biomass of shoot and root, dry mass of shoot and root morphological parameters relative the plant height/stem diameter, dry mass of shoot/dry mass of roots and index of quality of Dickson. In general, the substrates that was added 7.5% of biochar promoted greater growth of seedlings, especially *E. citriodora* showed the best results for the evaluated characteristics. Evaluating the morphological parameters that act as key components in the quality of seedlings *E. citriodora* was superiors than *E. urophylla*. Concentrations of biochar above 30% harm the development of seedlings.

**Keywords:** *Eucalyptus citriodora* Hook. *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. Charcoal.

\*Autor para correspondência.

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 16/04/2012; aceito em 18/12/2012.

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Fitotecnia, Universidade Federal do Piauí - UFPI/CPCE, 64.900-000, Bom Jesus – PI; petter@ufpi.edu.br

<sup>3</sup>Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal do Piauí - UFPI/CPCE, 64.900-000, Bom Jesus – PI; fabricioandradeagro@gmail.com; schoessler@msn.com

<sup>4</sup>Universidade do Estado de Mato Grosso, Departamento de Agronomia, 78.690-000, Nova Xavantina, MT; bhmjunior@gmail.com; laissaagronomia@gmail.com

## INTRODUÇÃO

O processo de ocupação e expansão da área agricultável nos cerrados tem gerado uma pressão sobre as florestas nativas, gerando impasse entre os setores produtivos e a sociedade. Em meio a essa discussão, o reflorestamento surge como uma forma alternativa visando a recuperação de áreas e o fornecimento de madeira e seus derivados (RAMOS, 2007). O eucalipto oriundo de reflorestamento tem sido utilizado principalmente na produção de chapas, carvão vegetal, celulose, papel madeira para a indústria moveleira, construções e cercas para atender a alta demanda atual da agroindústria e do beneficiamento de grãos (SILVA et al., 2006).

No Brasil, seu cultivo é um dos mais avançados, produtivos e competitivos do mundo (SILVA et al., 2006), além de ser uma fonte segura e adicional de renda ao produtor rural, contribuindo também para redução do processo de degradação dos solos (RAMOS, 2007) e sequestro de carbono da atmosfera, podendo ser inserido no contexto de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL).

Para um bom desempenho das plantas de eucalipto a campo, as mudas devem apresentar boa qualidade, que para isso, dependem de vários fatores, como tipo e tamanho do recipiente (GOMES et al., 2003), germinação, vigor das sementes (BARROS JÚNIOR et al., 2008; SMIDERLE; MINAMI, 2001), luz, água, temperatura (PEZZUTTI et al., 1999), e o tipo de substrato. A germinação e formação de mudas são fortemente influenciadas pelas propriedades físico-químicas dos substratos. Um bom substrato deve proporcionar meio adequado para sua sustentação e retenção de quantidades suficientes de água, oxigênio e nutrientes para o crescimento e desenvolvimento das plantas (GUERRINI; TRIGUEIRO, 2004).

Segundo Laviola et al. (2006), existem vários tipos de substratos no mercado, porém nem sempre os substratos disponíveis comercialmente são os melhores ou os mais indicados para determinada espécie, tornando assim comum a prática da mistura e/ou combinação de um ou mais compostos que juntos formam um substrato alternativo. Uma das opções de melhoria das qualidades do substrato é a utilização de condicionadores de solo. Os condicionadores de solo são em sua maioria constituídos por ácidos húmicos e fúlvicos em concentrações variadas (MARCHI, 2006), podendo ainda, também disponibilizar nutrientes, como cálcio, potássio, fósforo, nitrogênio e micronutrientes.

A utilização de um condicionador de solo, que proporciona ou auxilia o fornecimento adequado de nutrientes e aeração, se mostra como uma alternativa na produção de mudas de qualidade. Nesse sentido, o carbono pirogênico, recentemente denominado de "Biochar" (LEHMANN et al., 2003) e constituinte básico da biomassa carbonizada (carvão vegetal), apresenta algumas características físico-

químicas que podem atuar como condicionador de substratos. Segundo Madari et al. (2006), a estrutura do biochar apresenta alta porosidade e elevada área de superfície específica, fato que confere condições favoráveis para absorção de compostos orgânicos solúveis, podendo contribuir com a disponibilidade de nutrientes. De acordo com Petter (2010) e Petter e Madari (2012), à medida que ocorre a oxidação parcial das bordas das estruturas aromáticas do biochar, novos sítios eletroquímicos vão surgindo, efeito este, que pode auxiliar na retenção e disponibilidade de nutrientes para as plantas.

A mistura de substratos com o carvão vegetal buscando a melhoria das propriedades físico-químicas tem sido evidenciada em alguns trabalhos (GOMES et al., 2003; ZANETTI et al., 2003; MENDONÇA et al., 2003; ARRUDA et al., 2007).

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o potencial do carvão vegetal como condicionador de substrato para a produção de mudas de duas espécies de eucalipto.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em estufa modelo capela com telado sombreado a 50% no viveiro de pesquisas de plantas lenhosas da Universidade do Estado de Mato Grosso, *campus* de Nova Xavantina - MT (14° 41' 25" S; 52° 20' 55" W), com altitude de 306 m, no período de Junho a Outubro de 2010.

A região apresenta clima do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, que consiste em duas estações bem definidas, uma seca que vai de maio a setembro e outra chuvosa de outubro a abril.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial 5 x 2, sendo os fatores constituídos por cinco concentrações de carvão vegetal (Biochar) (0; 7,5; 15; 30 e 60% do v/v) e duas espécies de eucalipto (*Eucalyptus citriodora* Hook e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake) com 4 repetições. As porcentagens de carvão vegetal foram adicionadas ao substrato comercial Germinar®. Cada parcela experimental foi constituída de 20 plantas.

Realizou-se a semeadura diretamente em tubetes de polietileno com capacidade de 100 cm<sup>3</sup> e dispostos sobre suportes de ferro a uma altura de 1,20 m, colocando-se em média, cinco sementes por recipiente. O raleio das mudas ocorreu 22 dias após a semeadura (DAS), deixando-se apenas a muda mais vigorosa em cada tubete. A irrigação foi realizada pelo sistema de microaspersão duas vezes ao dia (09h00 min e 15h00 min), complementando com irrigações extras sempre que se verificava déficit hídrico.

As sementes utilizadas foram doadas pelo IPEF (Instituto de Pesquisas Florestais), sendo a procedência de Restinga - SP para *Eucalyptus citriodora* Hook cultivar LCFA016 e procedência de Piracicaba - SP para *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake cultivar LCFA009.

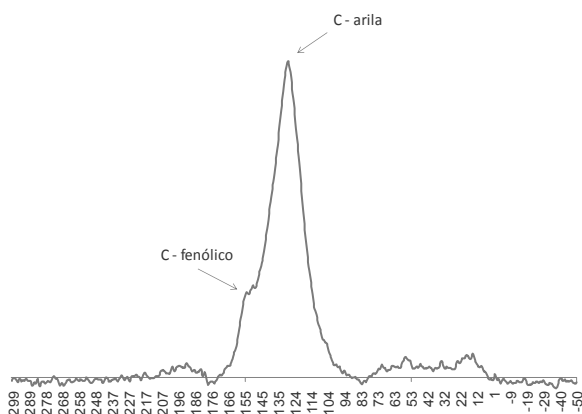
**Tabela 1.** Análise química do substrato comercial e do biochar. GMR - Germinar; CV – Biochar, (2010).

	pH (H <sub>2</sub> O)	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	SB	CTC	P	K	Mn	Zn	Cu	S	B	V
		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>							mg dm <sup>-3</sup>					%	
<sup>1</sup> GMR <sup>®</sup>	6,4	18,8	5,0	0,0	6,6	25,7	32,3	592,7	740	23,9	7,4	1,1	396	1,42	79,7
<sup>2</sup> CV <sup>®</sup>	---	0,30	---	---	---	---	---	1,82	0,04	---	0,01	0,01	1,83	---	---

<sup>1</sup>Metodologia de análise de solos; <sup>2</sup>Metodologia de análise de fertilizantes (valores em %).

A composição do substrato comercial e do carvão vegetal adicionado ao substrato está demonstrada na Tabela 1. O carvão oriundo da fitofisionomia cerrado foi produzido através da técnica chamada “rabo quente”, com temperatura variando de 200 °C na fase inicial a 500 °C na fase final da carbonização da madeira. A fim de verificar o efeito dos nutrientes contido no biochar, optou-se por demonstrar na Tabela 1, a composição nutricional que estava prontamente disponível para as plantas, por isso adotou-se a metodologia de análise de fertilizantes.

A amostra de carvão vegetal teve uma baixa relação sinal-ruído (Figura 1). Praticamente não houve presença de estruturas alifáticas (alquilas em geral, ~100-0 ppm) ou O- (~70 ppm) e di-O-alquilas (~105 ppm) que seriam provenientes da celulose, e também não há indicação no espectro de grupos arila-O-alquila (~56 ppm) de lignina (embora VACP-TOSS-DD não foi feito para verificar) indicando que a carbonização dessa amostra foi bastante completa e não preservou precursores. O espectro apresentou um claro sinal de grupos O-aromáticos (C-arila, ~130 ppm), responsáveis pela estabilidade do material. Também há indicação de grupos fenólicos (~150 ppm) no espectro, embora em proporção bem menor que os grupos arila, que podem ser responsáveis por alguma reatividade química do carvão vegetal.



**Figura 1.** Espectro de <sup>13</sup>C RMN (VACP-TOSS) de amostra do carvão vegetal utilizado no experimento.

Depois da perfeita carbonização, o material foi moído em triturador de facas rotativas até homogeneização parcial do material. Em seguida, foi peneirado em peneira de malha 1,0 mm para separar o material mais grosseiro remanescente da moagem. O carvão moído foi testado quanto à granulometria em peneiras de solo padrão, apresentando mais de 62%

do material em granulometria inferior a 0,5 mm e 28% inferior a 0,1 mm. A mistura do substrato com o biochar foi realizada em betoneira elétrica para que ocorresse perfeita homogeneização.

Aos 75, 90 e 120 DAS, avaliou-se o diâmetro do coleto (mm) e altura de plantas (cm), sendo o diâmetro verificado na altura do colo da muda, utilizando-se um paquímetro digital Clarke<sup>®</sup> graduado em milímetros com precisão de 0,01mm e para a altura utilizou-se uma régua graduada em centímetros, tomando como referência à distância do colo ao ápice da muda.

Ao final do experimento, 120 DAS realizou-se a lavagem das mudas para retirada do substrato, sendo estas seccionadas para separação da parte aérea e sistema radicular, e determinado a fitomassa fresca e seca da parte aérea (g), fitomassa fresca e seca das raízes (g). Posteriormente, as partes seccionadas foram secadas em estufa de circulação forçada de ar por 72 horas a 70 °C, para a determinação dos valores de fitomassa seca da raiz e parte aérea (g).

A partir dessas avaliações determinou-se a fitomassa seca total (FST) e calculou-se os índices morfológicos: relação altura (cm)/diâmetro do coleto (mm) (AP/DC); fitomassa seca da parte aérea/fitomassa seca das raízes (FSPA/FSR) e índice de qualidade de Dickson

(ID) (Dickson et al., 1960), através da equação:  $ID = \frac{\text{fitomassa seca total (g)}}{\text{altura (cm)} \times \text{diâmetro (mm)}} + \frac{\text{fitomassa seca parte aérea (g)}}{\text{fitomassa seca raízes (g)}}$ .

Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo as médias das variáveis significativas agrupadas pelo critério de Tukey a 5% de significância, utilizando o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2008). Para a variável fitomassa fresca da parte aérea os dados brutos foram transformados em log(x) visando uniformizar a variância, porém os valores apresentados são as medias originais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as variáveis analisadas foram significativamente influenciadas pela aplicação de biochar ao substrato comercial Germinar<sup>®</sup> (Tabela 2). Exceto a altura de plantas aos 75 e 90 DAS, as demais variáveis diferiram significativamente quanto às espécies. Para todas as variáveis analisadas, houve interação significativa dos fatores substratos e espécies.

**Tabela 2.** Análise de variância (valores de F) para os diferentes efeitos no desenvolvimento agrônomo de mudas de eucalipto, (2010).

F.V	AP 75 DAS	AP 90 DAS	AP 120 DAS	DC 75 DAS	DC 90 DAS
Substrato (biochar)	122,67**	161,72**	83,37**	60,17**	36,23**
Espécie	0,83 <sup>ns</sup>	2,88 <sup>ns</sup>	18,98**	161,17**	46,66**
Sub. x Esp.	20,31**	25,89**	17,47**	18,57**	7,16**
C.V.	7,83	7,34	7,61	6,42	8,19
F.V	DC 120 DAS	FFR	FFPA	FSR	FSPA
Substrato (biochar)	48,28**	44,62**	44,81**	14,62**	54,85**
Espécie	125,37**	97,38**	75,95**	0,01 <sup>ns</sup>	93,53**
Sub. x Esp.	22,45**	12,47**	8,34**	2,87*	14,61**
C.V.	8,09	12,77	13,5	17,44	12,56
F.V	FST	AP/DC	FSPA/FSR	IQD	
Substrato (biochar)	46,55**	5,98**	5,46**	15,85**	
Espécie	49,32**	15,12**	71,15**	50,39**	
Sub. x Esp.	10,37**	9,57**	3,42**	2,77*	
C.V.	12,49	11,59	15,43	16,04	

\*\* e \* significativo a 1 e 5% respectivamente; <sup>ns</sup> - não significativo. F.V: Fontes de Variação; C.V.: Coeficiente de Variação; DAS: dias após a semeadura; DC: diâmetro do coleto; AP: altura de plantas; FFR: fitomassa fresca das raízes; FFPA: fitomassa fresca da parte aérea; FFR: fitomassa seca das raízes; FSPA: fitomassa seca da parte aérea; FST: fitomassa seca total; AP/DC: relação altura de plantas (cm)/diâmetro do coleto (mm); FSPA/FSR: relação fitomassa seca da parte aérea/fitomassa seca de raízes (g); IQD: Índice de Qualidade de Dickson.

Exceto para o diâmetro do coleto aos 120 DAS, em que o maior diâmetro foi verificado com 15% de biochar, a adição de 7,5% de biochar ao substrato para a produção de *E. citriodora* promoveu o maior desenvolvimento em altura e diâmetro do coleto (Tabela 3) em todas as épocas avaliadas. Esses dados corroboram com os obtidos por Zanetti et al. (2003), que verificaram maior altura das plantas com a adição de 10% de biochar ao substrato e redução da altura para as doses acima desse volume, em mudas de porta enxerto de limoeiro, todavia, os dados quanto ao diâmetro do coleto diferem dos verificados no presente estudo, em que esses autores não verificaram efeito do biochar para essa variável. Já para a espécie *E. urophylla*, de maneira geral, houve efeito contrário, em que a adição do biochar reduziu o desenvolvimento em altura e diâmetro do coleto em todas as épocas avaliadas (Tabela 3). Esses dados revelam resposta diferenciada das espécies à adição de biochar ao substrato, reforçando a necessidade de estudos envolvendo uso de biochar com outras espécies de eucalipto.

De maneira geral a adição de biochar ao substrato comercial Germinar<sup>®</sup> reduziu a fitomassa fresca radicular de ambas as espécies, com efeito mais evidente nas concentrações acima de 30% (Tabela 4). Com exceção da adição de 60% de biochar ao substrato, nas demais concentrações a fitomassa fresca radicular de *E. urophylla* foi significativamente maior que *E. citriodora*, todavia, para a fitomassa seca

radicular não houve diferença entre as espécies. Esses dados indicam maior capacidade de armazenamento de água nas raízes de *E. urophylla* comparado a *E. citriodora*. De acordo com Silva et al. (2004), a espécie de *E. citriodora* apresenta um índice de consumo de água inferior ao de *E. urophylla*, o que explica parcialmente a melhor adaptação de *E. citriodora* em condições de déficit hídrico.

Com exceção da adição de 7,5% de biochar, que proporcionou os maiores valores de fitomassa fresca da parte aérea (FFPA) para *E. citriodora*, de maneira geral concentrações de até 15% não afetaram o desenvolvimento da parte aérea, todavia concentrações acima de 30% proporcionaram menores valores para esses parâmetro. A FFPA de *E. citriodora* foi significativamente superior a de *E. urophylla* na presença de biochar independentemente da dose utilizada, enquanto que para a fitomassa seca da parte aérea não houve diferença significativa (Tabela 4). Esses dados são compatíveis com os apresentados por Zanetti et al. (2003), em que não verificaram ganho de fitomassa em mudas de limoeiro com a adição de 20% de biochar ao substrato, todavia, diferem dos observados por Souchie et al. (2011), que verificaram que a adição de doses de até 50% de biochar, proporcionaram incrementos lineares em massa seca de raiz e parte aérea para a espécie *Tachigali vulgaris* (carvoeiro do cerrado) e Souza et al. (2006), que ao avaliar o efeito da aplicação do carvão vegetal em diferentes substratos (esterco,

areia+carvão), observaram maior incremento de biomassa seca da parte aérea e raízes em mudas de crajiru (*Arrabidaea chica* Verlot.).

Para a fitomassa seca total, o comportamento é semelhante às variáveis fitomassa seca de raiz e parte aérea, em que novamente se verifica que, apenas *E. citriodora* respondeu positivamente à aplicação de 7,5% de biochar ao substrato, enquanto que as doses acima de 30% proporcionaram menores

valores para esse parâmetro (Tabela 5). Elevadas doses de biochar podem ter provocado deficiência induzida de nitrogênio, devido à alta relação C/N do biochar, principalmente em função da estabilidade molecular proporcionado pelas estruturas aromáticas (Figura 1). Para Gomes e Paiva (2004), o maior acúmulo de fitomassa seca em muda é considerado um bom indicativo para uma maior capacidade de sobrevivência das mudas em campo.

**Tabela 3.** Altura de plantas e diâmetro do coleto em mudas de duas espécies de eucalipto em função do uso de substratos acrescidos com biochar, (2010).

Biochar (%)	Altura 75 DAS (cm)		Altura 90 DAS (cm)		Altura 120 DAS (cm)	
	<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>	<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>	<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>
0	11,03 aB	14,44 aA	12,61 abB	16,55 aA	16,95 bB	21,42 aA
7,5	12,45 aA	9,97 bB	14,04 aA	11,73 bB	21,71 aA	18,33 bB
15	9,20 bA	8,47 cA	12,15 bA	9,97 cB	19,77 aA	17,23 bB
30	8,56 bA	6,86 dB	9,54 cA	7,17 dB	16,01 bA	10,74 cB
60	5,36 cA	5,81 dA	5,46 dA	6,31 dA	11,82 cA	9,94 cB
Biochar (%)	Diâmetro 75 DAS (mm)		Diâmetro 90 DAS (mm)		Diâmetro 120 DAS (mm)	
	<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>	<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>	<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>
0	0,99 bA	0,96 aA	1,14 abA	1,06 aA	1,36 bcA	1,23 aA
7,5	1,21 aA	0,73 bB	1,28 aA	0,89 bcB	1,50 bA	1,21 aB
15	0,96 bA	0,77 bB	1,11 bA	1,00 abA	1,99 aA	1,07 abB
30	0,83 cA	0,62 cB	1,03 bA	0,76 cdB	1,28 cA	0,91 bcB
60	0,73 cA	0,57 cB	0,71 cA	0,69 cA	0,93 dA	0,86 cA

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

**Tabela 4.** Fitomassa fresca e seca radicular, fitomassa fresca e seca da parte aérea das mudas de duas espécies de eucalipto em função do uso de substratos acrescidos com biochar, (2010).

Biochar (%)	Fitomassa Fresca Radicular(g)		Fitomassa Fresca Parte Aérea (g)	
	<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>	<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>
0	0,72 aB	0,98 aA	0,92 bA	0,94 aA
7,5	0,57 abB	1,07 aA	1,48 aA	0,89 aB
15	0,51 bcB	0,90 aA	1,09 bA	0,82 aB
30	0,44 bcB	0,68 bA	0,91 bA	0,42 bB
60	0,40 cA	0,33 cA	0,62 cA	0,36 bB
Biochar (%)	Fitomassa Seca Radicular(g)		Fitomassa Seca Parte Aérea (g)	
	<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>	<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>
0	0,13 aA	0,15 aA	0,13 aA	0,15 aA
7,5	0,14 aA	0,14 aA	0,14 aA	0,14 aA
15	0,11 abA	0,14 aA	0,11 abA	0,14 aA
30	0,09 aA	0,09 bA	0,12 aA	0,10 bA
60	0,07 bA	0,07 bA	0,07 bA	0,07 bA

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Ao analisar o parâmetro morfológico relação altura de plantas/diâmetro do coleto, não se observou efeito significativo da aplicação de biochar em *E. citriodora*, todavia para *E. urophylla*, as concentrações de 30% e 60% proporcionaram os menores valores (Tabela 5). De acordo com Carneiro (1995), a relação altura de plantas/diâmetro do coleto exprime um equilíbrio de crescimento, que segundo Birchler et al. (1998), para mudas de qualidade, não deve exceder uma relação maior que 10. Considerando esse padrão de relação, os tratamentos com 30% e

60% de biochar ao substrato, apesar de afetarem negativamente todas as variáveis analisadas, seriam os mais indicados, pois são os que mais se aproximam do padrão recomendado (relação 10). No entanto, há de se considerar que o padrão de crescimento para o gênero *Eucalyptus*, diferencia-se dos demais gêneros e espécies florestais, uma vez que há um rápido crescimento inicial em altura, para posteriormente haver acúmulo de fitomassa no caule, tornando assim sempre elevada a relação altura de plantas/diâmetro do coleto.

**Tabela 5.** Valores de fitomassa seca total e parâmetros morfológicos constituídos pela relação altura (cm)/diâmetro do coleto (mm), fitomassa seca da parte aérea/fitomassa seca de raízes (g) (FSPA/FSR) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas de duas espécies de eucalipto em função do uso de substratos acrescidos com biochar, (2010).

Biochar (%)	Fitomassa Seca Total (g)		Altura de Plantas/Diâmetro do Coleto	
	<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>	<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>
0	0,50 bA	0,53 aA	12,51 abB	17,32 aA
7,5	0,72 aA	0,47 aB	14,48 aA	15,07 abA
15	0,49 bA	0,44 aA	10,12 abB	16,16 aA
30	0,49 bA	0,24 bB	12,53 abA	11,87 bcA
60	0,29 cA	0,21 bA	12,88 abA	11,48 cA

Biochar (%)	FSPA/FSR		IQD	
	<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>	<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>
0	2,89 bA	2,52 aA	0,0327 bA	0,0262 aB
7,5	4,06 aA	2,24 aB	0,0390 aA	0,0267 aB
15	3,26 abA	2,06 aB	0,0370 aA	0,0242 abB
30	2,89 bA	1,70 aB	0,0320 bA	0,0172 bB
60	2,80 bA	1,95 aB	0,0187 cA	0,0163 bA

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Diante disso é necessário se estabelecer um padrão diferenciado de relação altura/diâmetro do coleto para o gênero *Eucalyptus*.

A adição de 7,5% de biochar ao substrato proporcionou maior relação fitomassa seca da parte aérea/fitomassa seca de raízes para a espécie *E. citriodora*, no entanto não influenciou esses parâmetro para *E. urophylla*, independentemente da concentração de biochar utilizada (Tabela 5), indicando maior alocação de fotoassimilados na parte aérea de *E. citriodora*. Para alguns autores (GOMES; PAIVA, 2004; HORN et al., 2006), essa elevada relação pode ser considerada um indicativo de mudas de baixa qualidade, pois reflete a distribuição dos fotoassimilados de forma menos homogênea. Adicionalmente, conforme Artur et al. (2007), quanto menor o valor dessa relação maior será a capacidade das mudas em sobreviver e se estabelecer em campo.

Todavia, para a espécie *E. citriodora*, que apresenta crescimento diferenciado, em que há acúmulo inicial de fitomassa em maiores proporções na parte aérea, essa característica pode ser um indicativo de um mecanismo de preparo das para condições adversas como déficit hídrico. Segundo Silva et al. (2004), *E. citriodora* apresenta boa eficiência no uso da água em condições normais de disponibilidade hídrica, acumulando maior quantidade de fitomassa seca comparado a *E. grandis*. De acordo com esses autores, esse maior acúmulo de fitomassa pode beneficiar o desenvolvimento em condições que possa ocorrer déficit hídrico, uma vez que nessas condições a difusão de CO<sub>2</sub> para o interior do mesófilo foliar é interrompida em função do fechamento estomático, e consequentemente reduzida a produção de fotoassimilados.

O Índice de Qualidade de Dickson (IQD) se apresenta como um indicador mais completo para verificar a qualidade de mudas, já que para seu cálculo considera-se a robustez e o equilíbrio da distribuição da fitomassa, sendo ponderados vários parâ-

metros importantes (FONSECA et al., 2002). A adição de 7,5% ao substrato Germinar<sup>®</sup> proporcionou os maiores valores de IQD para ambas as espécies, todavia não diferindo da testemunha para *E. urophylla* (Tabela 5). Os piores índices foram verificados para as concentrações de 30% e 60% de biochar no substrato, seguindo a tendência dos demais parâmetros avaliados. Os valores de IQD foram superiores para *E. citriodora* comparado a *E. urophylla*, demonstrando melhor qualidade das mudas. De acordo com Bernardino et al. (2005), mudas com maior IQD são classificadas como as de melhor qualidade.

De maneira geral *E. citriodora* apresentou superioridade ao *E. urophylla* para os parâmetros altura de plantas, diâmetro do coleto, fitomassa seca total e IQD na presença de 7,5% de biochar, evidenciado que apesar de pertencerem ao mesmo gênero, os materiais genéticos apresentaram comportamento diferenciado na presença desse condicionador. Essa diferença pode ser atribuída ao metabolismo diferenciado de *E. citriodora*, como verificado por Silva et al. (2004) para o controle estomático (abertura e fechamento) e eficiência no uso da água, e, por Moura e Guimarães (2003) para menor exigência nutricional de *E. citriodora* comparado a *E. urophylla*.

O *E. citriodora* expressou de maneira mais evidente seu potencial de crescimento, fato este verificado com menos intensidade para *E. urophylla* que não diferiu da testemunha em muitos parâmetros avaliados. Esses dados revelam diferenças na sensibilidade das espécies quanto ao substrato, fato que pode estar associada à elevação do pH em altas concentrações de biochar, reduzido assim a disponibilidade de alguns nutrientes como, Zn, Cu, Fe e Mn ou até mesmo uma maior sensibilidade de *E. urophylla* ao pH elevado. Segundo Mbagwu e Picollo (1997), altas doses de biochar podem ocasionar redução no crescimento das plantas em função da deficiência induzida de nutrientes pelo aumento de pH, pela deficiência induzida de nitrogênio em função da alta

C/N como reportado anteriormente e ainda em função da sensibilidade de algumas plantas ao pH elevado.

De acordo com Petter (2010), o biochar contribui para uma maior absorção de nutrientes, principalmente em função das superfícies reativas nas bordas das estruturas aromáticas dos poros do biochar, atuando como condicionador de substrato. Essa característica do biochar eleva as concentrações de bases e conseqüentemente reduz a acidez no substrato. Segundo este mesmo autor, outra explicação para as respostas agrônômicas das plantas à aplicação do biochar, seria um possível efeito eletrofisiológico do carbono pirogênico para as plantas, onde poderia estar havendo redução na energia necessária gasta pelas plantas para a absorção da quantidade necessária de nutrientes, efeito similar ao observado também para as substâncias húmicas (NARDI et al., 2002), sendo este efeito variável entre espécies vegetais.

Os dados do presente trabalho revelam a necessidade de estudos complementares a campo, visando elucidar o comportamento das mudas produzidas com a adição de biochar ao substrato e ainda o efeito fisiológico do biochar para as plantas.

## CONCLUSÃO

A adição de 7,5% de biochar ao substrato Germinar<sup>®</sup> promove o desenvolvimento de mudas de eucalipto de melhor qualidade, enquanto que, doses acima de 15% proporcionam redução na qualidade das mudas de eucalipto. A espécie *E. citriodora* apresenta melhor resposta à aplicação de biochar comparado a *E. urophylla*.

## AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro concedido ao Projeto Biochar (CNPq nº 575019/2008-5), ao IPEF (Instituto de Pesquisas Florestais) pela doação das sementes de eucalipto, a CAPES e EMBRAPA/CNPq pela concessão de bolsas, à Companhia Agro São Gabriel LTDA, Universidade do Estado de Mato Grosso e Universidade Federal do Piauí, pelo apoio logístico.

## REFERÊNCIAS

ARRUDA, M. R. et al. Enraizamento de estacas herbáceas de guaranazeiro em diferentes substratos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 1, p. 236-24, 2007.

ARTUR, A. G. et al. Esterco bovino e calagem para

formação de mudas de guanandi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 843-850, 2007.

BARROS JÚNIOR, A. P. et al. Utilização de compostos orgânicos no crescimento de mudas de pimentão. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 2, p. 126-130, 2008.

BERNARDINO, D. C. S. et al. Crescimento e qualidade de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan em resposta à saturação por bases do substrato. **Revista Árvore**, Viçosa MG, v.29, n. 6, p. 863-870, 2005.

BIRCHLER, T. et al. La planta ideal: revision del concepto, parametros definitorios e implementation practica. **Investigacion Agraria, Sistemas y Recursos Forestales**, v.7, n. 1-2, p. 109-121, 1998.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1995. 451 p.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v.6, n. 2, p.36-41, 2008.

FONSECA, E. P. et al. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 515-523, 2002.

GOMES, J. M. et al. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização N-P-K. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p. 113-127, 2003.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais – propagação sexuada**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2004. 116 p.

GUERRINI, I. A.; TRIGUEIRO R. M. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por biosólidos e casca de arroz carbonizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 1069-1076, 2004.

HORN, D. et al. Parâmetros cinéticos e morfológicos da absorção de nutrientes em cultivares de milho com variabilidade genética contrastante. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 77-85, 2006.

- jiloeiro (*Solanum gilo* RADDI), cultivar verde claro. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 3, p. 415-421, 2006.
- LEHMANN J. et al. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, v. 249, n. 2, p. 343-357, 2003.
- MARCHI, E. C. S. **Influência da adubação orgânica e de doses de material húmico sobre a produção de alface americana e teores de carbono no solo**. 2006. 46 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2006.
- MADARI, B. E. et al. **Carvão Vegetal como condicionador de solo para Arroz de Terras Altas (Cultivar Primavera): um estudo prospectivo**. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão. 06 p. 2006. (Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado Técnico, 125).
- MBAGWU, J. S. C.; PICCOLO, A. Effects of humic substances from oxidized coal on soil chemical properties and maize yield. In: DROZD, J.; GONET, S. S.; SENESI, N.; WEBER, J. (eds) **The role of humic substances in the ecosystems and in environmental protection**. IHSS, Polish Society of Humic Substances, Wroclaw, Poland, 1997. p.921–925.
- MENDONÇA, V. et al. Diferentes substratos e recipientes na formação de mudas de mamoeiro ‘Sunrise Solo’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 127-130, 2003.
- MOURA, V. P. G.; GUIMARÃES, D.P. **Produção de mudas de Eucalyptus para o estabelecimento de plantios florestais**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos, 2003. 9p. (Embrapa CENARGEN, DF. Comunicado Técnico, 85).
- NARDI, S. et al. Physiological effects of humic substances on higher plants. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.34, n. 10, p. 1527-1536, 2002.
- PETTER, F. A. **Biomassa carbonizada como condicionador de solo: aspectos agronômicos e ambientais do seu uso em solos de cerrado**. 2010. 130p. Tese Doutorado (Doutorado em Produção Vegetal), Curso de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.
- PETTER, F. A.; MADARI, B. E. Biochar: Agronomic and environmental potential in Brazilian savannah soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n.7, p. 761-768, 2012.
- PEZZUTTI, R. V.; SCNUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M. Crescimento De Mudas De *Eucalyptus Globulus* em Resposta À Fertilização NPK. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 117-125. 1999.
- RAMOS, B. R. **Plantio Econômico e Prático de Eucalipto**. 1.ed. Viçosa: Divisão de Gráfica Universitária da UFV. 2007. 64 p.
- SILVA, W. et al. Índice de consumo e eficiência do uso da água em eucalipto, submetido a diferentes teores de água em convivência com a braquiária. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 3, p. 325-335, 2004.
- SILVA, A. S. et al. Qualidade de mudas de Eucalipto tratadas com Extrato Pirolenhoso. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 19-26, 2006.
- SMIDERLE, O. J.; MINAMI, K. Emergência e vigor de plântulas de goiaba em diferentes substratos. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 38-45, 2001.
- SOUCHIE, F. F. et al. Carvão pirogênico como condicionante para substrato de mudas de *Tachigali vulgaris* L.G. Silva & H.C. Lima. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 811-821, 2011.
- SOUZA, G. K. A. et al. Growth of cajuru (*Arrabidaea chica* Verlot.) on different growing media. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 8, n. esp., p. 62-65, 2006.
- ZANETTI, M. et al. Uso de subprodutos de carvão vegetal na formação do porta-enxerto limoeiro ‘cravo’ em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 508-512, 2003.