

**STEFANY LORRAYNY LIMA**



**INTERAÇÕES ENTRE MACRONUTRIENTES E  
BIOCHAR NO DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE  
ESPÉCIES ARBÓREAS**

**Nova Xavantina–MT  
2015**

**STEFANY LORRAYNY LIMA**

**INTERAÇÕES ENTRE MACRONUTRIENTES E  
BIOCHAR NO DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE  
ESPÉCIES ARBÓREAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade do Estado de Mato Grosso como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

**Orientador:** Prof. Dr. Ben Hur Marimon  
Junior

**Nova Xavantina–MT  
2015**

732i Lima, Stefany Lorryny (24 - 1990).

Interações entre macronutrientes e biochar no desenvolvimento de mudas de espécies arbóreas. /Stefany Lorryny Lima. Nova Xavantina, 2015.

71f. : il.

Orientador: Ben Hur Marimon Junior

Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, 2015.

1. Reflorestamento. 2. Biochar. 3. Produção de mudas. 4. I. Título.

CDU – 630\*232:552.574

Permitida a reprodução total ou parcial desde que citada à fonte.

# **Interações entre macronutrientes e biochar no desenvolvimento de mudas de espécies arbóreas**

**Stefany Lorryny Lima**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade do Estado de Mato Grosso como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 31 de março de 2015, pela banca examinadora:

---

Prof. Dr. Ben Hur Marimon Junior  
Universidade do Estado de Mato Grosso-UNEMAT  
Orientador

---

Prof. Dr. Cesar Crispim Vilar  
Universidade do Estado de Mato Grosso-UNEMAT  
Membro interno

---

Prof. Dr. Fabiano André Petter  
Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT  
Membro externo

---

Dr. Henrique Augusto Mews  
Universidade do Estado de Mato Grosso-UNEMAT  
Suplente



*Aos meus pais, Carlos e Magna,  
pelo apoio, dedicação, incentivo e  
amor.*

*Dedico.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, por toda a estrutura material e emocional proporcionada para o meu estabelecimento como pessoa e profissional. Aos meus pais, Magna e Carlos, e aos meus irmãos, Hutyala, Maxsuweymer e Ketryny, todo o meu amor e gratidão.

A Universidade do Estado de Mato Grosso, ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, a CAPES e a todos os brasileiros contribuintes, por promoverem condições físicas, intelectuais e financeiras para este estudo.

Ao meu orientador prof. Dr. Ben Hur Marimon Junior, pela confiança e apoio para o desenvolvimento e conclusão da dissertação e dos artigos que a sucedem. E aos membros das avaliações de qualificação e defesa desse trabalho, pelas contribuições para o aperfeiçoamento do mesmo.

Aos alunos e professores da turma de 2013 do mestrado em ecologia e conservação, pela amizade, apoio e contribuições, agradeço e desejo sucesso. As pessoas que tive a oportunidade de conhecer: Leonardo, Luciano, José Carlos, Aline, obrigada pelo convívio.

À equipe do laboratório de ecologia vegetal (LABEV) agradeço o auxílio no trabalho de campo e no desenvolvimento intelectual da dissertação. E pela oportunidade de encontrar pessoas pelas quais possuo respeito e amizade: Kelyane, Simone, Ana Paula, Bianca, Paulo, entre outros.

Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a execução desse trabalho e para meu aperfeiçoamento profissional e pessoal, meus sinceros agradecimentos.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	9
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	12
CAPÍTULO I.....	14
Uso de biochar no manejo da adubação nitrogenada para produção de mudas para restauração florestal.....	15
Introdução.....	16
Material e Métodos.....	17
Resultados e Discussão.....	19
Interação entre biochar e nitrogênio para mudas de angico .....	19
Interação entre biochar e nitrogênio para mudas de eucalipto .....	24
Conclusões.....	35
Agradecimentos.....	36
Referências .....	36
CAPÍTULO II.....	42
Biochar pode beneficiar o manejo da adubação fosfatada para produção de mudas para reflorestamento? .....	43
Introdução.....	44
Material e Métodos.....	46
Resultados e Discussão.....	48
Interação entre biochar e fósforo para mudas de angico .....	48
Interação entre biochar e fósforo para mudas de eucalipto .....	55
Conclusões.....	62
Agradecimentos.....	63
Referências .....	63
CONCLUSÃO GERAL .....	69
Apêndices .....	70

## RESUMO GERAL

### **Interações entre macronutrientes e biochar no desenvolvimento de mudas de espécies arbóreas**

As atividades antrópicas têm conduzido à fragmentação de habitats em diferentes biomas, assim, aumenta-se a necessidade de recuperação de áreas degradadas e de reflorestamento para minimizar os impactos ambientais. A atividade de reflorestamento apresenta alguns problemas, como a produção de substratos adequados, assim, o objetivo desse estudo foi verificar o uso do biochar em conjunto com macronutrientes na formação de substratos para o desenvolvimento de mudas de angico e de eucalipto. O experimento foi desenvolvido em viveiro florestal, entre maio e dezembro de 2013, onde foram avaliadas as interações de concentrações de biochar com N e com P. Foi verificado os padrões de crescimento, qualidade e nutrição das plantas, cujos resultados foram submetidos ao estudo de regressão polinomial (superfície de resposta). A relação entre altas doses de biochar e N beneficiaram a qualidade das mudas de angico, apesar de não apresentar influencias para o crescimento e nutrição das plantas. Quanto as mudas de eucalipto, a interação entre elevadas doses de biochar e N aumentaram a altura e qualidade das plantas, e também a concentração de Ca, Mg e P. O uso de biochar em conjunto com P promoveu incremento em qualidade, concentração de Ca e eficiência de uso de K e Ca nas mudas de angico. Enquanto que para as mudas de eucalipto houve incremento no crescimento e qualidade com a adição de fósforo nos substratos. Verifica-se que o uso de biochar com macronutrientes isolados mostra resultados distintos para as diferentes espécies avaliadas e apresenta potencial para uso em práticas de restauração florestal.

**Palavras-chave:** reflorestamento, produção de mudas, substrato, nitrogênio, fósforo, *Anadenanthera colubrina*, *Eucalyptus urograndis*

## GENERAL ABSTRACT

### **Interaction between macronutrients and biochar in the development of seedlings of tree species**

The anthropic activities have led to the fragmentation in different biomes, then, they increase the necessity of recuperation of degraded areas and the reforestation to minimize the environmental impacts. The activity of reforestation presents some problems such as the production of suitable substrates, so, the aim of this study was to verify the use of biochar in conjunction with macronutrients in the formation of substrates for the development of seedlings of angico and eucalyptus. The experiment was conducted in forest nursery between May and December 2013 in which was evaluated the interaction of concentration of biochar with N and with P. It was observed growth patterns, quality and plant nutrition which results were submitted to the study of polynomial regression (response surface). The relationship between high doses of biochar and N benefited the quality of the seedling of angico in despite of does not present influence to the growth and nutrition of the plants. About the seedlings of eucalyptus, the interaction between high doses of biochar and N increased the height and the plants quality, and also the concentration of Ca, Mg and P. The use of biochar in conjunction to P promoted an increase in quality, concentration of Ca and efficiency of use of K and Ca in the seedlings of angico. While for the seedlings of eucalyptus there was an increase in the growth and quality with the addiction of phosphorus on the substrates. We verify that the use of biochar with isolated macronutrients shows different results for different species evaluated and has potential for use in forest restoration practices.

**Keywords:** reforestation, production of seedlings, substrate, nitrogen, phosphorus, *Anadenanthera colubrina*, *Eucalyptus urograndis*

## INTRODUÇÃO GERAL

A urbanização e as atividades agropecuárias têm conduzido à fragmentação de habitats em diferentes biomas, o que torna necessário o desenvolvimento de medidas mitigadoras. A recuperação de áreas degradadas e o reflorestamento surgem como alternativas viáveis nesse sentido, reduzindo os efeitos dos impactos ambientais. Contudo, existem inúmeras dificuldades no processo de reflorestamento, dentre os quais a escassez de informações sobre a produção de mudas das espécies florestais.

Um dos fatores determinantes para a produção de mudas de qualidade é o uso de substratos adequados que supram as exigências nutricionais das espécies (CHAVES et al., 2006), uma vez que a nutrição das plantas está relacionada ao suprimento da demanda de nutrientes para as exigências fisiológicas de cada espécie. Esta condição se reflete na capacidade da planta de se desenvolver e se reproduzir adequadamente, o que pode ser agravado nas espécies vegetais de baixa eficiência de uso dos nutrientes (EUN), que apresentam reduzida capacidade de produção de matéria seca por unidade de nutrientes absorvido pela planta (CHAPIN, 1980; JANSSEN, 1998).

Em condições naturais, a maioria dos solos tropicais apresenta disponibilidade de nutrientes limitada devido à intensa intemperização e remoção de bases do perfil, especialmente no Bioma Cerrado (REATTO et al., 1998). Tais condições desfavorecem o crescimento de plantas saudáveis e produtivas, sendo necessária a adição de fertilizantes minerais no solo para melhorar suas características químicas e promover maior desenvolvimento vegetal. Além disso, é importante a escolha de espécies nativas de alta EUN para garantir o melhor desempenho das mudas e sobrevivência em campo.

As perdas de nutrientes por uso inadequado da terra também são responsáveis por impactos negativos no ambiente, como degradação do solo e poluição dos recursos hídricos.

Com isso, pesquisas e desenvolvimento de produtos que auxiliem na diminuição das perdas de nutrientes, aumentando a eficiência de utilização de nutrientes pelas plantas, com proteção ao meio ambiente (ex. solos e água) são fundamentais (BALIGAR et al., 2001).

Alguns estudos têm discutido os benefícios do uso do biochar na agricultura, principalmente devido à sua característica de diminuir a lixiviação dos nutrientes e de água no solo (GLASER et al., 2002; LEHMANN, 2007; LEHMANN e JOSEPH, 2009), o que garante maior eficiência de uso dos mesmos pelas plantas. Além do potencial de uso do biochar como condicionador de solo e de substrato para produção de mudas (MARIMON-JUNIOR et al., 2012; PETTER et al., 2012), o produto atua como estoque de carbono no solo, contribuindo para diminuir a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, favorecendo a mitigação das mudanças climáticas globais (LEHMANN e JOSEPH, 2009). Discute-se ainda que a melhoria na fertilidade do solo e no desenvolvimento vegetal proporcionada pelo biochar são maiores quando o mesmo é combinado com um fertilizante (GLASER et al., 2002; STEINER et al., 2007).

O biochar é um produto originado a partir do processo de pirólise de materiais orgânicos ou restos de culturas e tem características variáveis de acordo com o processo de produção: como temperatura e tempo de retenção; e o material de origem: como tipo e granulometria da biomassa (MUKHERJEE e ZIMMERMAN, 2013; MUKOME et al., 2013). Seu uso na agricultura também é uma estratégia econômica, visto que é uma forma de aproveitamento de alguns resíduos industriais que são descartados no ambiente (ATKINSON et al., 2010; VAN ZWIETEN et al., 2010). Além disso, pode favorecer o setor florestal, uma vez que um produto com tal potencial tem como tendência agregar valor ao carvão vegetal, tornando-se um mecanismo de desenvolvimento limpo.

Esses fatores, associados à necessidade de diminuir os gastos com adubações químicas que oneram a produção vegetal, tornam promissor o uso do biochar. Dessa forma, essa

tecnologia poderá ser uma alternativa agronômica, social e ambientalmente sustentável para sistemas agrícolas e silviculturais. Com isso, o objetivo desse estudo foi verificar o uso do biochar aplicado em conjunto com macronutrientes na formação de substratos para o desenvolvimento de mudas de espécies florestais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATKINSON, C. J.; FITZGERALD, J. D.; HIPPS, N. A. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. **Plant and Soil**, v. 337, p. 1-18, 2010.
- BALIGAR, V. C.; FAGERIA N. K.; HE, Z. L. Nutrient use efficiency in plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 32, p. 921-950, 2001.
- CHAPIN, F. S. III. The mineral nutrition of wild plants. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 11, p. 233-260, 1980.
- CHAVES, L. L. B.; CARNEIRO, J. G. A.; BARROSO, D. G. B. Crescimento de mudas de angico vermelho produzidas em substrato fertilizado, constituído de resíduos agro-industriais. **Scientia Forestalis**, v. 72, p. 49-56, 2006.
- GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, p. 219-230, 2002.
- JANSSEN, B. H. Efficient use of nutrients: an art of balancing. **Field Crops Research**, v. 56, p. 197-201, 1998.
- LEHMANN, J. Bio-energy in the black. **Frontiers in Ecology and the Environment**, Washington, v. 5, p. 381-387, 2007.
- LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for environmental management: an introduction. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Ed.). **Biochar for environmental management: science and technology**. London: Earthscan, 2009. p. 01-09.
- MARIMON-JUNIOR, B. H.; PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; MADARI, B. E.; MARIMON, B. S.; SCHOSSLER, T. R.; GONÇALVES, L. G.; BELÉM, R. Produção de mudas de jiló em substrato condicionado com Biochar. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 3, p. 108-114, 2012.
- MUKHERJEE, A.; ZIMMERMAN, A. R. Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar–soil mixtures. **Geoderma**, v. 194, p.122-130, 2013.
- MUKOME, F. N. D.; ZHANG, X.; SILVA, L. C. R.; SIX, J.; PARIKH, S. J. Use of chemical and physical characteristics to investigate trends in biochar feedstocks. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 61, p. 2196-2204, 2013.

PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; MARIMON JUNIOR, B. H.; GONÇALVES, L. G.; SCHOSSLER, T. R. Biochar como condicionador de substrato para a produção de mudas de eucalipto. **Revista Caatinga**, v. 25, p. 44-51, 2012.

REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T. Solos do bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1998. p. 47-88.

STEINER, C.; TEIXEIRA, W. G.; LEHMANN, J.; NEHLS, T.; MACÊDO, J. L. V.; BLUM, W. E. H.; ZECH, W. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. **Plant and Soil**, v. 291, p. 275–290, 2007.

VAN ZWIETEN, L.; KIMBER, S.; MORRIS, S.; CHAN, K.Y.; DOWNIE, A.; RUST, J.; JOSEPH, S.; COWIE, A. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. **Plant Soil**, v. 327, p. 235-246, 2010.

## **CAPÍTULO I**

# **USO DE BIOCHAR NO MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA PARA PRODUÇÃO DE MUDAS PARA RESTAURAÇÃO FLORESTAL**

Revista para submissão:

Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira

ISSN 1678-3921



33 biochar and N in the evaluated conditions were promising for the production of both species  
34 evaluated seedlings, showing the potential of biochar use in forest restoration practices.

35 **Index terms:** reforestation, production of seedlings, *Anadenanthera colubrina*, *Eucalyptus*  
36 *urograndis*, substrate

37

## 38 **Introdução**

39 Regiões tropicais apresentam, geralmente, solos de baixa fertilidade, além de elevada  
40 perda de nutrientes devido à rápida mineralização da matéria orgânica e da lixiviação (Reatto  
41 et al., 1998). Tais condições demandam maiores adubações, principalmente com  
42 macronutrientes, como o nitrogênio, que desempenha um papel fundamental no metabolismo  
43 vegetal e, por conseguinte, no crescimento e desenvolvimento da planta (Fageria, 2008). As  
44 características de alta decomponibilidade dos componentes nitrogenados e sua pronta  
45 solubilidade, favorecem o aumento das perdas de N nos solos tropicais, principalmente por  
46 lixiviação e volatilização (Vitousek et al., 2009), o que aumenta os custos da produção  
47 agrícola e causam poluição ambiental.

48 Com isso, são necessárias técnicas para reduzir as perdas de nitrogênio e, portanto,  
49 aumentar a sua eficiência de utilização, além de identificar e validar opções que integrem  
50 rendimento das culturas e menor impacto ambiental. Um exemplo é o uso de biochar,  
51 biomassa carbonizada por processo de pirólise, que auxilia na melhoria das propriedades  
52 químicas, físicas e biológicas dos solos (Jeffery et al., 2013; Lehmann, 2007), devido às suas  
53 características de alta porosidade, estabilidade, capacidade de retenção de nutrientes, e  
54 elevado teor de carbono (Lehmann, 2007; Major et al., 2010).

55 Sendo assim, a aplicação do biochar nos solos pode ser uma alternativa para o manejo  
56 sustentável da produção agrícola mundial, principalmente referente ao consumo de  
57 fertilizantes minerais e uso de resíduos sólidos. Além disso, sua capacidade de retenção de  
58 água e nutrientes no solo (Ding et al., 2010), pode reduzir os custos de produção e a poluição

59 ambiental, além de contribuir para a mitigação das mudanças climáticas, por formar um  
60 estoque de carbono no solo (Lehmann et al., 2006).

61 O uso desse produto pode ser estratégico principalmente em condições de restauração  
62 florestal em regiões tropicais, nas quais as espécies vegetais se desenvolvem sobre solos com  
63 baixa fertilidade e estão sujeitas a longos períodos de estresse hídrico. Estas limitações  
64 exigem técnicas de produção de mudas que garantam melhor qualidade e maiores taxas de  
65 sobrevivência em campo.

66 Este trabalho avalia o uso de biochar associado à ureia em substratos para produção de  
67 mudas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, espécie nativa do Brasil, conhecida como  
68 angico, com amplo domínio fitogeográfico (Morim, 2014) e amplo potencial de uso (Lorenzi,  
69 2008) e o eucalipto híbrido *urograndis* (*Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*), uma das  
70 principais espécies exóticas plantadas em práticas de restauração florestal (ABRAF, 2013).  
71 Com a hipótese de que a aplicação de biochar em conjunto com fertilizante nitrogenado  
72 promove melhoria no crescimento, qualidade e eficiência de uso de nutrientes das mudas,  
73 devido ao seu poder condicionante de substrato e capacidade de reter e liberar nutrientes de  
74 forma lenta e controlada, reduzindo prováveis perdas por volatilização e lixiviação.

75

76

### **Material e Métodos**

77 O experimento foi desenvolvido em viveiro florestal na Universidade do Estado de  
78 Mato Grosso (UNEMAT), Nova Xavantina, Mato Grosso (14° 41' 25'' S; 52° 20' 55'' W),  
79 entre maio e dezembro de 2013. Essa região apresenta clima do tipo Aw, segundo a  
80 classificação de Köppen (Silva et al., 2008), com uma estação seca, de abril a setembro, e  
81 outra chuvosa, de outubro a março.

82 Foram produzidas mudas de duas espécies arbóreas, *Anadenanthera colubrina*,  
83 conhecida popularmente como angico, e *Eucalyptus urograndis*. As mudas de angico foram

84 produzidas em sacos de polietileno preto de 500 cm<sup>3</sup> e as de eucalipto em tubetes de  
 85 polietileno com capacidade de 100 cm<sup>3</sup>. Ambos os recipientes foram colocados em bancadas  
 86 sobre suporte de ferro a uma altura de 1,20 m com sombreamento de 50% e irrigação diária  
 87 por microaspersão com taxa diária de aplicação ajustada conforme as condições  
 88 microclimáticas, o que resultava em um tempo aproximado de 20 minutos.

89 O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 51 plantas por  
 90 tratamento. Foram avaliadas as interações entre cinco concentrações (v/v) de biochar (BC) (0,  
 91 5, 10, 20 e 35%) e quatro concentrações de N (0, 50, 100 e 200 mg dm<sup>-3</sup>) na forma de ureia  
 92 (45% de N) adicionadas em um Latossolo Amarelo. Os materiais foram homogeneizados para  
 93 formar 20 combinações de BC (%) e N (mg dm<sup>-3</sup>): 0-0; 0-50; 0-100; 0-200; 5-0; 5-50; 5-100;  
 94 5-200; 10-0; 10-50; 10-100; 10-200; 20-0; 20-50; 20-100; 20-200; 35-0; 35-50; 35-100; 35-  
 95 200. Para a correção da acidez do solo foram adicionados com 2 Kg m<sup>-3</sup> de calcário  
 96 dolomítico (PRNT 90%) em cada substrato.

97 O carvão vegetal foi produzido em forno convencional com a carbonização parcial de  
 98 madeira de eucalipto a 500°C. Posteriormente o material foi moído e peneirado, apresentando  
 99 característica de granulometria inferior a 0,5 mm. As características químicas do substrato  
 100 testemunha e do biochar foram determinadas em laboratório e são apresentadas na tabela 1.

101  
 102 **Tabela 1.** Características químicas do substrato testemunha e do biochar utilizado para a  
 103 formação de substratos para produção de mudas de *A. colubrina* e *E. urograndis* em viveiro.

	pH	Ca	Mg	H+Al	CTC	P	K	S	V	MO	Argila
	CaCl <sub>2</sub>	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				--- mg dm <sup>-3</sup> ---				----- % -----	
Testemunha 1*	5,4	9,4	4,5	6,6	20,9	4,2	128,0	0,0	68,3	4,8	17
Testemunha 2**	5,6	5,2	2,1	4,2	11,8	0,5	89,0	23,2	64,4	3,0	22
Biochar	6,7	5,4	1,7	0,6	8,2	47,8	164,0	35,6	92,3	3,5	--

104 \*Latossolo Amarelo corrigido com calcário dolomítico e usado para o experimento com angico; \*\*Latossolo  
 105 Amarelo corrigido com calcário dolomítico e usado para o experimento com eucalipto.  
 106

107 Foram avaliadas em altura e diâmetro todas as mudas de eucalipto e selecionadas  
 108 aleatoriamente 30 mudas para a avaliação de biomassa seca aos 120 dias após a semeadura

109 (DAS). Para o angico as mesmas medidas foram obtidas a partir de 20 plantas por tratamento  
110 aos 210 DAS. A massa seca foi determinada em balança de precisão após secagem em estufa  
111 de circulação forçada de ar a 65°C. Com os resultados foram calculadas as relações entre  
112 altura e diâmetro (H/D), altura e massa seca da parte aérea (H/MSPA), massa seca da parte  
113 aérea e massa seca radicular (MSPA/MSR), e o Índice de Qualidade de Dickson, conforme  
114 Dickson et al. (1960) ( $IQD = MST/(H/D) + (MSPA/MSR)$ ), para efeitos de comparação da  
115 qualidade das mudas entre os tratamentos.

116 As concentrações foliares de N, P, K, Ca e Mg das mudas de ambas as espécies em  
117 cada tratamento foram determinadas em laboratório conforme metodologia descrita por  
118 Embrapa (1999). Com os resultados verificou-se a diferença da concentração de cada  
119 nutriente e calculou-se a Eficiência do Uso de Nutrientes (EUN), conforme Chapin (1980) (g  
120 biomassa foliar/g de nutriente).

121 Os parâmetros de crescimento e qualidade das mudas, bem como os níveis nutricionais  
122 e a eficiência de uso dos nutrientes foram submetidos ao estudo de regressão polinomial  
123 (superfície de resposta). Inicialmente foi verificada a significância das combinações das doses  
124 de BC e N, e quando estas não mostraram significância efetuou-se o estudo de regressão de  
125 primeiro e segundo graus. Utilizou-se o nível de significância de 5% em todas as análises  
126 estatísticas.

127

128

## **Resultados e Discussão**

### **Interação entre biochar e nitrogênio para mudas de angico**

130 Os resultados para o crescimento das mudas de angico não sustentam a hipótese  
131 testada, devido à ausência de diferenças significativas com a interação entre biochar e N, ou  
132 com o uso isolado dos mesmos (Tabela 2). Por outro lado, a qualidade das plantas, medida  
133 pela relação entre altura e massa seca aérea (H/MSA) foi superior conforme o aumento dos

134 níveis de BC e N utilizados em conjunto (Figura 1A), visto que mudas com menores valores  
 135 para esse parâmetro apresentam maiores condições de sobrevivência em campo, por  
 136 possuírem maior lignificação (Gomes et al., 2002). Essa relação não é utilizada  
 137 frequentemente para avaliar a qualidade de mudas, mas expressa o potencial de sobrevivência  
 138 em campo e, conseqüentemente, o padrão de qualidade da planta (Gomes et al., 2002;  
 139 Caldeira et al., 2013).

140 O aumento das doses de BC e N utilizados em conjunto também favoreceu a qualidade  
 141 das mudas pelo Índice de Qualidade de Dickson (IQD), com um acréscimo médio de 73%  
 142 (IQD=0,40) em relação à testemunha (Figura 1B). Este resultado mostra a importância da  
 143 utilização do biochar em conjunto com a adubação nitrogenada para aumentar a qualidade das  
 144 mudas, haja vista que a aplicação isolada dos dois não resultou em efeito significativo.

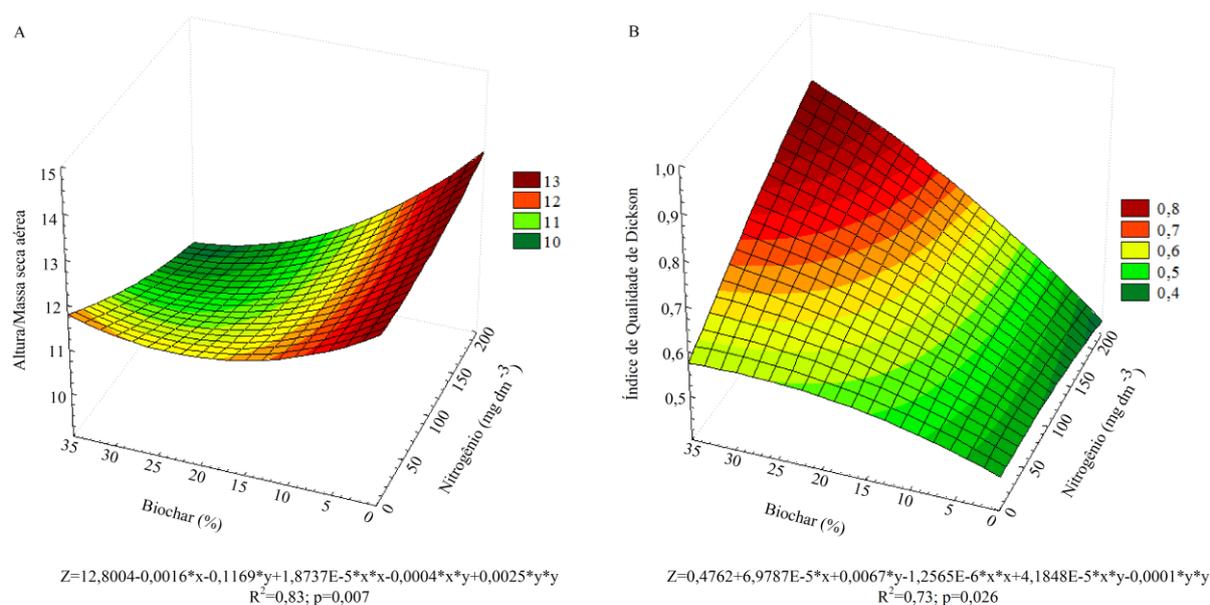
145

146 **Tabela 2.** Valores médios para altura (H), diâmetro (D), massa seca da parte aérea (MSPA),  
 147 massa seca radicular (MSR), massa seca total (MST), e relações H/D e MSPA/MSR de mudas  
 148 de *A. colubrina* aos 210 DAS com a combinação de doses de biochar (BC) e nitrogênio (N).

BC x N	H (cm)	D (mm)	MSPA (g)	MSR (g)	MST (g)	H/D	MSPA/MSR
0-0	48,50	3,29	3,99	4,64	8,62	14,76	0,86
0-50	51,53	3,22	3,78	3,74	7,51	16,01	1,01
0-100	48,90	3,21	3,82	3,71	7,52	15,26	1,03
0-200	54,22	3,50	4,30	4,11	8,41	15,47	1,05
5-0	50,79	3,12	4,11	3,80	7,91	16,29	1,08
5-50	59,12	3,72	5,15	4,17	9,32	15,89	1,24
5-100	59,16	3,47	4,66	3,36	8,02	17,03	1,39
5-200	49,95	3,44	4,00	3,73	7,73	14,52	1,07
10-0	47,65	3,42	3,96	4,50	8,46	13,93	0,88
10-50	49,00	3,44	4,07	3,58	7,65	14,26	1,14
10-100	52,28	3,65	4,60	4,01	8,61	14,33	1,15
10-200	45,69	3,47	3,77	4,06	7,83	13,16	0,93
20-0	38,44	3,05	3,28	3,70	6,99	12,59	0,89
20-50	59,68	4,28	5,56	5,29	10,84	13,95	1,05
20-100	53,74	3,88	5,30	4,90	10,20	13,84	1,08
20-200	48,24	3,68	4,85	4,90	9,75	13,11	0,99
35-0	53,11	3,47	4,47	4,50	8,97	15,29	0,99
35-50	49,63	3,42	4,45	5,05	9,51	14,49	0,88
35-100	49,10	3,77	4,58	6,01	10,59	13,03	0,76
35-200	57,70	4,32	6,01	7,37	13,38	13,34	0,82
<b>p</b>	0,81 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>ns</sup>
<b>R<sup>2</sup></b>	0,18	0,51	0,45	0,65	0,60	0,59	0,43

149 ns = não significativos a 5% de probabilidade pelos testes de regressão polinomial e de primeiro e segundo  
 150 graus.

151



152

153 **Figura 1.** Relação entre Altura e Massa seca da parte aérea (A), e Índice de Qualidade de  
 154 Dickson (B) de mudas de *A. colubrina* aos 210 DAS com a combinação de doses de biochar e  
 155 nitrogênio.

156

157 A ausência de respostas para o crescimento das mudas de angico pode estar  
 158 relacionada à adaptabilidade dessa espécie a diferentes regiões (Morim, 2014), o que favorece  
 159 seu crescimento em condições de reduzida fertilidade de solos devido aos seus baixos  
 160 requerimentos nutricionais (Gonçalves et al., 2012). Além disso, trata-se de uma espécie que  
 161 apresenta associações simbióticas em suas raízes, o que auxilia no seu crescimento e nutrição,  
 162 podendo ser suficiente para suprir suas necessidades nutricionais, principalmente quanto ao N  
 163 e P (Santos et al., 2008; Sugai et al., 2011).

164 Por outro lado, os efeitos das doses concomitantes de biochar e N no IQD são fortes  
 165 indicativos de melhor desempenho da muda (Dickson et al., 1960), visto que esse parâmetro é  
 166 considerado um bom indicador, por avaliar a distribuição da biomassa na muda (Binotto et al.,  
 167 2010), o que pode validar com segurança a eficácia do uso do biochar para a qualidade das  
 168 mudas de angico. Considerando que maiores resultados foram alcançados com o aumento das  
 169 avaliadas, torna-se necessário verificar o impacto econômico de uso do produto, o qual

170 provavelmente deverá ser baixo para a produção de mudas devido às pequenas quantidades  
171 requeridas para uso em viveiro.

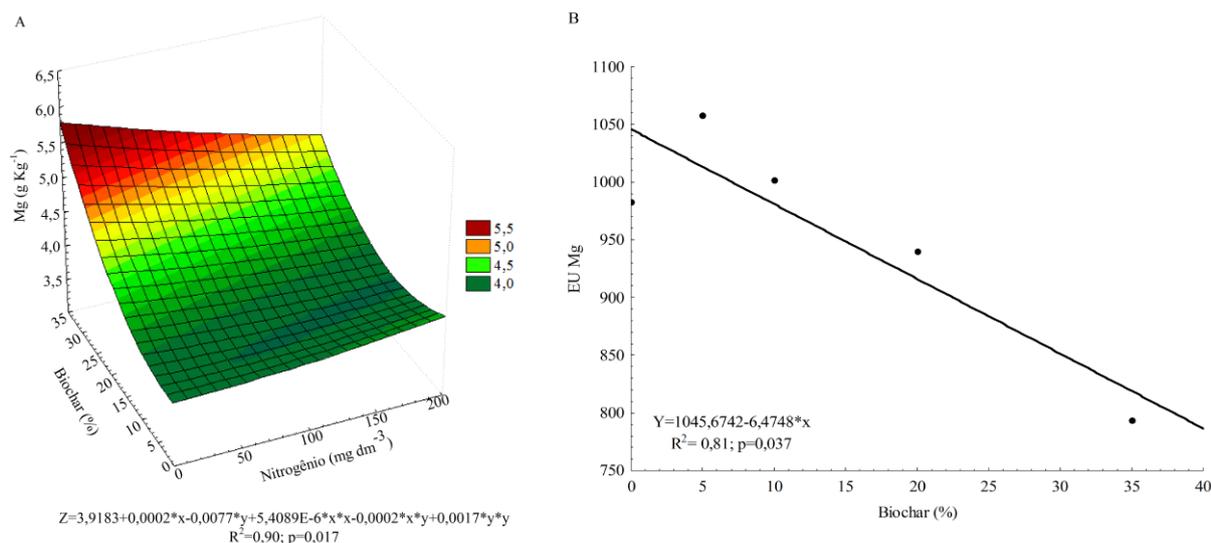
172 Em relação à avaliação nutricional das mudas de angico a adição de biochar e/ou N na  
173 composição dos substratos não apresentou diferenças significativas para a concentração e  
174 eficiência de uso dos nutrientes (Tabela 3). Exceto os resultados observados para o Mg, onde  
175 verifica-se aumento da concentração e redução na eficiência de uso conforme o acréscimo da  
176 aplicação de biochar no substrato (Figuras 2A e B). A concentração foliar de Mg apresentou  
177 um acréscimo de 55% ( $2,26 \text{ g Kg}^{-1}$ ) quando utilizados maiores doses biochar com baixas doses  
178 de N, em relação a testemunha. E para a eficiência de uso de Mg ocorreu uma redução de 7%  
179 ( $65 \text{ g MSA g}^{-1} \text{ Mg}$ ) a cada 10% de BC adicionado no substrato, o que representa uma  
180 diminuição de 30% com o uso da maior dose testada.

181  
182 **Tabela 3.** Concentrações foliares e eficiência de uso (EU) de N, P, K de mudas de *A.*  
183 *colubrina* aos 210 DAS com a combinação de doses de biochar (BC) e nitrogênio (N).

BC x N	N	P	K	Ca	EU N	EU P	EU K	EU Ca
----- g Kg <sup>-1</sup> -----								
0-0	21,1	2,4	3,6	15,8	190,2	1666,0	1115,1	253,1
0-50	22,5	2,1	4,2	15,0	168,3	1785,3	901,4	252,9
0-100	22,4	2,0	4,0	16,3	169,9	1921,2	954,8	234,3
0-200	20,0	2,3	3,5	15,8	217,8	1891,0	1259,2	280,1
5-0	23,8	2,1	4,3	14,2	173,8	1930,8	968,5	291,9
5-50	22,8	2,1	4,2	14,4	224,6	2491,0	1218,4	356,3
5-100	22,1	2,2	3,7	14,6	211,1	2134,2	1274,4	319,4
5-200	21,0	2,2	3,6	14,3	192,5	1805,7	1122,7	282,1
10-0	20,8	2,6	3,9	15,9	189,0	1539,1	996,8	248,7
10-50	20,6	2,0	3,9	14,2	197,2	1972,6	1043,7	285,3
10-100	21,3	2,0	3,8	13,5	220,8	2377,4	1251,9	345,4
10-200	20,3	1,7	3,5	14,3	195,0	2298,2	1110,3	276,4
20-0	20,2	2,3	3,9	13,1	175,7	1547,3	910,1	266,1
20-50	20,4	2,8	4,1	12,6	274,1	1974,2	1352,1	969,5
20-100	23,9	2,4	4,1	16,1	223,0	2171,4	1302,6	331,4
20-200	21,4	2,2	4,4	17,9	231,0	2240,4	1118,7	274,9
35-0	23,7	2,4	4,5	18,1	188,2	1858,7	987,7	246,2
35-50	22,1	2,6	4,1	17,4	202,1	1722,3	1100,7	256,9
35-100	23,5	2,8	4,4	18,5	196,1	1669,8	1050,6	248,4
35-200	22,4	2,3	3,9	17,7	268,7	2602,8	1568,2	338,2
<b>p</b>	0,64 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>	0,86 <sup>ns</sup>
<b>R<sup>2</sup></b>	0,37	0,36	0,57	0,78	0,44	0,46	0,38	0,22

184 ns = não significativos a 5% de probabilidade pelos testes de regressão polinomial e de primeiro e segundo  
185 graus.

186



187

188 **Figura 2.** Concentração foliar (A) e eficiência de uso (EU) para Mg (B) em mudas de *A.*  
 189 *colubrina* aos 210 DAS, com o acréscimo de doses de biochar no substrato.

190

191 Observando as concentrações de Mg no solo e sua faixa de suficiência no tecido  
 192 vegetal (Tabela 1 e Figura 2A) verifica-se que as mesmas estão acima dos níveis críticos para  
 193 essa espécie, que variam de 0,2 a 0,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> no solo, e de 1,7 a 1,9 g Kg<sup>-1</sup> na planta  
 194 (Gonçalves et al., 2012), o que garante o seu desenvolvimento adequado. A redução da  
 195 eficiência de uso desse nutriente deve-se ao aumento da absorção de Mg promovido pela  
 196 aplicação de biochar que não se reflete no aumento da produção de biomassa.

197 O aumento da concentração foliar de Mg observada com o uso de biochar demonstra  
 198 sua interferência nas características do solo, como o aumento da CTC e redução da acidez,  
 199 além de favorecer a absorção de nutrientes pela planta (Carvalho et al., 2014; Glaser et al.,  
 200 2002; Lehmann, 2007). Considerando que os efeitos do biochar nos solos podem ser  
 201 observados ao longo do tempo devido a sua lenta decomponibilidade, seu uso em sistemas de  
 202 curto prazo, como produção de mudas, pode apresentar melhores resultados quando o produto  
 203 é submetido a algum processo de ativação (Spokas e Reicosky, 2009).

204 No presente estudo não foi realizada a ativação do biochar, mas o armazenamento do  
 205 mesmo foi susceptível a eventos de chuvas frequentes, o que pode ter auxiliado a

206 desobstrução dos poros do biochar, como objetivado pelo processo de ativação, garantindo  
207 seu efeito de aumento na disponibilidade de alguns nutrientes presentes nos substratos, como  
208 o Mg. Também é possível observar que o aumento na concentração de nutrientes nas plantas  
209 nem sempre é refletido em resultado para a qualidade da mesma, visto que nesse caso, o  
210 aumento da concentração não está associado ao aumento da eficiência de uso do nutriente.

211 Apesar das respostas do angico à adubação serem naturalmente baixas em relação ao  
212 crescimento aéreo e radicular e as características nutricionais, a espécie apresentou boa  
213 resposta em termos de qualidade, revelando forte potencial para melhoria da sobrevivência em  
214 condições extremas de campo, como recuperação de áreas degradadas. Ao mesmo tempo  
215 esses resultados revelam o quanto às análises de crescimento ou de nutrição sem considerar a  
216 qualidade das mudas (ex. IQD) não exprimem os efeitos reais de desempenho das espécies.

217

#### 218 **Interação entre biochar e nitrogênio para mudas de eucalipto**

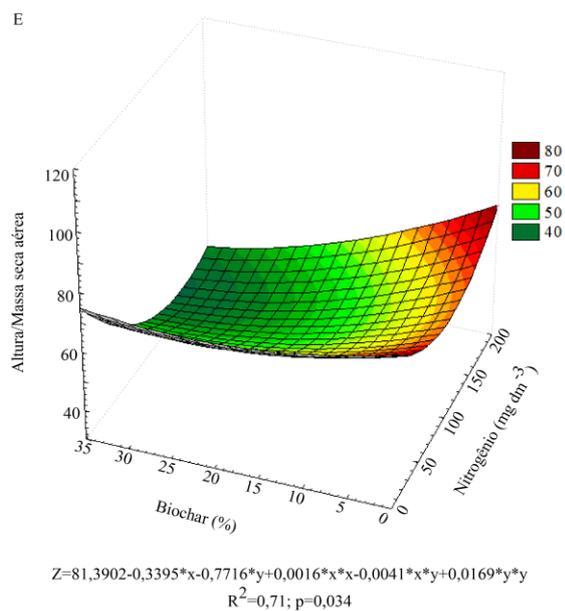
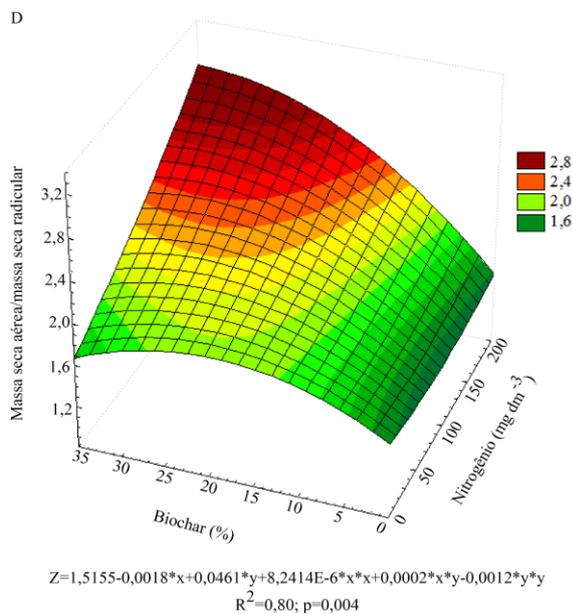
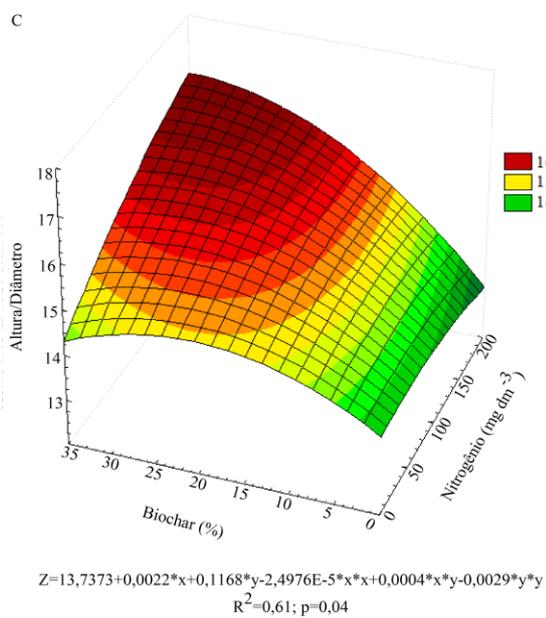
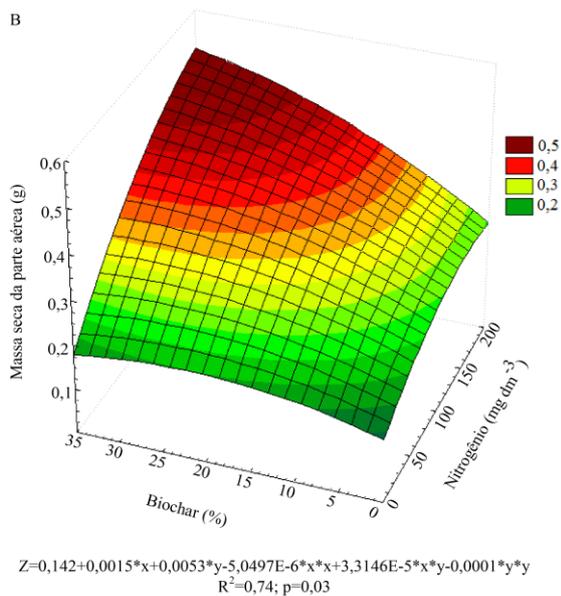
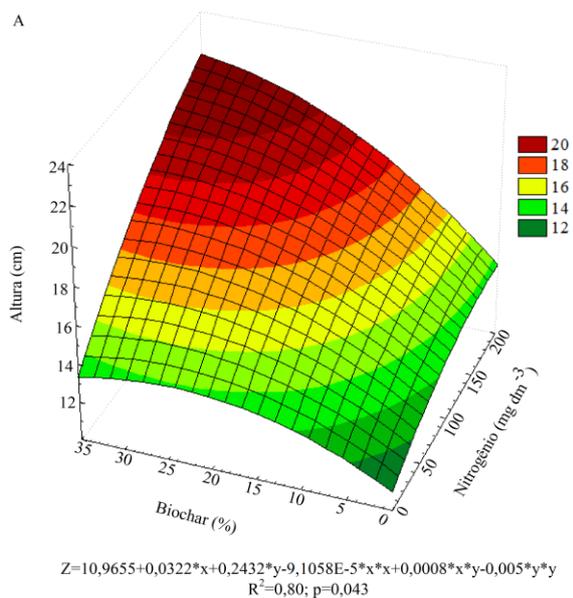
219 Em relação às mudas de eucalipto, a altura e a massa seca da parte aérea foram os  
220 únicos parâmetros de crescimento que apresentaram diferenças significativas entre os  
221 tratamentos (Tabela 4 e Figura 3). A interação entre doses crescentes de BC e N promoveu  
222 um incremento médio de 76% (9,5 cm) em altura e 125% (0,26 g) em massa seca aérea em  
223 comparação com a testemunha (Figuras 3A e B). Ainda, quando se analisa os tratamentos  
224 com N e biochar de forma isolada tanto a massa seca quanto a altura das plantas apresentaram  
225 uma resposta menor do que na interação. Esses resultados mostram a importância da interação  
226 entre biochar e N para o manejo da adubação nitrogenada na produção de mudas de eucalipto.  
227 Esse resultado pode estar relacionado com a concentração de P no BC (Tabela 1), visto que  
228 esse poderia ser o nutriente limitante no substrato base.

229

230 **Tabela 4.** Valores médios para diâmetro (D), massa seca radicular (MSR), massa seca total  
 231 (MST), e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas de *E. urograndis* 120 DAS com a  
 232 combinação de doses de biochar (BC) e nitrogênio (N).

BC x N	D (mm)	MSR (g)	MST (g)	IQD
<b>0-0</b>	0,93	0,13	0,34	0,02
<b>0-50</b>	0,91	0,17	0,44	0,03
<b>0-100</b>	1,08	0,19	0,52	0,03
<b>0-200</b>	0,84	0,08	0,17	0,01
<b>5-0</b>	0,82	0,08	0,18	0,01
<b>5-50</b>	0,73	0,07	0,17	0,01
<b>5-100</b>	1,14	0,19	0,51	0,03
<b>5-200</b>	1,14	0,20	0,51	0,03
<b>10-0</b>	0,85	0,10	0,29	0,02
<b>10-50</b>	0,92	0,11	0,33	0,02
<b>10-100</b>	1,00	0,14	0,41	0,02
<b>10-200</b>	1,34	0,20	0,73	0,04
<b>20-0</b>	0,95	0,10	0,31	0,02
<b>20-50</b>	1,06	0,14	0,46	0,03
<b>20-100</b>	1,12	0,17	0,51	0,03
<b>20-200</b>	1,25	0,17	0,68	0,04
<b>35-0</b>	0,95	0,11	0,30	0,02
<b>35-50</b>	1,02	0,17	0,46	0,03
<b>35-100</b>	1,26	0,20	0,63	0,03
<b>35-200</b>	1,28	0,16	0,63	0,03
<b>p</b>	0,42 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>
<b>R<sup>2</sup></b>	0,65	0,44	0,61	0,48

233 ns = não significativos a 5% de probabilidade pelos testes de regressão polinomial e de primeiro e segundo  
 234 graus.  
 235



237 **Figura 3.** Altura (A), massa seca da parte aérea (B), relação entre altura e diâmetro (C),  
238 relação entre massa seca da parte aérea e massa seca radicular (D) e relação entre altura e  
239 massa seca da parte aérea (E) de mudas de *E. urograndis* aos 120 DAS, com a combinação de  
240 doses de biochar e nitrogênio.

241  
242 Para a qualidade das mudas de eucalipto, as relações H/D, H/MSA e MSPA/MSR  
243 foram os únicos parâmetros influenciados pelos tratamentos (Tabela 4 e Figura 3C, D e E).  
244 Para a relação H/D as interações entre as menores doses de BC e doses crescentes de N  
245 apresentaram resultados mais próximos do ideal indicado por Birchler et al. (1998), segundo  
246 os quais valores menores que 10 determinam mudas com maior qualidade (Figura 3C). As  
247 interações entre as menores doses de BC e doses crescentes de N promoveram também maior  
248 qualidade das mudas pela relação MSPA/MSR (Figura 3D), considerando que a maior  
249 qualidade nesse parâmetro é verificada com valores menores que dois (Birchler et al., 1998).  
250 Quando adicionado em maiores doses, o biochar em conjunto com N aumenta os resultados  
251 desses parâmetros, ocasionando desequilíbrio nas características alométricas das plantas.

252 Para a relação H/MSPA a interação entre maiores doses de biochar e N promoveu  
253 mudas de maior qualidade (Figura 3E), considerando que mudas com menores valores para a  
254 relação H/MSPA possuem maiores chances de sobrevivência em campo, devido a maior  
255 lignificação (Gomes et al., 2002). Essa relação não é de comum uso para avaliar a qualidade  
256 de mudas, mas segundo Gomes et al. (2002) e Caldeira et al. (2013) é um índice que expressa  
257 o potencial de sobrevivência em campo e deve ser considerado para avaliar o padrão de  
258 qualidade da planta. O uso isolado de biochar ou N não promove maior qualidade das mudas  
259 de eucalipto em nenhum dos parâmetros avaliados o que ressalta a sinergia de ação entre os  
260 dois produtos.

261 Para o eucalipto, ao contrário do angico, os resultados encontrados para os valores de  
262 altura e a massa seca da parte aérea corroboram com a hipótese de melhor desempenho das

263 plantas com o uso de biochar e N, sendo que o mesmo é observado para a qualidade das  
264 mudas. Considerando que mudas com uma relação altura e diâmetro ideal (Dutra et al., 2013)  
265 e uma adequada relação entre as partes aérea e radicular (Binotto et al., 2010) são adequadas  
266 quando submetidas a condições de campo, o uso de biochar pode ser alternativa para a  
267 produção de mudas mais aptas ao transplântio.

268         As mudas de eucalipto produzidas com a aplicação de doses baixas de biochar com  
269 doses crescentes de N apresentaram menor estiolamento e maior crescimento radicular, o que  
270 diminui mortalidade por condições climáticas como chuvas e ventos, e garante suprimento de  
271 água e nutrientes em condições de campo (Fernandes, 2006). Essas características são  
272 essenciais, principalmente em condições de reflorestamento em ambientes abertos e regiões  
273 com condições de baixa fertilidade dos solos e períodos prolongados de seca.

274         Também se observa que plantas submetidas às maiores doses de biochar e N em  
275 conjunto produzem maior biomassa foliar em decorrência de menor diâmetro e menor  
276 biomassa radicular, o que prejudica seu desenvolvimento devido à falta de assimetria entre as  
277 relações alométricas (Artur et al., 2007). A maior disponibilidade de N, através do acréscimo  
278 das doses do fertilizante, com doses de biochar, que auxilia na disponibilidade de outros  
279 nutrientes, favorece a absorção pela planta sem a necessidade de investimento em sistema  
280 radicular (Fernandes, 2006), o que promove um desequilíbrio na relação biomassa aérea e  
281 radicular, sendo prejudicial para a sobrevivência da muda em condições de campo.

282         A concentração foliar e eficiência de uso dos nutrientes nas mudas de eucalipto  
283 apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos apenas para o P, Ca e Mg (Tabela  
284 5 e Figura 4). A concentração foliar de P foi maior nas mudas produzidas com maiores doses  
285 de biochar em conjunto com doses baixa de N, apresentando um incremento de 171% (1,97 g  
286 Kg<sup>-1</sup>) quando comparado ao substrato testemunha (Figura 4A). Enquanto para a eficiência de

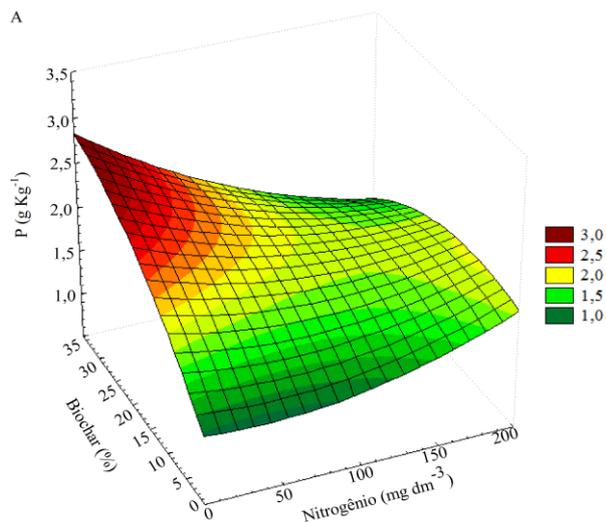
287 uso do P observam-se melhores resultados conforme o aumento das concentrações de biochar  
 288 e N, com um acréscimo médio de 65% (EUN=127,5) (Figura 4B).

289

290 **Tabela 5.** Valores médios para as concentrações foliares e eficiência de uso (EU) de N e K  
 291 em mudas de *E. urograndis* 120 DAS com a combinação de doses de biochar (BC) e  
 292 nitrogênio (N).

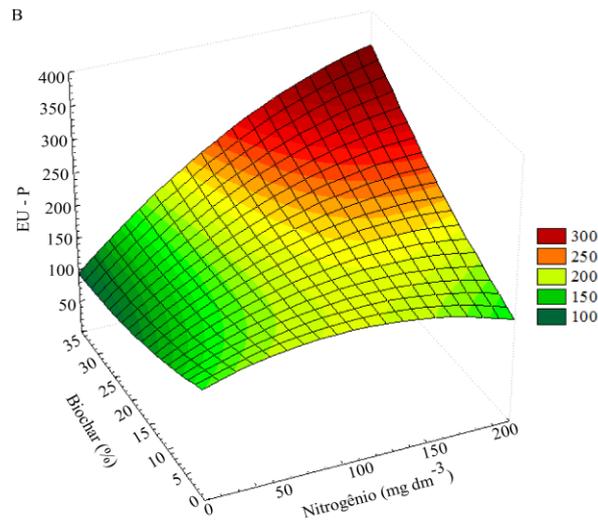
BC x N	N	K	EU N	EU K
	-- g Kg <sup>-1</sup> --			
<b>0-0</b>	7,34	5,07	29,3	45,8
<b>0-50</b>	7,11	5,47	38,4	49,3
<b>0-100</b>	10,01	6,07	32,5	53,7
<b>0-200</b>	10,47	4,60	9,2	22,6
<b>5-0</b>	9,91	3,40	10,0	29,1
<b>5-50</b>	10,34	4,13	9,9	24,9
<b>5-100</b>	8,03	4,40	39,5	73,3
<b>5-200</b>	8,63	8,60	36,6	36,6
<b>10-0</b>	8,28	4,87	23,2	40,5
<b>10-50</b>	7,67	7,20	28,4	30,9
<b>10-100</b>	7,79	4,47	35,7	62,7
<b>10-200</b>	7,80	4,20	68,5	129,2
<b>20-0</b>	7,78	6,47	26,9	38,0
<b>20-50</b>	7,22	7,13	43,0	43,6
<b>20-100</b>	7,32	4,00	46,8	88,1
<b>20-200</b>	9,41	4,73	56,3	108,1
<b>35-0</b>	7,68	9,07	25,3	21,6
<b>35-50</b>	7,23	8,40	41,0	35,0
<b>35-100</b>	7,46	8,47	57,9	51,5
<b>35-200</b>	9,71	10,80	48,8	43,9
<b>p</b>	0,53 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>
<b>R<sup>2</sup></b>	0,34	0,45	0,55	0,42

293 ns = não significativos a 5% de probabilidade pelos testes de regressão polinomial e de primeiro e segundo  
 294 graus.



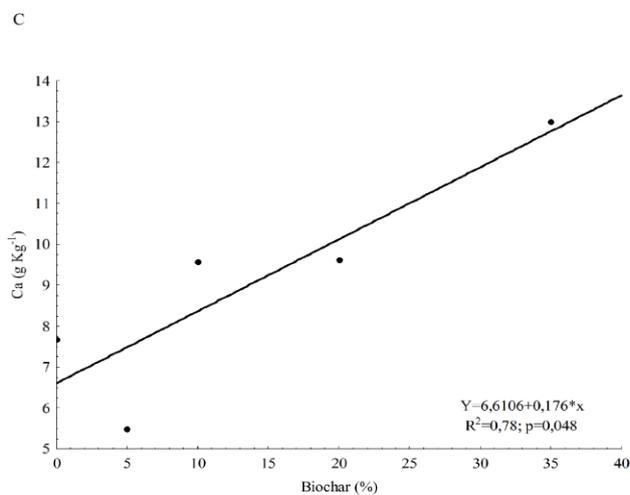
$$Z=1,2717-0,0016*x+0,0769*y+2,1851E-5*x*x-0,0003*x*y-0,0009*y*y$$

$R^2=0,67; p=0,014$



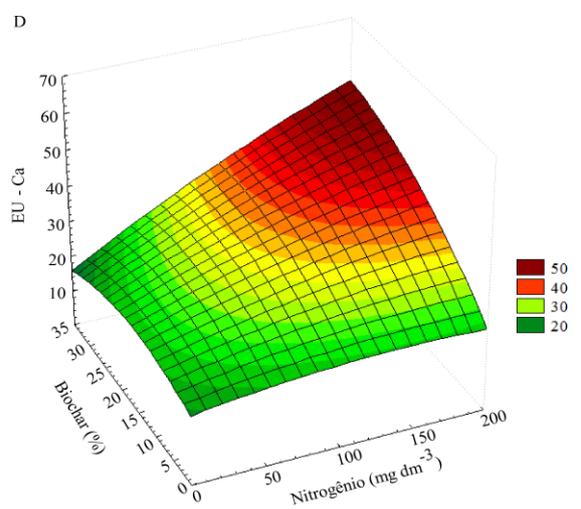
$$Z=151,1385+0,9767*x-4,8024*y-0,0047*x*x+0,0422*x*y+0,0527*y*y$$

$R^2=0,60; p=0,016$



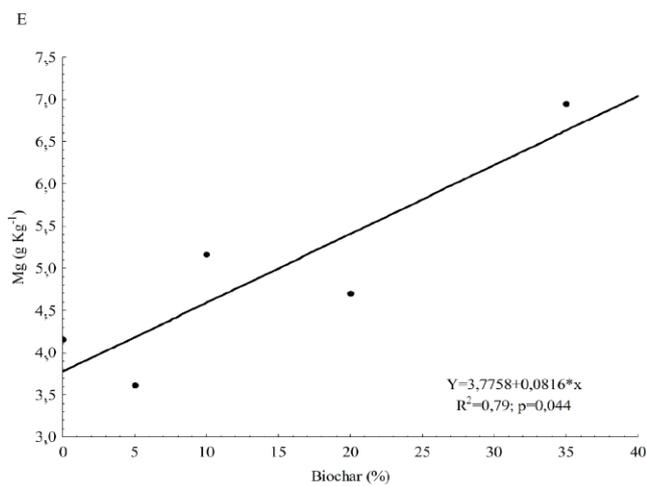
$$Y=6,6106+0,176*x$$

$R^2=0,78; p=0,048$



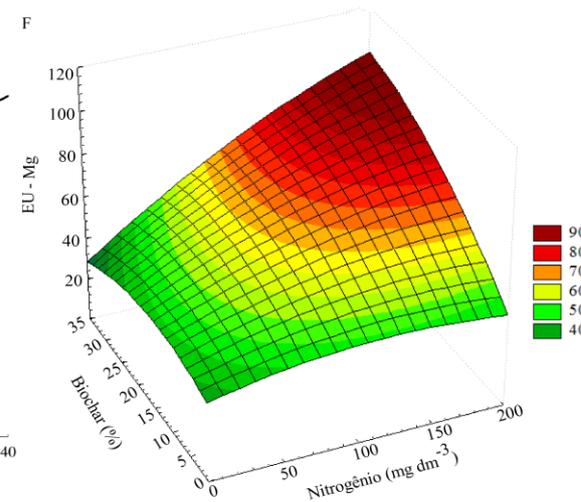
$$Z=19,4556+0,0575*x+0,4907*y-0,0002*x*x+0,0047*x*y-0,017*y*y$$

$R^2=0,58; p=0,043$



$$Y=3,7758+0,0816*x$$

$R^2=0,79; p=0,044$



$$Z=37,4043+0,1564*x+0,8055*y-0,0006*x*x+0,0093*x*y-0,0305*y*y$$

$R^2=0,61; p=0,028$

296 **Figura 4.** Concentração foliar (A) e eficiência de uso de P (B) em mudas de *E. urograndis*  
297 aos 120 DAS com a combinação de doses de biochar e nitrogênio. Concentração foliar de Ca  
298 (C) com o acréscimo de doses de biochar no substrato, e eficiência de uso (EU) de Ca (D)  
299 com a combinação de doses de biochar e nitrogênio em mudas de *E. urograndis* aos 120  
300 DAS. Concentração foliar de Mg (E) com o acréscimo de doses de biochar no substrato, e  
301 eficiência de uso (EU) de Mg (F) com a combinação de doses de biochar e nitrogênio em  
302 mudas de *E. urograndis* aos 120 DAS.

303

304 Para a concentração foliar de Ca e Mg, houve influência da adição isolada de biochar  
305 nos substratos, com um acréscimo de 23% ( $1,76 \text{ g Kg}^{-1}$ ) e 20% ( $0,82 \text{ g Kg}^{-1}$ ),  
306 respectivamente, a cada 10% de biochar adicionados ao substrato (Figura 4C e E). Com isso,  
307 a concentração máxima de biochar utilizada (35%) foi responsável por um aumento,  
308 aproximado, de 90% e 70% nas concentrações foliares de Ca e Mg, respectivamente.  
309 Enquanto observa-se um aumento na eficiência de uso desses nutrientes conforme o aumento  
310 das concentrações de biochar e N usadas em conjunto, com um acréscimo médio de 39%  
311 (EUN=11,4) para Ca e 52% (EUN=28,3) para Mg, quando comparada com a testemunha  
312 (Figura 4D e F).

313 A avaliação nutricional das mudas de eucalipto mostrou resultados conforme o  
314 esperado, com diferenças de acordo com a aplicação de doses de biochar e N nos substratos.  
315 A adição de biochar nos substratos promoveu acúmulo dos nutrientes P, Ca e Mg no tecido  
316 foliar e ao mesmo tempo seu uso em conjunto com o N melhorou a eficiência de uso dos  
317 mesmos, visto que a maior concentração de nutrientes resultou em maior produção de  
318 biomassa aérea. Esse melhor desempenho da planta comprova o benefício da aplicação  
319 conjunta de BC e N para a garantia da qualidade das mudas e como potencial de maior  
320 sobrevivência em condições de plantio definitivo em práticas de restauração florestal.

321 As concentrações de P no solo estava abaixo do nível crítico para o eucalipto (Tabela  
322 1 e Figura 4A), que varia entre 27,4 e 44,6  $\text{mg dm}^{-3}$  (Silva et al., 2007), situação semelhante

323 foi observada para a faixa de suficiência do nutriente no tecido foliar que varia entre 1,5 e 2,2  
324  $\text{g Kg}^{-1}$  (Silveira et al., 2001). O alto teor desse nutriente no biochar (Tabela 1) pode justificar  
325 o acréscimo de sua concentração foliar nas plantas submetidas aos tratamentos com a  
326 aplicação do produto. Alguns estudos também discutem a ação do biochar como fornecedor  
327 de fósforo devido ao seu potencial de apresentar grande quantidade de P (Ma & Matsunaka,  
328 2013; Wang et al., 2012; Xu et al., 2014).

329 Considerando que esse nutriente apresenta níveis naturalmente baixos em solos  
330 tropicais e alta capacidade de fixação (Fageria, 2008; Pinto et al., 2011; Vilar et al., 2010), o  
331 aumento de sua disponibilidade promovida pelo uso de biochar é fundamental para garantir  
332 suprimento adequado do mesmo para o desenvolvimento das plantas em práticas de  
333 restauração florestal. Principalmente em relação a espécies como o eucalipto que apresentam  
334 crescimento limitado na ausência de teores adequados desse nutriente (Silveira et al., 2003).

335 Além disso, a adubação nitrogenada isoladamente pode não ter apresentado efeito  
336 devido à baixa disponibilidade de P no solo. Esse nutriente provavelmente estava limitando o  
337 desenvolvimento vegetal e com a adição de biochar, contendo P, a limitação promovida pela  
338 carência desse nutriente foi reduzida e, conseqüentemente, o N passou a ter efeito. Isso fica  
339 claro quando se observa o nível crítico de P e N e os seus teores nas folhas. E demonstra que  
340 um ajuste de adubação com P e com outros nutrientes limitantes pode demonstrar potenciais  
341 diversos do uso do biochar associado com fertilizantes para a produção de mudas e uso em  
342 campo para restauração florestal.

343 A concentração de Ca e Mg no solo e a faixa de suficiência dos mesmos no tecido  
344 foliar estavam dentro do nível crítico considerado para o eucalipto, que para o Ca varia de 10  
345 a  $20 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  no solo e  $8,0$  a  $12 \text{ g Kg}^{-1}$  na folha, e para o Mg varia de 5 a  $10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  no  
346 solo e  $3,0$  a  $3,5 \text{ g Kg}^{-1}$  na folha (Silveira et al., 2001). Entretanto o aumento da concentração  
347 dos mesmos promovida pelo biochar se refletiu em maior eficiência de uso, o que comprova

348 que a maior produção de mudas de eucalipto está relacionada com a maior absorção de  
349 nutrientes como P, Ca e Mg (Gava et al., 1997; Pinto et al., 2011).

350 Considerando as condições naturais de solos utilizados para as práticas de  
351 reflorestamento e a necessidade de diminuir os custos de produção, principalmente  
352 relacionados à adubação do solo, mudas mais eficientes para o uso dos nutrientes são  
353 certamente mais garantidas para o sucesso da atividade, especialmente nas condições  
354 restritivas de recuperação de áreas degradadas.

355 Em geral, o uso de biochar em conjunto com fertilizante nitrogenado afetou o  
356 desenvolvimento e a qualidade das mudas das diferentes espécies estudadas. O uso do produto  
357 em conjunto com materiais fontes de nutrientes são intensamente discutidos na literatura  
358 (Gaskin et al., 2010; Schulz & Glaser, 2012) e pode ser uma solução para a agricultura  
359 sustentável.

360 As maiores respostas no desenvolvimento vegetal com o uso do biochar em conjunto  
361 com um fertilizante pode favorecer a liberação lenta dos nutrientes. Característica  
362 fundamental, principalmente para nutrientes com alta mobilidade no solo, como o nitrogênio  
363 ( $\text{NO}_3^-$ ) (Clough et al., 2013; Spokas et al., 2012). Mas esse efeito precisa ser comprovado em  
364 sistemas como o do presente estudo, onde a situação de irrigação favorece as perdas de N, e  
365 necessita de aumento na eficiência do uso de fertilizantes nitrogenados para beneficiar o  
366 desenvolvimento vegetal e reduzir custos de produção.

367 A ação do biochar se dá através de alterações nas características do solo, como  
368 aumentos de pH, carbono orgânico, cátions trocáveis e capacidade de retenção hídrica  
369 (Chintala et al., 2013). Com isso, além de apresentar potencial de mitigar os problemas de  
370 fertilização nitrogenada, o uso de biochar pode ser uma alternativa em solos ácidos, com  
371 presença de óxidos de ferro e alumínio, que acarretam em baixa disponibilidade de nutrientes  
372 e aumentam a adsorção de fósforo, tornando o elemento pouco disponível para as plantas

373 (Vilar et al., 2010). A absorção de nutrientes pode ser ainda menor em sítios sujeitos a  
374 períodos de seca prolongados e de solos arenosos com baixa retenção hídrica (Abel et al.,  
375 2013), situações típicas de regiões tropicais.

376 Estudos realizados por Ogawa et al. (2006), Robertson et al. (2012) e Stavi (2013)  
377 defendem a ideia de que o uso de biochar pode promover benefícios para a gestão sustentável  
378 das práticas de florestamento e recuperação de áreas degradadas, principalmente quanto à  
379 adaptação as condições climáticas e disponibilidade de nutrientes. Esta condição fica evidente  
380 no presente trabalho, que demonstra as vantagens do biochar na melhoria da qualidade e  
381 eficiência de uso dos nutrientes das mudas. No entanto, o seu uso deve ser testado  
382 economicamente para se determinar a relação custo-benefício, visto que, em geral os maiores  
383 resultados foram observados com o aumento das doses de biochar.

384 Em geral, as adições isoladas de doses de nitrogênio e biochar ao substrato base não  
385 apresentaram efeito para o desenvolvimento vegetal das duas espécies arbóreas estudadas,  
386 comprovando a sinergia da interação entre ambos e demonstrando a forte ação do biochar  
387 como condicionante de substrato para a adubação nitrogenada. Mesmo com diferenças de  
388 resposta fisiológica das interações, os resultados sempre favoreceram a ação conjunta BC+N.

389 Esses menores resultados para a adição isolada de N podem estar relacionados à perda  
390 por volatilização, que aumenta em condições de solo saturado com água (Vitousek et al.,  
391 2009), uma vez que nesse estudo as mudas foram submetidas à irrigação diária. Considerando  
392 que existe maior eficiência na recuperação de N pelas plantas quando o mesmo é aplicado de  
393 forma parcelada (Andrade et al., 2014), o uso de biochar em conjunto com a adubação  
394 nitrogenada em diferentes épocas de aplicação de N pode ser uma alternativa para obtenção  
395 de melhores resultados para a produção vegetal.

396 Quanto ao biochar, por não ser fonte de nutrientes, sua adição isolada pode não  
397 favorecer o acréscimo do desenvolvimento vegetal, enquanto que a ação em conjunto com a

398 adição de nutrientes por uma fonte externa é benéfica graças a capacidade desse produto de  
399 reter água e nutrientes (Carvalho et al., 2014; Glaser et al., 2002; Lehmann, 2007), o que o  
400 torna mais eficiente quando adicionado juntamente com um fertilizante. Além disso, o  
401 potencial do biochar para a melhoria das condições nutricionais dos solos é variável conforme  
402 as características do produto, tipo de solo e períodos de avaliação (Mukherjee & Zimmerman,  
403 2013; Mukome et al., 2013).

404 O tipo de matéria prima e as formas de produção podem afetar as características  
405 químicas e físicas do biochar. Por exemplo, o biochar produzido em temperaturas mais altas  
406 apresenta menor capacidade condicionante de solo (Mukherjee & Zimmerman, 2013).  
407 Consequentemente, o método de pirólise possui grande influência sobre a mineralização e  
408 imobilização de nitrogênio no solo (Bruun et al., 2012). Por esse motivo, faz-se necessário  
409 identificar as características do solo e do biochar para utilizá-lo conforme cada condição e  
410 objetivo.

411

## 412 **Conclusões**

- 413 1. O uso de biochar e N não afeta o crescimento e a nutrição das mudas de angico.
- 414 2. A associação entre doses de biochar e N promove efeitos positivos sobre a qualidade  
415 das mudas de angico, revelando potencial de uso para produção de mudas de maior  
416 qualidade.
- 417 3. O uso do biochar em conjunto com N, nas condições testadas, mostrou-se sinérgico e  
418 muito eficiente para a produção de mudas de eucalipto de qualidade e mais aptas às  
419 condições adversas.
- 420 4. As melhores respostas do eucalipto em relação ao angico se devem provavelmente ao  
421 fato da primeira ser uma espécie exótica e menos tolerante aos solos distróficos do  
422 Cerrado, enquanto a segunda é uma espécie nativa já adaptada a tais condições.

423 5. O benefício potencial do biochar para a produção de mudas é especialmente desejado  
424 em situações mais extremas de baixa fertilidade dos solos e alta sazonalidade de  
425 chuvas, como para a recuperação de áreas degradadas do Bioma Cerrado ou transição  
426 Cerrado-Amazônia.

427

### 428 **Agradecimentos**

429 Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade do Estado de  
430 Mato Grosso-UNEMAT. À equipe de pesquisa do Laboratório de Ecologia Vegetal de Nova  
431 Xavantina-MT, Brasil. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico  
432 (CNPq) pelo auxílio financeiro ao Projeto Biochar (CNPq nº 575019/2008), coordenado por  
433 Ben Hur Marimon Junior. E a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior  
434 (CAPES) pelo apoio financeiro.

435

### 436 **Referências**

437 ABEL, S.; PETERS, A.; TRINKS, S.; SCHONSKY, H.; FACKLAM, M.; WESSOLEK, G.  
438 Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy  
439 soil. **Geoderma**, v.203, p.183-191, 2013.

440 ABRAF. **ABRAF statistical yearbook 2013 - base year 2012**. Brasília: ABRAF, 2013.  
441 148p.

442 ANDRADE, F.R.; PETTER, F.A.; NÓBREGA, J.C.A.; PACHECO, L.P.; ZUFFO, A.M.  
443 Desempenho agrônômico do milho a doses e épocas de aplicação de nitrogênio no Cerrado  
444 piauiense. **Revista de Ciências Agrárias**, v.57, p.358-366, 2014.

445 ARTUR, A. G.; CRUZ, M.C.P.; FERREIRA, M.E.; BARRETTO, V.C.M.; YAGI, R. Esterco  
446 bovino e calagem para formação de mudas de guanandi. **Pesquisa agropecuária brasileira**,  
447 v.42, p.843-850, 2007.

448 ATKINSON, C.J.; FITZGERALD, J.D; HIPPS, N.A. Potential mechanisms for achieving  
449 agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. **Plant and Soil**,  
450 v.337, p.1-18, 2010.

- 451 BEESLEY, L.; MORENO-JIMÉNEZ, E.; GOMEZ-EYLES, J.L.; HARRIS, E.; ROBINSON,  
452 B.; SIZMUR, T. A review of biochars' potential role in the remediation, revegetation and  
453 restoration of contaminated soils. **Environmental pollution**, v.159, p.3269-3282, 2011.
- 454 BINOTTO, A.F.; LÚCIO, A.D.C.; LOPES, S.J. Correlations between growth variables and  
455 the dickson quality index in forest seedlings. **Cerne**, v.16, p.457-464, 2010.
- 456 BIRCHLER, T.; ROSE, R.W.; ROYO, A.; PARDOS, M. La planta ideal: revision del  
457 concepto, parametros definitorios e implementacion practica. **Investigación Agraria.**  
458 **Sistemas y Recursos Forestales**, v.7, p.109-121, 1998.
- 459 BRUUN, E.W.; AMBUS, P.; EGSGAARD, H.; HAUGGAARD-NIELSEN, H. Effects of  
460 slow and fast pyrolysis biochar on soil C and N turnover dynamics. **Soil Biology and**  
461 **Biochemistry**, v.46, p.73-79, 2012.
- 462 CALDEIRA, M.V.; DELARMELINA, W.M.; PERONI, L.; GONÇALVEZ, E.O.; SILVA,  
463 A.G. Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto. **Pesquisa**  
464 **Agropecuária Tropical**, v.43, p.155-163, 2013.
- 465 CARVALHO, M.T.M.; MAIA, A.H.N.; MADARI, B.E.; BASTIAANS, L.; VAN OORT,  
466 P.A.J.; HEINEMANN, A.B.; SILVA, M.A.S.; PETTER, F.A.; MARIMON JR., B.H.;  
467 MEINKE, H. Biochar increases plant-available water in a sandy loam soil under an aerobic  
468 rice crop system. **Solid Earth**, v.5, p.939-952, 2014.
- 469 CASE, S.D.C.; MCNAMARA, N.P.; REAY, D.S.; WHITAKER, J. Can biochar reduce soil  
470 greenhouse gas emissions from a Miscanthus bioenergy crop? **Global Change Biology**  
471 **Bioenergy**, v.6, p.76-89, 2014.
- 472 CHAPIN, F.S. The mineral nutrition of wild plants. **Annual Review of Ecology and**  
473 **Systematics**, v.11, p.233-60,1980.
- 474 CHINTALA, R.; MOLLINEDO, J.; SCHUMACHER, T.E.; MALO, D.D.; JULSON, J.L.  
475 Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. **Archives of Agronomy and Soil**  
476 **Science**, v.60, p.01-12, 2013.
- 477 CLOUGH, T.; CONDRON, L.; KAMMANN, C.; MÜLLER, C. A review of biochar and soil  
478 nitrogen dynamics. **Agronomy**, v.3, p.275-293, 2013.
- 479 DICKSON, A.; LEAF, A.L.; HOSNER, J.F. Quality appraisal of white spruce and white pine  
480 seedling stock in nurseries. **Forestry chronicle**, v.36, p.10-13, 1960.
- 481 DING, Y.; LIU, Y.-X.; WU, W.-X.; SHI, D.-Z.; YANG, M.; ZHONG, Z.-K. Evaluation of  
482 biochar effects on nitrogen retention and leaching in multi-layered soil columns. **Water, Air,**  
483 **& Soil Pollution**, v.213, p.47-55, 2010.

- 484 DUTRA, T.R.; MASSAD, M.D.; SARMENTO, M.F.Q.; OLIVEIRA, J.C. Substratos  
485 alternativos e métodos de quebra de dormência para produção de mudas de canafístula.  
486 **Revista Ceres**, v.60, p.072-078, 2013.
- 487 EMBRAPA SOLOS. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**.  
488 Brasília: Embrapa, 1999, 370p.
- 489 FAGERIA, N.K. **The use of nutrients in crop plants**. New York: CRC Press, 2008. 428p.
- 490 FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência  
491 do Solo (SBCS), 2006, 432p.
- 492 GASKIN, J.W.; SPEIR, R.A.; HARRIS, K.; DAS, K.C.; LEE, R.D.; MORRIS, L.A.;  
493 FISHER, D.S. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient  
494 status, and yield. **Agronomy Journal**, v.102, p.623-633, 2010.
- 495 GAVA, J.L.; GONÇALVES, J.L.M.; SHIBATA, F.Y.; CORRADINI, L. Eficiência relativa  
496 de fertilizantes fosfatados no crescimento inicial de eucalipto cultivado em solos do cerrado.  
497 **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.497-504, 1997.
- 498 GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of  
499 highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. **Biology and Fertility of Soils**,  
500 v.35, p.219-230, 2002.
- 501 GOMES, J.M.; COUTO, L.; LEITE, H.G.; XAVIER, A.; GARCIA, S.L.R. Parâmetros  
502 morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**,  
503 v.26, p.655-664, 2002.
- 504 GONÇALVES, E.O.; PAIVA, H.N.; NEVES, J.C.L.; GOMES, J.M. Nutrição de mudas de  
505 angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) submetidas a doses de N, P,  
506 K, Ca e Mg. **Revista Árvore**, v.36, p.219-228, 2012.
- 507 JEFFERY, S.; VERHEIJEN, F.G.A., BASTOS, A.C.; VAN DER VELDE, M. A comment on  
508 “Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis”: on the  
509 importance of accurate reporting in supporting a fast-moving research field with policy  
510 implications. **Global Change Biology Bioenergy**, v.6, p.176-179, 2013.
- 511 LEHMANN, J. Bio-energy in the black. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v.5,  
512 p.381-387, 2007.
- 513 LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. Bio-char Sequestration in terrestrial ecosystems  
514 – a review. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v.11, p.403-427,  
515 2006.

- 516 LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas**  
517 **nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 2008. 368p.
- 518 MA, Y.L.; MATSUNAKA, T. Biochar derived from dairy cattle carcasses as an alternative  
519 source of phosphorus and amendment for soil acidity. **Soil Science and Plant Nutrition**,  
520 v.59, p.628-641, 2013.
- 521 MAJOR, J.; RONDON, M.; MOLINA, D.; RIHA, S.J.; LEHMANN, J. Maize yield and  
522 nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. **Plant and**  
523 **Soil**, v.333, p.117-128, 2010.
- 524 MORIM, M.P. **Anadenanthera in Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do  
525 Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB18071>>.  
526 Acesso em: 09 Mar. 2015.
- 527 MUKHERJEE, A.; ZIMMERMAN, A.R. Organic carbon and nutrient release from a range of  
528 laboratory-produced biochars and biochar–soil mixtures. **Geoderma**, v.194, p.122-130, 2013.
- 529 MUKOME, F.N.D.; ZHANG, X.; SILVA, L.C.R.; SIX, J.; PARIKH, S.J. Use of chemical  
530 and physical characteristics to investigate trends in biochar feedstocks. **Journal of**  
531 **agricultural and food chemistry**, v.61, p.2196-2204, 2013.
- 532 NELISSEN, V.; SAHA, B.K.; RUYSSCHAERT, G.; BOECKX, P. Effect of different biochar  
533 and fertilizer types on N<sub>2</sub>O and NO emissions. **Soil Biology and Biochemistry**, v.70, p.244-  
534 255, 2014.
- 535 OGAWA, M.; OKIMORI, Y.; TAKAHASHI, F. Carbon sequestration by carbonization of  
536 biomass and forestation: three case studies. **Mitigation and Adaptation Strategies for**  
537 **Global Change**, v.11, p.429-444, 2006.
- 538 PINTO, S.I.C.; FURTINI NETO, A.E.; NEVES, J.C.L.; FAQUIN, V.; MORETTI, B.S.  
539 Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução  
540 nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.523-533, 2011.
- 541 REATTO, A.; CORREIA, J.R.; SPERA, S.T. Solos do bioma Cerrado: aspectos pedológicos.  
542 In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, DF:  
543 Embrapa-CPAC, 1998. p.47-88.
- 544 ROBERTSON, S.J.; RUTHERFORD, P.M.; LÓPEZ-GUTIÉRREZ, J.C.; MASSICOTTE,  
545 H.B. Biochar enhances seedling growth and alters root symbioses and properties of sub-boreal  
546 forest soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v.92, p.329-340, 2012.

- 547 SANTOS, D.R.; COSTA, M.C.S.; MIRANDA, J.R.P.; SANTOS, R.V. Micorriza e rizóbio no  
548 crescimento e nutrição em N e P de mudas de angico-vermelho. **Caatinga**, v.21, p.76-82,  
549 2008.
- 550 SCHULZ, H.; GLASER, B. Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers  
551 on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. **Journal of Plant Nutrition and**  
552 **Soil Science**, v.175. p.410-422, 2012.
- 553 SILVA, C.A.; RANGEL, O.J.P.; BELIZÁRIO, M.H. Interação calagem-adubação fosfatada e  
554 sua influência nos níveis críticos de P e crescimento do eucalipto. **Scientia Forestalis**, n.73,  
555 p.63-72, 2007.
- 556 SILVA, F.A.M.; ASSAD, E.D.; EVANGELISTA, B.A. Caracterização climática do Bioma  
557 Cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F. (Ed.). **Cerrado: ecologia e flora**.  
558 Planaltina: Embrapa, 2008. p.69-88.
- 559 SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; SGARBI, F.; MUNIZ, M.R.A. **Seja o doutor de seu**  
560 **eucalipto: Nutrição e Adubação**. Piracicaba: Potafos, 2001. 23 p.
- 561 SILVEIRA, R.L.V.A.; LUCA, E.F.; SILVEIRA, L.V.A.; LUZ, H.F. Matéria seca,  
562 concentração e acúmulo de nutrientes em mudas de *Eucalyptus grandis* em função da idade.  
563 **Scientia Forestalis**, n.64, p.136-149, 2003.
- 564 SPOKAS, K.A.; NOVAK, J.M.; VENTEREA, R.T. Biochar's role as an alternative N-  
565 fertilizer: ammonia capture. **Plant and Soil**, v.350, p.35-42, 2012.
- 566 SPOKAS, K.A.; REICOSKY, D.C. Impacts of sixteen Different biochars on soil greenhouse  
567 gas production. **Annals of Environmental Science**, v.3, p.179-193, 2009.
- 568 STAVI, I. Biochar use in forestry and tree-based agro-ecosystems for increasing climate  
569 change mitigation and adaptation. **International Journal of Sustainable Development &**  
570 **World Ecology**, v.20, p.166-181, 2013.
- 571 SUGAI, M.A.A.; COLLIER, L.S.; SAGGIN-JÚNIOR, O.J. Inoculação micorrízica no  
572 crescimento de mudas de angico em solo de cerrado. **Bragantia**, v.70, p.416-423, 2011.
- 573 VAN ZWIETEN, L.; KIMBER, S.; MORRIS, S.; CHAN, K.Y.; DOWNIE, A.; RUST, J.;  
574 JOSEPH, S.; COWIE, A. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on  
575 agronomic performance and soil fertility. **Plant Soil**, v.327, p.235-246, 2010.
- 576 VILAR, C.C.; COSTA, A.C.S.; HOEPERS, A.; SOUZA JUNIOR, I.G. Capacidade máxima  
577 de adsorção de fósforo relacionada a formas de ferro e alumínio em solos subtropicais.  
578 **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1059-1068, 2010.

579 VITOUSEK, P.M.; NAYLOR, R.; CREWS, T.; DAVID, M.B.; DRINKWATER, L.E.;  
580 HOLLAND, E.; JOHNES, P.J.; KATZENBERGER, J.; MARTINELLI, L.A.; MATSON,  
581 P.A.; NZIGUHEBA, G.; OJIMA, D.; PALM, C.A.; ROBERTSON, G.P.; SANCHEZ, P.A.;  
582 TOWNSEND, A.R.; ZHANG, F.S. Nutrient imbalances in agricultural development. **Science**,  
583 v.324, p.1519-1520, 2009.

584 WANG, T.; CAMPS-ARBESTAIN, M.; HEDLEY, M.; BISHOP, P. Predicting phosphorus  
585 bioavailability from high-ash biochars. **Plant and Soil**, v.357. p.173-187, 2012.

586 XU, G.; SUN, J.; SHAO, H.; CHANG, S.X. Biochar had effects on phosphorus sorption and  
587 desorption in three soils with differing acidity. *Ecological Engineering*, v.62, p.54-60, 2014.

588

589

590

591

592

593

594

595

596

597

598

599

600

601

602

603

604

605

606

607

608

609

610

611

## **CAPÍTULO II**

### **BIOCHAR PODE BENEFICIAR O MANEJO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA PARA PRODUÇÃO DE MUDAS PARA REFLORESTAMENTO?**

Revista para submissão:

Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira

ISSN 1678-3921

1 **Biochar pode beneficiar o manejo da adubação fosfatada para produção de mudas para**  
2 **reflorestamento?**

3  
4 **Resumo** \_ Este trabalho tem como objetivo testar a hipótese de que o biochar adicionado ao  
5 substrato com um fertilizante fosfatado apresenta potencial para melhorar a produção de  
6 mudas em viveiros. O experimento foi desenvolvido em viveiro florestal entre maio e  
7 dezembro de 2013. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com interações  
8 entre concentrações de biochar e de P como Super Fosfato Simples, adicionadas em um  
9 Latossolo Amarelo. Foram verificados os parâmetros de crescimento, qualidade e nutrição das  
10 mudas, cujos resultados foram submetidos ao estudo de regressão polinomial (superfície de  
11 resposta). As mudas de angico submetidas à aplicação de biochar e P mostraram incremento  
12 em qualidade, concentração de Ca e eficiência de uso de K e Ca. E para as mudas de eucalipto  
13 houve incremento no crescimento e qualidade com a adição de fósforo nos substratos. O uso  
14 do biochar apresenta potencial de uso em práticas de recuperação de áreas degradadas, em  
15 condições de baixa fertilidade natural dos solos e seca prolongada. A avaliação de novos  
16 arranjos de adubação com a aplicação conjunta de biochar faz-se necessária para garantir seu  
17 efeito potencial na melhoria da qualidade de mudas, principalmente em espécies mais  
18 exigentes nutricionalmente.

19 Termos para indexação: restauração florestal, produção de mudas, *Anadenanthera colubrina*,  
20 *Eucalyptus urograndis*, substrato

21

22 **Biochar can benefit the management of phosphorus fertilization to produce seedlings for**  
23 **reforestation?**

24

25 **Abstract** \_ This study tests the hypothesis that biochar added to the substrate with a phosphate  
26 fertilizer has the potential for improving the production of seedlings in nurseries. The  
27 experiment was conducted in forest nursery between May and December 2013. The design  
28 was completely randomized with interactions between concentrations biochar and of P as  
29 superphosphate, added in Oxisol. It was observed growth patterns, quality and plant nutrition  
30 which results were submitted to the study of polynomial regression (response surface). The  
31 use of biochar in conjunction to P promoted an increase in quality, concentration of Ca and  
32 efficiency of use of K and Ca in the seedlings of angico. While for the seedlings of eucalyptus  
33 there was an increase in the growth and quality with the addiction of phosphorus on the

34 substrates. The use of biochar presents potential in degraded areas recovery practices in low  
35 natural soil fertility and prolonged drought conditions. The evaluation of new fertilizer  
36 arrangements with the joint application of biochar is necessary to ensure its potential effect on  
37 improving the quality of seedlings, especially in more demanding species nutritionally.

38 **Index terms:** forest restoration, production of seedlings, *Anadenanthera colubrina*,  
39 *Eucalyptus urograndis*, substrate

40

41

## Introdução

42 As atividades florestais em regiões dos trópicos tem se expandido em solos distróficos,  
43 geralmente álicos e com alta capacidade de fixação do fósforo (P) (Pinto et al., 2011). O P é  
44 considerado um dos nutrientes essenciais para o desenvolvimento vegetal por estar  
45 intimamente relacionado a processos metabólicos, como fotossíntese e respiração, assim, sua  
46 indisponibilidade nos solos ocasiona problemas nutricionais nas plantas com efeitos diretos  
47 no seu crescimento (Chapin et al., 2012) e no desempenho das atividades florestais.

48 O nível desse nutriente nos solos tropicais, que em condições naturais já é baixo, pode  
49 ser agravado por alguns fatores como sua alta imobilidade, principalmente em solos ácidos, e  
50 perdas por erosão do solo (Fageria, 2008). Essas características do P em solos tropicais  
51 dificultam as práticas de reflorestamento, visto que esse elemento está entre os que mais  
52 limitam o crescimento de espécies arbóreas nativas (Renó et al., 1997), como *Anadenanthera*  
53 *colubrina* (Vell.) Brenan que são fundamentais em recuperação de áreas degradadas e  
54 conservação da biodiversidade (Gonçalves et al., 2012), e exóticas, como o eucalipto (Silveira  
55 et al., 2003) uma das principais espécies plantadas em práticas de restauração florestal  
56 (ABRAF, 2013).

57 Estas condições exigem a adição de P nos solos e substratos para uma produção  
58 vegetal adequada e o melhor desempenho das atividades florestais em regiões dos trópicos,  
59 tornando os sistemas de produção cada vez mais dependentes dos fertilizantes fosfatados  
60 oriundos de fontes não renováveis (Cordell et al., 2009; Vassilev et al., 2013).

61 Por outro lado, a intensa aplicação de fertilizantes fosfatados para garantir a nutrição  
62 vegetal provoca a eutrofização das águas e a contaminação dos solos, o que tem como  
63 consequências impactos negativos no meio ambiente e na biodiversidade (Smil, 2000;  
64 Vassilev et al., 2013). Em função destas características peculiares ao P é essencial buscar  
65 alternativas para garantir seu uso eficiente (Cordell et al., 2009; Schröder et al., 2011), sendo  
66 necessário considerar a prevenção da poluição ambiental, a produção de fertilizantes de fontes  
67 renováveis e a maior segurança quanto disponibilidade e preços do produto (Cordell et al.,  
68 2011).

69 Nesse contexto, o uso de biochar pode ser uma alternativa para aumentar a eficiência  
70 de uso de P (Farrell et al., 2014; Qian et al., 2013) e assim contribuir para o melhor manejo e  
71 utilização sustentável e eficiente deste elemento, principalmente em condições de restauração  
72 florestal nos trópicos. Segundo Deluca et al. (2009), o uso do biochar pode afetar o ciclo do  
73 fósforo por meio de diferentes mecanismos, como fonte direta de fósforo, modificador de pH  
74 do solo, ou promovedor da atividade microbiana e mineralização de P. O biochar também  
75 pode ser adequado como fertilizante de liberação lenta de P (Ngo et al., 2013; Wang et al.,  
76 2014), apresentando com isso, elevado potencial para o manejo do elemento em substratos e  
77 solos de baixa fertilidade ou degradados (Morales et al., 2013).

78 A capacidade do biochar de promover alterações nas características do solo e  
79 substratos, como aumentos de pH, carbono orgânico, cátions trocáveis e capacidade de  
80 retenção hídrica (Carvalho et al., 2014; Laird et al., 2010; Sparrevik et al., 2013) é  
81 fundamental para as condições dos trópicos, região com condições de baixa fertilidade dos  
82 solos e períodos longos de estresse hídrico e desagregação no período chuvoso. E pode  
83 contribuir para técnicas de produção de mudas que garantam melhor qualidade e maiores  
84 taxas de sobrevivência em campo, premissa fundamental para o sucesso de práticas de  
85 restauração florestal nas regiões tropicais.

86 Considerando a necessidade de encontrar alternativas que aumentem a eficiência da  
87 utilização de fósforo nos sistemas solo-planta para a produção de mudas e melhor  
88 desenvolvimento de atividades de restauração florestal, esse estudo tem como objetivo testar a  
89 hipótese de que o biochar adicionado ao substrato com um fertilizante fosfatado apresenta  
90 potencial para melhorar a eficiência de uso de P pela planta e a qualidade das mudas em  
91 viveiros, principalmente devido sua capacidade condicionante de solo e de redução de perdas  
92 de água e nutrientes por lixiviação.

93

94

### Material e Métodos

95 O estudo foi realizado entre maio e dezembro de 2013, no viveiro florestal da  
96 Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT, Nova Xavantina-MT (14° 41' 25'' S;  
97 52° 20' 55'' W). Essa região apresenta clima do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen  
98 (Silva et al., 2008), com uma estação seca, de abril a setembro, e outra chuvosa, de outubro a  
99 março.

100 Foram avaliadas mudas de duas espécies arbóreas, uma nativa do Brasil,  
101 *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, conhecida popularmente como angico, e o eucalipto  
102 híbrido urograndis (*Eucalyptus urophylla* <sup>x</sup> *E. grandis*) uma espécie exótica de ampla  
103 utilização em sistemas de restauração florestal. O desenvolvimento das mudas de angico foi  
104 realizado em sacos de polietileno de 500 cm<sup>3</sup> e as de eucalipto em tubetes de polietileno com  
105 capacidade de 100 cm<sup>3</sup>. As mudas foram mantidas em sombreamento de 50% e submetidas à  
106 irrigação diária por microaspersão com taxa diária de aplicação ajustada conforme as  
107 condições microclimáticas, o que resultava em um tempo aproximado de 20 minutos.

108 O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, composto de 51 plantas  
109 por tratamento. Foram realizadas interação entre cinco concentrações (v/v) de biochar (BC)  
110 (0, 5, 10, 20 e 35%) e cinco concentrações de fósforo (0, 50, 100, 200 e 400 mg dm<sup>-3</sup>) na

111 forma do fertilizante comercial Super Fosfato Simples (18% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) adicionadas em Latossolo  
 112 Amarelo. Os materiais foram homogeneizados e as combinações de biochar e Super Fosfato  
 113 Simples, respectivamente, resultaram nos seguintes tratamentos: 0-0; 0-50; 0-100; 0-200; 0-  
 114 400; 5-0; 5-50; 5-100; 5-200; 5-400; 10-0; 10-50; 10-100; 10-200; 10-400; 20-0; 20-50; 20-  
 115 100; 20-200; 20-400; 35-0; 35-50; 35-100; 35-200; 35-400. Para a correção da acidez do solo  
 116 foram adicionados com 2 Kg m<sup>-3</sup> de calcário dolomítico (PRNT 90%) em cada substrato.

117 O biochar foi produzido com a carbonização parcial de madeira de eucalipto em forno  
 118 convencional a 500°C e posteriormente moído e peneirado em granulometria inferior a 0,5  
 119 mm. As características químicas do substrato testemunha e do biochar foram determinadas em  
 120 laboratório (Tabela 1).

121  
 122 **Tabela 1.** Características químicas do substrato testemunha e do biochar utilizado para a  
 123 formação de substratos para produção de mudas de *A. colubrina* e *E. urograndis* em viveiro.

	pH	Ca	Mg	H+Al	CTC	P	K	S	V	MO	Argila
	CaCl <sub>2</sub>	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				--- mg dm <sup>-3</sup> ---			----- % -----		
Testemunha 1*	5,1	4,4	2,3	4,6	11,5	1,2	69,0	0,0	59,9	2,5	19,5
Testemunha 2**	5,6	5,1	2,1	4,6	12,0	0,4	70,0	7,5	61,6	2,8	22,0
Biochar	6,7	5,4	1,7	0,6	8,2	47,8	164,0	35,6	92,3	3,5	--

124 \*Latossolo Amarelo corrigido com calcário dolomítico e usado para o experimento com angico; \*\* Latossolo  
 125 Amarelo corrigido com calcário dolomítico e usado para o experimento com eucalipto.

126  
 127 Os parâmetros de crescimento das mudas de eucalipto e de angico foram determinados  
 128 aos 120 dias após a semeadura (DAS) em todas as 51 plantas de cada tratamento. Os pesos  
 129 das biomassas aérea e radicular foram verificados com a avaliação de 30 plantas por  
 130 tratamento, através do método destrutivo, após a secagem das mudas em estufa de circulação  
 131 forçada a 65°C até obtenção de massa constante. Com esses dados foram realizados os  
 132 cálculos para verificar a qualidade das mudas: relação entre altura e diâmetro (H/D), relação  
 133 altura e massa seca da parte aérea (H/MSPA), relação massa seca da parte aérea e massa seca  
 134 radicular (MSPA/MSR) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) (Dickson et al., 1960)

135  $(IQD=MST/(H/D)+(MSPA/MSR))$ , para comparação da qualidade das mudas entre os  
136 tratamentos.

137 As concentrações foliares de N, P, K, Ca e Mg das mudas de ambas as espécies em  
138 cada tratamento foram determinadas em laboratório conforme metodologia descrita por  
139 Embrapa (1999). Com os resultados verificou-se a diferença entre os tratamentos para a  
140 concentração de cada nutriente e calculou-se a Eficiência do Uso de Nutrientes (EUN), pela  
141 relação biomassa foliar (g)/concentração de nutriente (g) (Chapin, 1980).

142 As variáveis analisadas foram submetidas ao estudo de regressão polinomial  
143 (superfície de resposta), onde, inicialmente, foi verificada a significância das combinações das  
144 doses de BC e P. Nos casos em que a interação não foi significativa, efetuou-se o estudo de  
145 regressão de primeiro e segundo graus. Utilizou-se o nível de significância de 5% em todas as  
146 análises estatísticas.

147

## 148 **Resultados e Discussão**

### 149 **Interação entre biochar e fósforo para mudas de angico**

150 O crescimento aéreo e radicular das mudas de angico não sustenta a hipótese  
151 formulada, visto que não houve diferenças entre os tratamentos (Tabela 2). Contudo, foram  
152 registradas diferenças para a qualidade das plantas calculada pelas relações H/D e  
153 MSPA/MSR (Figura 1A e B). Para a relação H/D os resultados foram influenciados apenas  
154 pelo acréscimo de fósforo no substrato, onde se verifica o aumento da relação conforme o  
155 aumento da dose de P até  $284 \text{ mg dm}^{-3}$  (Figura 1A). Conforme Birchler et al. (1998) valores  
156 menores que 10 para a relação H/D determinam mudas com maior qualidade, com isso  
157 observamos que o acréscimo de fósforo acima de  $50 \text{ mg dm}^{-3}$  promove a redução da  
158 qualidade das mudas.

159 Para a relação MSPA/MSR houve resposta à interação entre as doses de BC e P  
 160 (Figura 1B). Considerando que a melhor qualidade nesse parâmetro é verificada com valores  
 161 menores que dois (Birchler et al., 1998) as interações de biochar e P promoveram mudas de  
 162 boa qualidade, mas as maiores doses de P em conjunto com baixas doses de biochar tendem a  
 163 aumentar o valor desse parâmetro. Para esse parâmetro apenas a adição de biochar ou P não é  
 164 suficiente, comprovando a sinergia de ação entre os dois produtos.

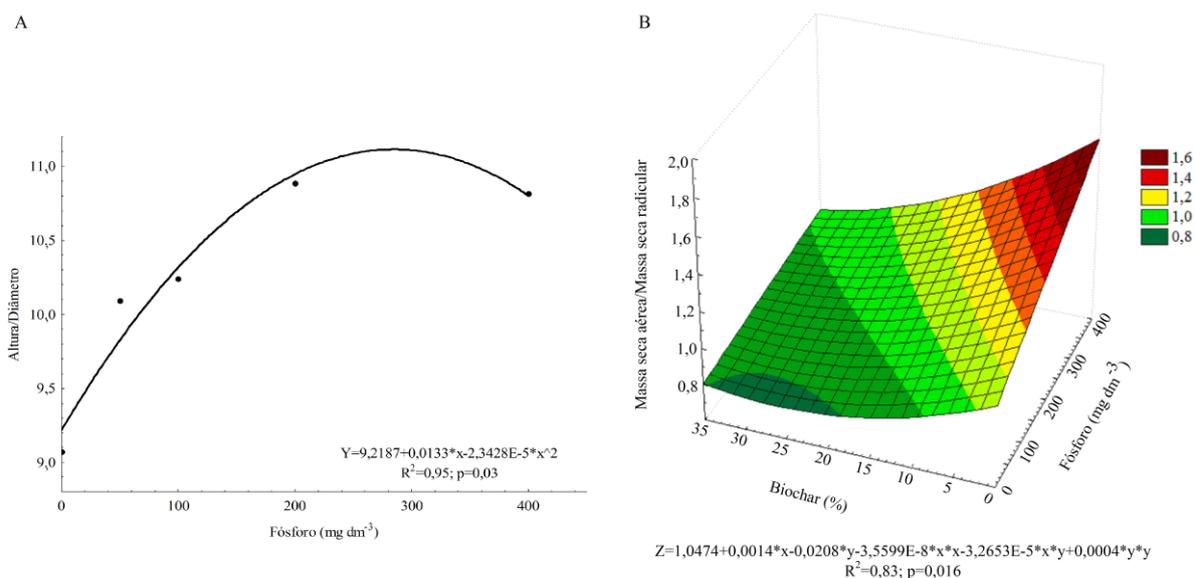
165

166 **Tabela 2.** Valores médios para altura (H), diâmetro (D), massa seca da parte aérea (MSPA),  
 167 massa seca radicular (MSR), massa seca total (MST), relação H/MSPA e Índice de Qualidade  
 168 de Dickson (IQD) de mudas de *A. colubrina* aos 120 DAS com a combinação de doses de  
 169 biochar (BC) e fósforo (P).

BC x P	H (cm)	D (mm)	MSPA (g)	MSR (g)	MST (g)	H/MSPA	IQD
0-0	17,70	1,95	1,02	1,21	2,23	17,36	0,22
0-50	21,13	2,09	1,26	1,08	2,34	16,83	0,21
0-100	24,20	2,36	1,57	1,24	2,81	15,38	0,24
0-200	23,95	2,20	1,63	1,18	2,81	14,66	0,23
0-400	25,15	2,32	1,81	1,03	2,84	13,90	0,23
5-0	18,24	2,04	1,17	1,31	2,49	15,54	0,25
5-50	20,02	2,13	1,26	1,32	2,59	15,83	0,25
5-100	20,96	2,18	1,44	1,28	2,71	14,61	0,25
5-200	23,09	2,20	1,54	1,30	2,83	15,00	0,24
5-400	25,88	2,23	1,83	1,30	3,13	14,16	0,24
10-0	21,38	2,13	1,23	1,27	2,49	17,44	0,23
10-50	21,41	2,00	1,13	1,18	2,31	18,97	0,20
10-100	22,75	2,16	1,25	1,24	2,49	18,23	0,22
10-200	21,59	2,07	1,24	1,32	2,56	17,36	0,22
10-400	27,17	2,31	1,71	1,39	3,10	15,90	0,24
20-0	19,50	1,88	0,94	0,94	1,88	20,72	0,17
20-50	20,32	1,86	0,92	1,04	1,95	22,12	0,17
20-100	19,91	1,87	1,03	1,18	2,21	19,37	0,19
20-200	23,22	2,10	1,18	1,41	2,59	19,60	0,22
20-400	27,46	2,42	1,86	1,94	3,80	14,73	0,31
35-0	18,20	1,94	0,97	1,31	2,28	18,70	0,23
35-50	20,13	2,13	1,26	1,81	3,06	16,03	0,30
35-100	18,82	2,01	1,11	1,35	2,47	16,89	0,24
35-200	22,38	2,19	1,37	1,52	2,90	16,30	0,26
35-400	23,86	2,29	1,76	1,71	3,47	13,53	0,30
<b>p</b>	0,99 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>
<b>R<sup>2</sup></b>	0,81	0,65	0,86	0,50	0,68	0,64	0,43

170 ns = não significativos a 5% de probabilidade pelos testes de regressão polinomial e de primeiro e segundo  
 171 graus.

172



173

174 **Figura 1.** Qualidade de mudas de *A. colubrina* aos 120 DAS, baseada na relação entre altura  
 175 e diâmetro com o acréscimo de doses de fósforo (A), e na relação entre massa seca da parte  
 176 aérea e massa seca radicular com a combinação de doses de biochar e fósforo nos substratos  
 177 (B).

178

179 A ausência de respostas para o crescimento das mudas de angico mostra que essa  
 180 espécie apresenta baixos requerimentos nutricionais (Gonçalves et al., 2012), pois fatores  
 181 como associações simbióticas em suas raízes, auxiliam no seu crescimento em condições  
 182 restritas de fertilidade dos solos (Santos et al., 2008; Sugai et al., 2011).

183 Apesar de não interferir no crescimento das mudas o uso do biochar em conjunto com  
 184 o fósforo promoveu o desenvolvimento de mudas de maior qualidade, com adequada relação  
 185 entre crescimento aéreo e radicular, o que favorece a sobrevivência da muda em condições de  
 186 campo, devido a maior capacidade das raízes em suprir as necessidades de nutriente e água  
 187 para a biomassa aérea (Fernandes, 2006).

188 A ação do biochar para melhorar as relações alométricas das mudas fica evidente  
 189 quando se verifica que a adição isolada de P implica em perda de qualidade, pois a muda se  
 190 torna muita alta em relação ao diâmetro e com maior aporte aéreo em relação ao radicular.  
 191 Essas características alométricas desbalanceadas podem ocasionar danos em campo,

192 especialmente tombamento e quebra, ou ainda atraso de crescimento. A maior parte aérea em  
193 relação à radicular fragiliza a muda em termos de resistência à seca (Resende et al., 2011),  
194 especialmente nas condições de sazonalidade do Bioma Cerrado. Este efeito se dá pelo fato do  
195 volume excessivo da copa em relação ao volume radicular produzir mais transpiração do que  
196 as raízes poderiam suprir em demanda de água durante os dias mais quentes e secos, o que  
197 pode levar a muda a estresse hídrico em campo (Vidal et al., 1999).

198 A eficiência do biochar quando adicionado em conjunto com o P pode ser explicado  
199 devido a sua capacidade de alterar as características do solo, como redução de acidez e  
200 aumento da absorção de diferentes nutrientes pela a planta (Carvalho et al., 2014; Glaser et  
201 al., 2002; Lehmann, 2007). O adequado desenvolvimento da planta ocorre quando os  
202 principais nutrientes estão disponíveis (Fageria, 2008), com isso, a adição isolada de apenas  
203 um elemento, como observado para o P, pode favorecer o melhor desempenho para uma  
204 característica em decorrência de outras, e ocasionar o desequilíbrio nas relações alométricas,  
205 promovendo uma menor qualidade da planta.

206 Em relação à avaliação nutricional das mudas de angico, houve diferenças  
207 significativas entre os tratamentos apenas para os nutrientes K e Ca (Tabela 3 e Figura 2). A  
208 adição de biochar até 17% promoveu aumento na concentração de K, mas seu uso isolado não  
209 foi suficiente para o incremento da eficiência de uso do elemento, uma vez que não houve  
210 maior produção de biomassa conforme a maior absorção do nutriente (Figura 2A e B). Para a  
211 eficiência de uso desse elemento a interação entre biochar até 10% e P na maior dose  
212 promoveu os maiores resultados (Figura 2B), revelando efeitos da adubação fosfatada no uso  
213 de K pela planta e ao mesmo tempo pouca sinergia entre P e biochar nesta variável. Ou seja, a  
214 adição isolada de biochar ou de doses de P menores que  $350 \text{ mg dm}^{-3}$  não aumentou a  
215 eficiência de uso de K pelas plantas.

216

217 **Tabela 3.** Concentrações foliares e eficiência de uso (EU) de N, P e Mg de mudas de *A.*  
 218 *colubrina* aos 120 DAS com a combinação de doses de biochar (BC) e fósforo (P).

BC x P	N (g Kg <sup>-1</sup> )	P (g Kg <sup>-1</sup> )	Mg (g Kg <sup>-1</sup> )	EU N	EU P	EU Mg
0-0	17,94	1,74	4,24	65,3	622,6	254,7
0-50	24,75	2,32	4,81	50,8	559,0	262,9
0-100	21,28	1,79	4,68	73,9	924,8	336,1
0-200	20,11	1,65	4,97	82,9	989,5	328,3
0-400	20,98	0,78	2,28	86,3	2339,7	803,1
5-0	21,18	2,35	3,86	55,9	503,1	305,0
5-50	20,57	1,96	4,06	61,6	645,8	314,0
5-100	20,84	1,53	3,54	69,1	1015,3	489,9
5-200	21,43	1,63	4,18	72,3	943,8	365,7
5-400	23,05	1,67	5,30	80,7	1104,3	358,4
10-0	20,42	2,10	3,89	60,0	589,4	316,0
10-50	21,31	1,75	3,23	53,1	733,7	380,0
10-100	20,38	1,65	3,50	61,8	896,8	413,2
10-200	20,34	1,71	4,30	61,8	725,9	293,4
10-400	22,24	1,60	4,98	79,0	1079,6	344,3
20-0	23,16	2,08	4,27	40,9	453,9	221,5
20-50	21,73	2,15	4,42	42,8	439,7	209,4
20-100	23,05	2,08	4,26	44,7	500,8	241,8
20-200	20,92	1,69	4,67	56,5	710,0	252,9
20-400	21,08	1,26	3,45	89,9	1662,2	621,8
35-0	20,10	1,60	2,50	48,4	652,4	417,1
35-50	18,61	1,61	2,61	67,5	952,7	626,3
35-100	20,50	2,53	2,91	54,6	441,3	439,3
35-200	18,65	1,84	3,20	73,9	763,4	436,3
35-400	18,80	1,54	3,74	96,0	1160,8	481,3
<b>P</b>	0,30 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>
<b>R<sup>2</sup></b>	0,29	0,47	0,32	0,79	0,70	0,41

219 ns = não significativos a 5% de probabilidade pelos testes de regressão polinomial e de primeiro e segundo  
 220 graus.

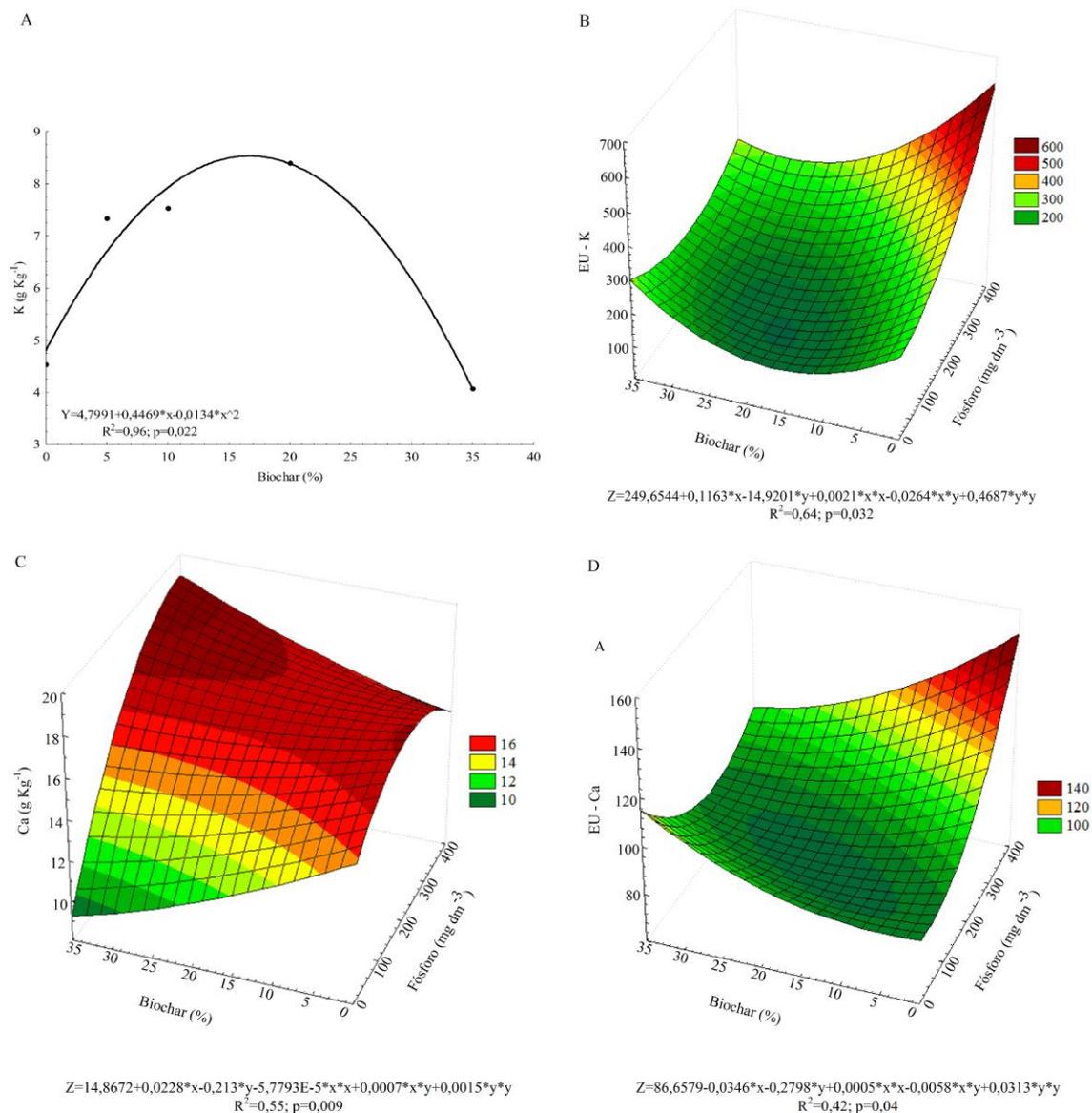
221

222 A concentração de K no substrato base encontrava-se dentro do nível crítico  
 223 estabelecido para o angico, de 51 a 86,5 mg dm<sup>-3</sup> (Tabela 1), mas a faixa de suficiência nas  
 224 folhas das mudas produzidas nesse substrato estava abaixo do estabelecido como ideal, 6,0 a  
 225 8,5 g Kg<sup>-1</sup> (Figura 2A) (Gonçalves et al., 2012), o que pode explicar a resposta a aplicação de  
 226 biochar, visto que este promoveu o aumento da concentração do elemento nas folhas até  
 227 atingir o máximo estabelecido como ideal para a espécie.

228 O aumento na absorção de nutrientes já é discutido como uma característica inerente  
 229 ao biochar (Carvalho et al., 2014; Glaser et al., 2002; Lehmann, 2007), mas isso não é  
 230 diretamente relacionado com o aumento da eficiência de uso, como observado para o K.  
 231 Segundo Fageria (2008), existe interação positiva de P e K que pode estar associada à

232 melhora no crescimento e produtividade de plantas com adubação com P, o que justificaria a  
 233 maior eficiência de uso para K com o uso de biochar em conjunto com P.

234



235

236 **Figura 2.** Concentração foliar de K (A) de acordo com o acréscimo de doses de biochar e  
 237 eficiência de uso (EU) para K (B) com a combinação de doses de biochar e fósforo em mudas  
 238 de *A. colubrina* aos 120 DAS. Concentração foliar de Ca (C) com a combinação de doses de  
 239 biochar e fósforo nos substratos e eficiência de uso (EU) para Ca (D) de acordo com a  
 240 combinação de doses de biochar e fósforo em mudas de *A. colubrina* aos 120 DAS.

241

242 Para a absorção de Ca a associação entre biochar e maiores doses de P apresentou  
243 maiores resultados, conforme evidenciada pela concentração do elemento no tecido foliar,  
244 onde se observa um acréscimo médio de 23% ( $3,3 \text{ g Kg}^{-1}$ ) (Figura 2C). A interação entre  
245 menores doses de BC e maiores doses de P também promoveu o aumento dos resultados para  
246 a eficiência de uso desse nutriente (Figura 2D), apresentando mudas mais aptas a produção de  
247 biomassa por quantidade de nutrientes. Considerando que o superfosfato simples é composto  
248 em média por 20% de Ca, o aumento das doses de P nos substratos aumenta também a  
249 concentração de Ca, mas isso não se refletiu no melhor aproveitamento do mesmo pela planta,  
250 visto que a adição de P isoladamente não mostrou incremento na concentração foliar e na  
251 eficiência de uso para o Ca. A existência de sinergia entre biochar e P fica evidente nesse caso  
252 que a adição isolada de doses de biochar ou de P não foi suficiente para interferir  
253 significativamente nos resultados de concentração e EU de Ca.

254 A concentração de Ca no solo e a faixa de suficiência desse elemento no tecido foliar  
255 estavam acima do considerado como nível crítico para o angico (Tabela 1 e Figura 2 C), 0,3 a  
256  $2,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  no solo e 5 a  $12 \text{ g Kg}^{-1}$  na folha (Gonçalves et al., 2012), mas a ação do  
257 biochar em conjunto com o P, foi suficiente para aumentar a concentração e a eficiência de  
258 uso desse elemento. Segundo Fageria (2008), o aumento de P nos substratos beneficia o  
259 desenvolvimento vegetal, principalmente em situações em que sua concentração está abaixo  
260 do ideal para o desenvolvimento da espécie (Gonçalves et al., 2012), como observado nesse  
261 caso. Entretanto, o aumento na concentração de P requer também maiores concentrações de  
262 macronutrientes disponíveis para as plantas, como Ca, função está que pode ser exercida pelo  
263 biochar (Lehmann, 2007) e pode explicar o melhor desempenho da interação entre BC e P.

264 Apesar de apresentarem baixa resposta em relação à adubação para o crescimento da  
265 biomassa aérea e radicular, as mudas de angico apresentaram maior qualidade e eficiência de  
266 uso de nutrientes com a aplicação de biochar em conjunto com P, o que auxilia na

267 continuidade do seu bom desenvolvimento em condições extremas de campo. Esses  
268 resultados comprovam o benefício do biochar em conjunto com a adubação fosfatada em  
269 sistema de produção de mudas dessa espécie, o que incide em benefício para práticas de  
270 restauração florestal.

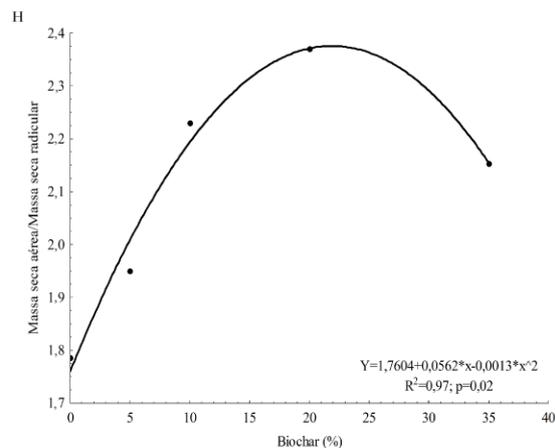
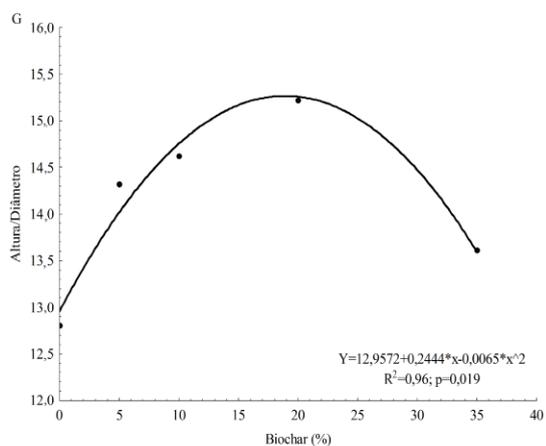
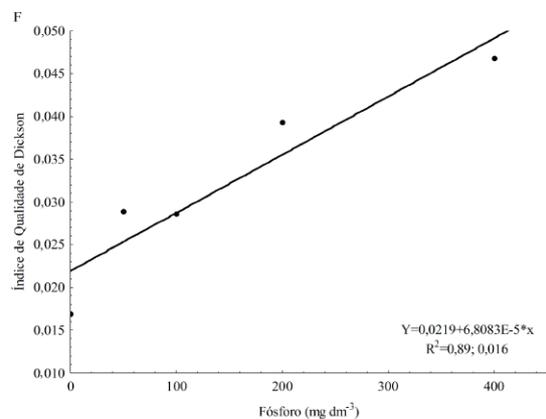
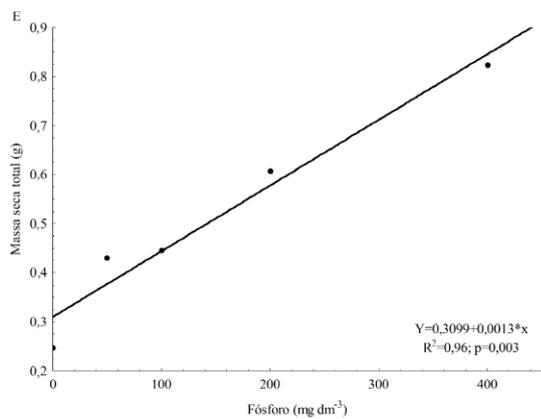
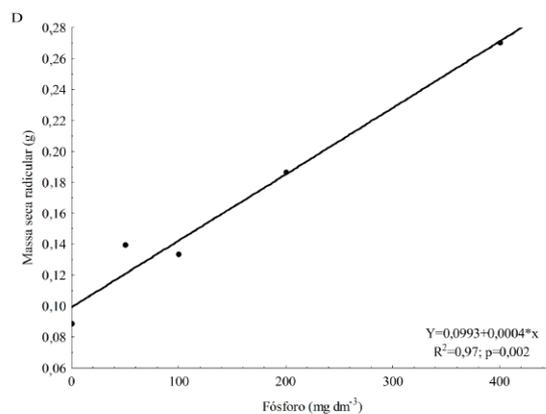
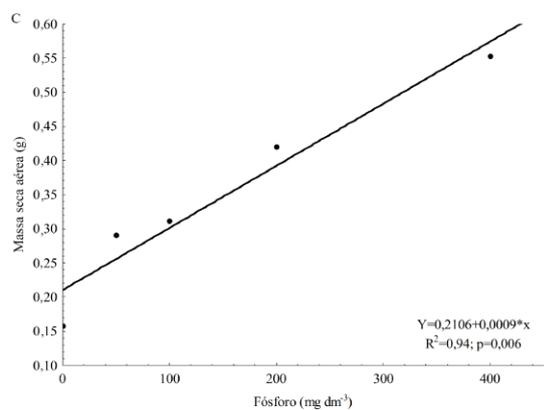
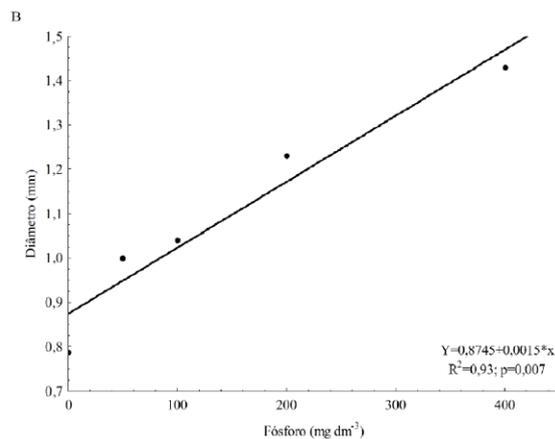
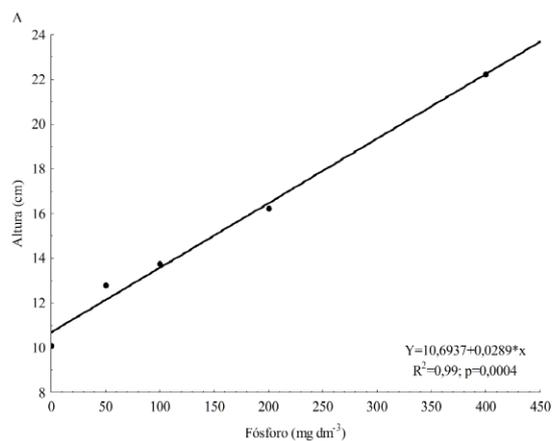
271

### 272 **Interação entre biochar e fósforo para mudas de eucalipto**

273 Em relação às mudas de eucalipto, os parâmetros de crescimento e a qualidade medida  
274 pelo Índice de Qualidade de Dickson (IQD) responderam apenas a adição de fósforo no  
275 substrato, com resultados crescentes conforme o aumento das doses de P (Figura 3A, B, C, D,  
276 E e F). Foi registrado um acréscimo médio de 29% (2,9 cm) em altura, 20% (0,15 mm) em  
277 diâmetro, 56% (0,09 g) em massa seca da parte aérea, 45% (0,04 g) em massa seca radicular,  
278 52% (0,13 g) em massa seca total e 35% em qualidade (IQD=0,007) a cada 100 mg dm<sup>-3</sup> de P  
279 adicionados.

280 A qualidade das mudas de eucalipto medidas pelas relações H/D e MSPA/MSR foi  
281 influenciada pelo acréscimo de doses de biochar no substrato (Figura 3G e H). Para a relação  
282 H/D a melhor qualidade das mudas é dada quando os valores são menores que 10 (Birchler et  
283 al., 1998), com isso, o acréscimo de biochar até 19% ao substrato promove a redução da  
284 qualidade das mudas por esse parâmetro. Quanto a relação MSPA/MSR valores menores que  
285 dois indicam melhor qualidade (Birchler et al., 1998), com isso os resultados observados  
286 nesse estudo demonstram que a adição de biochar até 5% promove mudas de qualidade para a  
287 relação da produção de biomassa aérea e radicular.

288



290 **Figura 3.** Altura (A), diâmetro (B), massa seca da parte aérea (C), massa seca radicular (D),  
291 massa seca total (E) e Índice de Qualidade de Dickson (F) de mudas de *E. urograndis* aos 120  
292 DAS, de acordo com o acréscimo de doses de fósforo no substrato. Relação entre altura e  
293 diâmetro (G) e relação entre massa seca da parte aérea e massa seca radicular (H) de acordo  
294 com o acréscimo de doses de biochar no substrato.

295

296 Esses resultados não comprovam a hipótese de melhores resultados com o uso biochar  
297 em conjunto com o fósforo, uma vez que apenas a adição isolada de P foi suficiente no  
298 crescimento e qualidade das mudas de eucalipto. O uso isolado de biochar resultou em mudas  
299 com menor qualidade, devido às relações alométricas desbalanceadas, tornando as plantas  
300 sujeitas a problemas como estiolamento e deficiência de captação de água e nutrientes em  
301 condições de campo (Fernandes, 2006).

302 Com a análise nutricional das mudas de eucalipto verifica-se que apenas a  
303 concentração foliar de N e Mg e a eficiência de uso de P, K e Mg foram influenciadas pelos  
304 tratamentos (Tabela 4). Para a concentração de N observa-se maior resposta nas interações  
305 entre doses intermediárias de biochar de maiores doses de P (Figura 4A), o que não se reflete  
306 em maior eficiência de uso do mesmo. Para a concentração de Mg os maiores valores foram  
307 obtidos com o aumento das doses de biochar em conjunto com menores doses de P (Figura  
308 4B). Considerando que existe relação sinérgica entre a adição de Ca e o aumento na absorção  
309 de fósforo, imagina-se que o aumento da aplicação de P através do super fosfato simples, por  
310 promover a maior concentração de Ca, aumentaria a absorção de Mg pelas folhas, no entanto  
311 isso não foi verificado, visto que as maiores concentrações de Mg foram observadas quando o  
312 P estava em baixas concentrações.

313 A eficiência de uso de P, K e Mg foi influenciada positivamente apenas pela aplicação  
314 de fósforo (Figura 4C, D e E). Para o P ocorre um aumento na eficiência de uso até a adição  
315 de 365 mg dm<sup>-3</sup> de fósforo, enquanto que para o Mg esse aumento ocorre até a adição de 323

316 mg dm<sup>-3</sup>. Para a EUIN de K houve um incremento médio de 76% (EUIN=26,7) na eficiência  
 317 de uso a cada 100 mg dm<sup>-3</sup> de P adicionados. Isso resulta em um acréscimo médio de 300%  
 318 na eficiência de uso com a maior dose de P utilizada (400 mg dm<sup>-3</sup>). Para a EU de K e Mg, a  
 319 presença de Ca no fertilizante super fosfato simples pode ser o responsável pelo aumento dos  
 320 resultados conforme o acréscimo das doses de P, visto que esses elementos apresentam efeito  
 321 sinérgico de interrelações.

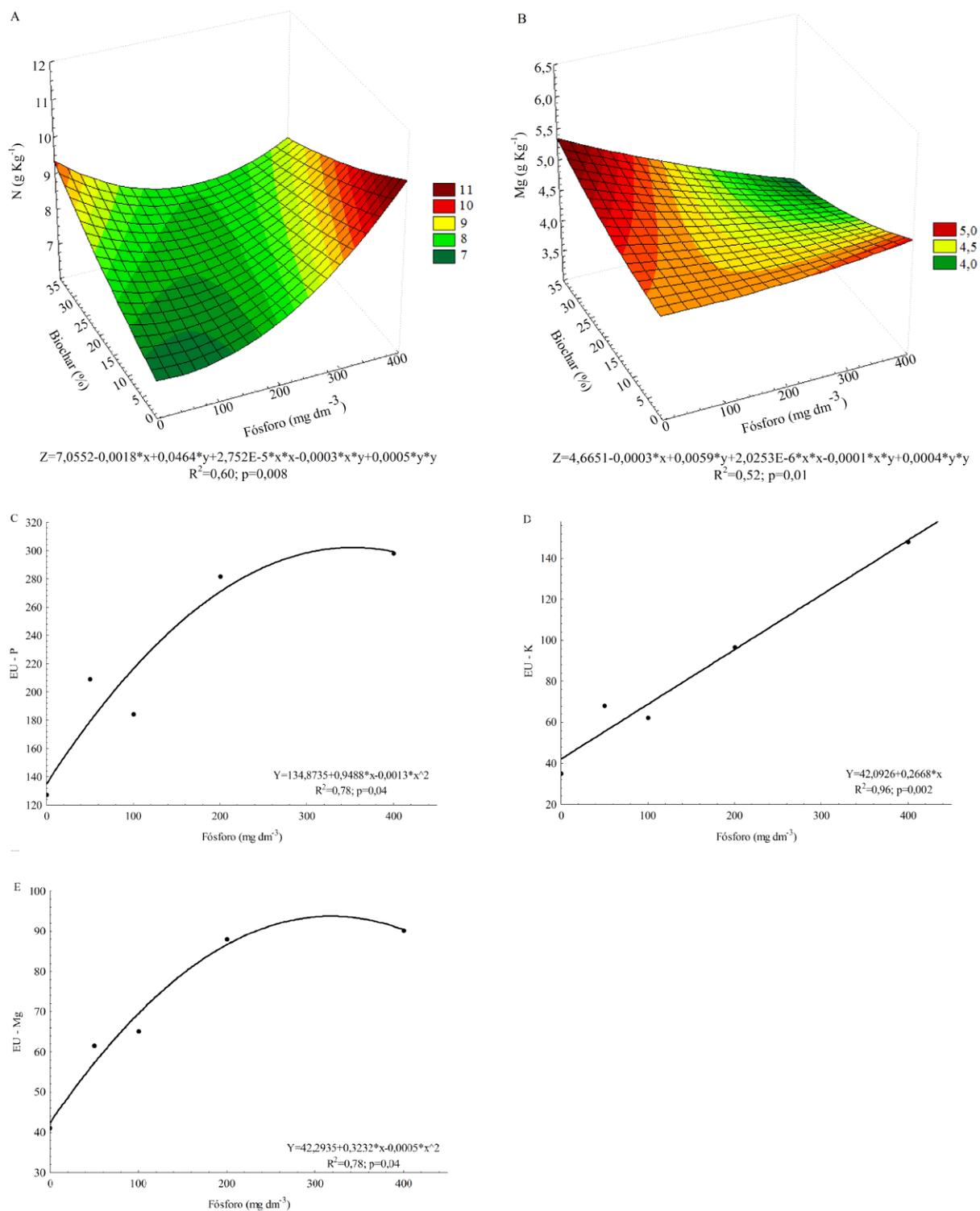
322

323 **Tabela 4.** Concentrações foliares P, K e Ca e eficiência de uso (EU) de N e Ca de mudas de  
 324 *E. urograndis* aos 120 DAS com a combinação de doses de biochar (BC) e fósforo (P).

BC x P	P (g Kg <sup>-1</sup> )	K (g Kg <sup>-1</sup> )	Ca (g Kg <sup>-1</sup> )	EU N	EU Ca
0-0	1,33	4,73	8,66	21,17	20,19
0-50	1,39	4,27	9,42	41,91	30,97
0-100	1,69	5,07	9,04	48,80	34,49
0-200	1,49	4,47	11,07	50,00	38,08
0-400	1,92	3,73	13,55	52,24	40,71
5-0	1,96	6,80	9,68	31,11	22,87
5-50	1,75	6,00	9,60	41,26	29,66
5-100	1,70	4,07	10,62	58,95	40,42
5-200	1,04	2,93	6,60	51,18	75,99
5-400	1,51	4,07	12,64	48,42	41,18
10-0	1,70	3,33	8,52	19,05	17,17
10-50	2,59	6,27	11,94	21,26	12,14
10-100	2,63	6,93	9,81	31,20	23,28
10-200	1,59	5,87	9,45	61,77	48,88
10-400	1,97	5,00	9,67	54,86	53,22
20-0	3,30	9,00	9,77	17,21	15,48
20-50	3,25	8,13	11,23	21,32	16,01
20-100	3,38	8,73	13,36	26,56	14,82
20-200	2,21	6,47	10,33	46,55	34,85
20-400	1,88	5,80	9,52	66,22	57,55
35-0	1,80	9,33	8,58	30,12	26,79
35-50	1,64	7,67	8,42	30,33	37,81
35-100	1,95	7,93	8,77	44,80	34,50
35-200	1,65	6,93	7,73	65,75	64,28
35-400	1,61	7,60	7,66	64,58	76,47
p	0,43 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>
R <sup>2</sup>	0,53	0,69	0,33	0,77	0,68

325 ns = não significativos a 5% de probabilidade pelos testes de regressão polinomial e de primeiro e segundo  
 326 graus.

327



328

329 **Figura 4.** Concentração foliar de N (A) e Mg (B) de acordo com a combinação de doses de  
 330 biochar e fósforo nos substratos, e Eficiência de Uso (EU) para P (C), K (D) e Mg (E) de  
 331 acordo com o acréscimo de doses de fósforo, em mudas de *E. urograndis* aos 120 DAS.

332

333 A avaliação nutricional das mudas de eucalipto não corroborou com a hipótese testada,  
334 visto que a adição de biochar em conjunto com P aumentou a absorção de N e Mg, mas não  
335 houve interferência na eficiência de uso dos mesmos, o que não comprova a melhor  
336 performance da muda. A aplicação de P promoveu maior eficiência de uso de P, K e Mg  
337 refletida em aumento no crescimento e na qualidade das plantas. Segundo Fageria (2008),  
338 existe interação positiva de P com o K, o que promove melhorias no crescimento e  
339 produtividade de plantas submetidas à adubação com P. Conforme Gava et al. (1997) a maior  
340 produção de mudas de eucalipto é altamente correlacionada com a absorção de P, K e Mg,  
341 como observado nesse estudo.

342 As concentrações de P, K e Mg no solo para a produção das mudas de eucalipto estava  
343 abaixo do nível crítico para o eucalipto (Tabela 1), que varia entre 27,4 e 44,6 mg dm<sup>-3</sup> para P  
344 (Silva et al., 2007), 1173 a 3910 mg dm<sup>-3</sup> para K e 5 a 10 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para Mg (Silveira et al.,  
345 2001), demonstrando que a melhor produção de mudas de eucalipto está relacionada com a  
346 maior absorção desses nutrientes, como indicado por Gava et al. (1997) e Pinto et al. (2011).

347 Comparando as duas espécies estudadas observa-se que o angico respondeu melhor a  
348 adição de biochar nos substratos enquanto que o eucalipto respondeu à adição de P. Essa  
349 diferença pode estar relacionada às características de exigência nutricional inerente de cada  
350 espécie. O teor foliar dos nutrientes no eucalipto, que foram influenciados pela aplicação de P,  
351 estavam em geral abaixo do considerado ideal para a espécie (Silveira et al., 2001), o que  
352 pode ser reflexo do uso de apenas um nutriente e indicar que as plantas ainda apresentavam  
353 potencial de melhoria nutricional e aumento no desenvolvimento.

354 Mas diferenças encontradas quando se usa espécies distintas e diferentes doses do  
355 produto em diferentes arranjos nutricionais, mostram que são necessárias avaliações para  
356 melhorar a definição de uso do biochar. As diferenças de resultados relacionados como uso de  
357 biochar podem ser devido as diferentes características do produto e de tipos de solo

358 (Mukherjee & Zimmerman, 2013; Mukome et al., 2013). Além disso, o tipo de matéria prima  
359 e as formas de produção também podem afetar as características químicas e físicas do biochar  
360 (Hossain et al., 2011).

361 Alguns estudos recentes demonstram que o biochar afeta a dinâmica de fosfato em  
362 solos e substratos (Altland & Locke, 2012; Cui et al., 2011; Parvage et al., 2013), o que  
363 promove um aumento na biodisponibilidade de P. Este efeito pode variar conforme fontes de  
364 matérias primas utilizadas para produzir o biochar (Chintala et al., 2014; Vassilev et al., 2013;  
365 Weber et al., 2014). Diferentes tipos de biochar contém diferentes concentrações de elementos  
366 nutrientes, muitas vezes podendo ser grandes quantidades de P (Xu et al., 2014), elemento que  
367 pode ser totalmente recuperado após a pirólise, o que o torna tão eficaz quanto o uso de  
368 fertilizantes fosfatados (Ma & Matsunaka, 2013; Wang et al., 2012). Este efeito não foi  
369 observado nas condições estudadas uma vez apenas a adição de biochar não foi suficiente  
370 para garantir o desempenho adequado das plantas.

371 Por exemplo, Wang et al. (2012) discutem que a extratabilidade e biodisponibilidade  
372 de P dependem, principalmente, do conteúdo de fósforo nas matérias primas do biochar e da  
373 temperatura final de pirólise. Os efeitos do biochar sobre a disponibilidade de fósforo são  
374 dependentes também da acidez do solo (Xu et al., 2014). Segundo Wang et al. (2014), é  
375 necessário determinar o conteúdo de P disponível no biochar antes da sua aplicação ao solo,  
376 de modo a determinar se a dose, a frequência e a época de aplicação estão corretamente  
377 estabelecidas. Por isso, é esperado que os resultados da interação entre biochar e fósforo para  
378 uso em sistemas de produção de mudas e recuperação florestal possam diferir conforme as  
379 características do produto e as propriedades do solo utilizado no substrato.

380 Uma vez que a retenção e liberação de P dependem da acidez ou alcalinidade do solo,  
381 a incorporação de biochar em solos ácidos promove aumento do pH, o que reduz a retenção  
382 de P e aumenta sua biodisponibilidade, (Chintala et al., 2014). Esses autores indicam ainda

383 que biochar alcalino pode ser usado em solos ácidos, podendo ser uma alternativa até mesmo  
384 para reduzir a necessidade de adubação, o que seria essencial para garantir o melhor  
385 desempenho e diminuir os custos de restaurações florestais, principalmente em regiões  
386 tropicais.

387 Por isso, são necessárias investigações para garantir o benefício do uso do biochar em  
388 diferentes sistemas de produção, principalmente em condições de solos tropicais, onde  
389 geralmente ocorre a presença de óxidos de ferro e alumínio, que levam à baixa  
390 disponibilidade de nutrientes e aumentam a adsorção de fósforo, tornando-o indisponível para  
391 a planta (Vilar et al., 2010). Assim, a capacidade do biochar em reduzir a lixiviação de  
392 nutrientes, pode auxiliar na eficiência de uso dos nutrientes e na redução da poluição  
393 ambiental, com aumento da qualidade dos solos e das águas (Beck et al., 2011; Soenne et al.,  
394 2014). Ainda, a incorporação de biochar nos solos tem potencial de redução dos gases  
395 causadores do efeito estufa (Case et al., 2014; Nelissen et al., 2014) auxiliando na mitigação  
396 das mudanças climáticas globais. Esses efeitos estão diretamente relacionados com o objetivo  
397 de recuperação da vegetação arbórea em regiões degradadas, acrescentando benefícios à  
398 mitigação de problemas ambientais e favorecendo a produção sustentável.

399

400

### **Conclusões**

401 1. O uso conjunto de biochar e P promove maior qualidade e melhorias nas  
402 características nutricionais das mudas de angico.

403 2. O produto apresenta potencial de uso em práticas de recuperação de áreas degradadas,  
404 geralmente sujeitas à baixa fertilidade natural dos solos e condições prolongadas de  
405 seca.

- 406 3. As mudas de eucalipto apresentaram melhor desempenho com a adição de P nos  
407 substratos, o que demonstra que nas condições testadas o biochar não beneficia a  
408 qualidade das plantas.
- 409 4. O biochar se mostrou desnecessário para garantir a qualidade das mudas de eucalipto ,  
410 o que pode estar relacionada à elevada exigência nutricional dessa espécie, o que  
411 requer adubações balanceadas para expressar seu potencial de resposta a aplicação do  
412 biochar.
- 413 5. A avaliação de novos arranjos de adubação com a aplicação conjunta de biochar faz-se  
414 necessária para garantir seu efeito potencial na melhoria da qualidade de mudas e  
415 eficiência de uso de P para o benefício de práticas de restauração florestal

416

417

### Agradecimentos

418 Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade do Estado de  
419 Mato Grosso-UNEMAT. À equipe de pesquisa do Laboratório de Ecologia Vegetal de Nova  
420 Xavantina-MT, Brasil. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico  
421 (CNPq) pelo auxílio financeiro ao Projeto Biochar (CNPq nº 575019/2008), coordenado por  
422 Ben Hur Marimon Junior. E a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior  
423 (CAPES) pelo apoio financeiro.

424

425

### Referências

- 426 ABRAF. **ABRAF statistical yearbook 2013 - base year 2012**. Brasília: ABRAF, 2013.  
427 148p.
- 428 ALTLAND, J.E.; LOCKE, J.C. Biochar affects macronutrient leaching from a soilless  
429 substrate. **Hort Science**, v.47, p.1136-1140, 2012.
- 430 BECK, D.A; JOHNSON, G.R.; SPOLEK, G.A. Amending greenroof soil with biochar to  
431 affect runoff water quantity and quality. **Environmental pollution**, v.159, p.2111-2118,  
432 2011.

- 433 BIRCHLER, T.; ROSE, R.W.; ROYO, A.; PARDOS, M. La planta ideal: revision del  
434 concepto, parametros definitorios e implementacion practica. **Investigación Agraria.**  
435 **Sistemas y Recursos Forestales**, v.7, p.109-121, 1998.
- 436 CARVALHO, M.T.M.; MAIA, A.H.N.; MADARI, B.E.; BASTIAANS, L.; VAN OORT,  
437 P.A.J.; HEINEMANN, A.B.; SILVA, M.A.S.; PETTER, F.A.; MARIMON JR., B.H.;  
438 MEINKE, H. Biochar increases plant-available water in a sandy loam soil under an aerobic  
439 rice crop system. **Solid Earth**, v.5, p.939-952, 2014.
- 440 CASE, S.D.C.; MCNAMARA, N.P.; REAY, D.S.; WHITAKER, J. Can biochar reduce soil  
441 greenhouse gas emissions from a Miscanthus bioenergy crop? **Global Change Biology**  
442 **Bioenergy**, v.6, p.76-89, 2014.
- 443 CHAPIN, F.S. The mineral nutrition of wild plants. **Annual Review of Ecology and**  
444 **Systematics**, v.11, p.233-60,1980.
- 445 CHAPIN, F.S.I.; MATSON, P.A.; VITOUSEK, P.M. **Principles of terrestrial ecosystem**  
446 **ecology**. New York: Springer, 2012. 530p.
- 447 CHINTALA, R.; MOLLINEDO, J.; SCHUMACHER, T.E.; MALO, D.D.; JULSON, J.L.  
448 Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. **Archives of Agronomy and Soil**  
449 **Science**, v.60, p.01-12, 2013.
- 450 CHINTALA, R.; SCHUMACHER, T.E.; MCDONALD, L.M.; CLAY, D.E.; MALO, D.D.;  
451 PAPIERNIK, S.K.; CLAY, S.A.; JULSON, J.L. Phosphorus sorption and availability from  
452 biochars and soil/biochar mixtures. **Clean - Soil, Air, Water**, v.42, p.626-634, 2014.
- 453 CORDELL, D.; DRANGERT, J.-O.; WHITE, S. The story of phosphorus: Global food  
454 security and food for thought. **Global Environmental Change**, v.19, p.292-305, 2009.
- 455 CORDELL, D.; ROSEMARIN, A.; SCHRÖDER, J.J.; SMIT, A.L. Towards global  
456 phosphorus security: a systems framework for phosphorus recovery and reuse options.  
457 **Chemosphere**, v.84, p.747-58, 2011.
- 458 CUI, H.-J.; WANG, M.K.; FU, M.-L.; CI, E. Enhancing phosphorus availability in  
459 phosphorus-fertilized zones by reducing phosphate adsorbed on ferrihydrite using rice straw-  
460 derived biochar. **Journal of Soils and Sediments**, v.11, p.1135-1141, 2011.
- 461 DELUCA, T.H.; MACKENZIE, M.D.; GUNDALE, M.J. Biochar effects on soil nutrient  
462 transformations. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Ed.). **Biochar for environmental**  
463 **management: science and Technology**. London: Earthscan, 2009. p.251-270.
- 464 DICKSON, A.; LEAF, A.L.; HOSNER, J.F. Quality appraisal of white spruce and white pine  
465 seedling stock in nurseries. **Forestry chronicle**, v.36, p.10-13, 1960.

- 466 FAGERIA, N.K. **The use of nutrients in crop plants**. New York: CRC Press, 2008. 428p.
- 467 FARRELL, M.; MACDONALD, L.M.; BUTLER, G.; CHIRINO-VALLE, I.; CONDRON,  
468 L.M. Biochar and fertiliser applications influence phosphorus fractionation and wheat yield.  
469 **Biology and Fertility of Soils**, v.50, p.169-178, 2014.
- 470 FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência  
471 do Solo (SBCS), 2006, 432p.
- 472 GASKIN, J.W.; SPEIR, R.A.; HARRIS, K.; DAS, K.C.; LEE, R.D.; MORRIS, L.A.;  
473 FISHER, D.S. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient  
474 status, and yield. **Agronomy Journal**, v.102, p.623-633, 2010.
- 475 GAVA, J.L.; GONÇALVES, J.L.M.; SHIBATA, F.Y.; CORRADINI, L. Eficiência relativa  
476 de fertilizantes fosfatados no crescimento inicial de eucalipto cultivado em solos do cerrado.  
477 **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.497-504, 1997.
- 478 GONÇALVES, E.O.; PAIVA, H.N.; NEVES, J.C.L.; GOMES, J.M. Crescimento de mudas  
479 de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) sob diferentes doses de  
480 macronutrientes. **Revista Árvore**, v.32, p. 1029-1040, 2008.
- 481 GONÇALVES, E.O.; PAIVA, H.N.; NEVES, J.C.L.; GOMES, J.M. Nutrição de mudas de  
482 angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) submetidas a doses de N, P,  
483 K, Ca e Mg. **Revista Árvore**, v.36, p.219-228, 2012.
- 484 GROSS, E.; CORDEIRO, L.; CAETANO, F.H. Nodulação e micorrização em  
485 *Anadenanthera peregrina* var. *falcata* em solo de cerrado autoclavado e não autoclavado.  
486 **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.95-101, 2004.
- 487 HOSSAIN, M.K.; STREZOV, V.; CHAN, K.Y.; ZIOLKOWSKI, A.; NELSON, P.F.  
488 Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge  
489 biochar. **Journal of environmental management**, v.92, p.223-228, 2011.
- 490 LAIRD, D.; FLEMING, P.; WANG, B.; HORTON, R.; KARLEN, D. Biochar impact on  
491 nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. **Geoderma**, v.158, p.436-442, 2010.
- 492 MA, Y.L.; MATSUNAKA, T. Biochar derived from dairy cattle carcasses as an alternative  
493 source of phosphorus and amendment for soil acidity. **Soil Science and Plant Nutrition**,  
494 v.59, p.628-641, 2013.
- 495 MORALES, M.M.; COMERFORD, N.; GUERRINI, I. A.; FALCÃO, N.P.S.; REEVES, J.B.  
496 Sorption and desorption of phosphate on biochar and biochar-soil mixtures. **Soil Use and**  
497 **Management**, v.29, p.306-314, 2013.

- 498 MORIM, M.P. *Anadenanthera* in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do  
499 Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB18071>>.  
500 Acesso em: 09 Mar. 2015.
- 501 MUKHERJEE, A.; ZIMMERMAN, A.R. Organic carbon and nutrient release from a range of  
502 laboratory-produced biochars and biochar–soil mixtures. **Geoderma**, v.194, p.122-130, 2013.
- 503 MUKOME, F.N.D.; ZHANG, X.; SILVA, L.C.R.; SIX, J.; PARIKH, S.J. Use of chemical  
504 and physical characteristics to investigate trends in biochar feedstocks. **Journal of**  
505 **agricultural and food chemistry**, v.61, p.2196-2204, 2013.
- 506 NELISSEN, V.; SAHA, B.K.; RUYSSCHAERT, G.; BOECKX, P. Effect of different biochar  
507 and fertilizer types on N<sub>2</sub>O and NO emissions. **Soil Biology and Biochemistry**, v.70, p.244-  
508 255, 2014.
- 509 NGO, P.-T.; RUMPEL, C.; NGO, Q.-A.; ALEXIS, M.; VARGAS, G. V.; GIL, M.D.L.L.M.;  
510 DANG, D.-K.; JOUQUET, P. Biological and chemical reactivity and phosphorus forms of  
511 buffalo manure compost, vermicompost and their mixture with biochar. **Bioresource**  
512 **technology**, v.148, p.401-407, 2013.
- 513 PARVAGE, M.M.; ULÉN, B.; ERIKSSON, J.; STROCK, J.; KIRCHMANN, H. Phosphorus  
514 availability in soils amended with wheat residue char. **Biology and Fertility of Soils**, v.49,  
515 p.245-250, 2013.
- 516 PETTER, F.A.; ANDRADE, F.R.; MARIMON-JUNIOR, B.H.; GONÇALVES, L.G.;  
517 SCHOSSLER, T.R. Biochar como condicionador de substrato para a produção de mudas de  
518 eucalipto. **Revista Caatinga**, v.25, p.44-51, 2012.
- 519 PINTO, S.I.C.; FURTINI NETO, A.E.; NEVES, J.C.L.; FAQUIN, V.; MORETTI, B.S.  
520 Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução  
521 nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.523-533, 2011.
- 522 QIAN, T.; ZHANG, X.; HU, J.; JIANG, H. Effects of environmental conditions on the release  
523 of phosphorus from biochar. **Chemosphere**, v.93, p.2069-2075, 2013.
- 524 RENÓ, N.B.; SIQUEIRA, J.O.; CURI, N.; VALE, F.R. Limitações nutricionais ao  
525 crescimento inicial de quatro espécies arbóreas nativas em Latossolo Vermelho-Amarelo.  
526 **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.32, p.17-25, 1997.
- 527 RESENDE, S.V.; CREPALDI, I.C.; PELACANI, C.R.; BRITO, A.L. Influência da luz e  
528 substrato na germinação e desenvolvimento inicial de duas espécies de *Calliandra Benth.*  
529 (Mimosoideae - Leguminosae) endêmicas da Chapada Diamantina, Bahia. **Revista Árvore**,  
530 v.35, p.107-117, 2011.

- 531 SANTOS, D.R.; COSTA, M.C.S.; MIRANDA, J.R.P.; SANTOS, R.V. Micorriza e rizóbio no  
532 crescimento e nutrição em N e P de mudas de angico-vermelho. **Caatinga**, v.21, p.76-82,  
533 2008.
- 534 SCHRÖDER, J.J.; SMIT, A L.; CORDELL, D.; ROSEMARIN, A. Improved phosphorus use  
535 efficiency in agriculture: a key requirement for its sustainable use. **Chemosphere**, v.84,  
536 p.822-831, 2011.
- 537 SCHULZ, H.; GLASER, B. Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers  
538 on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. **Journal of Plant Nutrition and**  
539 **Soil Science**, v.175. p.410-422, 2012.
- 540 SILVA, C.A.; RANGEL, O.J.P.; BELIZÁRIO, M.H. Interação calagem-adubação fosfatada e  
541 sua influência nos níveis críticos de P e crescimento do eucalipto. **Scientia Forestalis**, n.73,  
542 p.63-72, 2007.
- 543 SILVA, F.A.M.; ASSAD, E.D.; EVANGELISTA, B.A. Caracterização climática do Bioma  
544 Cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F. (Ed.). **Cerrado: ecologia e flora**.  
545 Planaltina: Embrapa, 2008. p.69-88.
- 546 SILVEIRA, R.L.V.A.; LUCA, E.F.; SILVEIRA, L.V.A.; LUZ, H.F. Matéria seca,  
547 concentração e acúmulo de nutrientes em mudas de *Eucalyptus grandis* em função da idade.  
548 **Scientia Forestalis**, v.64, p.136-149, 2003.
- 549 SMIL, V. Phosphorus in the environment: Natural flows and human interferences. **Annual**  
550 **Review of Energy and the Environment**, v.25, p.53-88, 2000.
- 551 SOINNE, H.; HOVI, J.; TAMMEORG, P.; TURTOLA, E. Effect of biochar on phosphorus  
552 sorption and clay soil aggregate stability. **Geoderma**, v.220, p.162-167, 2014.
- 553 SPARREVIK, M.; FIELD, J.L.; MARTINSEN, V.; BREEDVELD, G.D.; CORNELISSEN,  
554 G. Life cycle assessment to evaluate the environmental impact of biochar implementation in  
555 conservation agriculture in Zambia. **Environmental science & technology**, v.47, p.1206-  
556 1215, 2013.
- 557 SUGAI, M.A.A.; COLLIER, L.S.; SAGGIN-JÚNIOR, O.J. Inoculação micorrízica no  
558 crescimento de mudas de angico em solo de cerrado. **Bragantia**, v.70, p.416-423, 2011.
- 559 VASSILEV, N.; MARTOS, E.; MENDES, G.; MARTOS, V.; VASSILEVA, M. Biochar of  
560 animal origin: a sustainable solution to the global problem of high-grade rock phosphate  
561 scarcity? **Journal of the science of food and agriculture**, v.93, p.1799-1804, 2013.

- 562 VIDAL, M.C.; SERAPHIN- STACCIARINI, E.; CÂMARA, H.H.L.L. Crescimento de  
563 plântulas de *Solanum lycocarpum* St. Hill. (Lobeira) em casa de vegetação. **Acta Botanica**  
564 **Brasilica**, v.13, p.271-274, 1999.
- 565 VILAR, C.C.; COSTA, A.C.S.; HOEPERS, A.; SOUZA JUNIOR, I.G. Capacidade máxima  
566 de adsorção de fósforo relacionada a formas de ferro e alumínio em solos subtropicais.  
567 **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1059-1068, 2010.
- 568 WANG, T.; CAMPS-ARBESTAIN, M.; HEDLEY, M. The fate of phosphorus of ash-rich  
569 biochars in a soil-plant system. **Plant and Soil**, v.375, p.61-74, 2014.
- 570 WANG, T.; CAMPS-ARBESTAIN, M.; HEDLEY, M.; BISHOP, P. Predicting phosphorus  
571 bioavailability from high-ash biochars. **Plant and Soil**, v.357. p.173-187, 2012.
- 572 WEBER, B.; STADLBAUER, E.A.; SCHLICH, E.; EICHENAUER, S.; KERN, J.;  
573 STEFFENS, D. Phosphorus bioavailability of biochars produced by thermo-chemical  
574 conversion. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.177, p.84-90, 2014.
- 575 XU, G.; SUN, J.; SHAO, H.; CHANG, S.X. Biochar had effects on phosphorus sorption and  
576 desorption in three soils with differing acidity. **Ecological Engineering**, v.62, p.54-60, 2014.
- 577
- 578
- 579
- 580
- 581
- 582
- 583
- 584
- 585
- 586
- 587
- 588
- 589
- 590
- 591
- 592

## CONCLUSÃO GERAL

A qualidade das mudas de angico comprova o potencial de uso do biochar em conjunto com o nitrogênio para o melhor desempenho dessa espécie, mesmo considerando que o crescimento e a nutrição das mudas não foram afetados.

Para a produção de mudas de eucalipto a interação entre biochar e N promove maior crescimento aéreo, qualidade e melhor nutrição das mudas, o que comprova a eficiência do uso conjunto desses produtos para a produção de mudas de eucalipto.

As mudas de angico submetidas à aplicação de biochar juntamente com P mostraram incremento em qualidade, condição nutricional e eficiência de produção de biomassa por quantidade de nutriente absorvida. Para o angico comprova-se que a interação entre biochar e P apresenta benefícios com o potencial de uso em sistemas de restauração florestal.

As mudas de eucalipto apresentaram melhor desempenho com a adição de P nos substratos, o que indica que nas condições avaliadas a aplicação de P é suficiente para garantir o crescimento e qualidade das plantas.

Devido ao potencial do biochar para melhoria da qualidade do solo e do ambiente seu uso é promissor para o desenvolvimento da agricultura sustentável. Seu uso isolado ou em conjunto com adubação mostra resultados distintos para diferentes espécies arbóreas, o que faz necessários outras avaliações para validar seu uso nos sistemas de produção vegetal.

Ajustes de doses e testes com diferentes espécies são necessários, além de condições de solo e adubações distintos. Nesse estudo o incremento na adubação foi realizado com apenas um macronutriente, assim adubações que relacionem os principais nutrientes e considerem as condições do solo e as exigências nutricionais de cada espécie são fundamentais.

## Apêndices

**Apêndice 1** - Normas gerais da revista científica Pesquisa Agropecuária Brasileira (ISSN 1678-3921; Qualis/Capes: B1) selecionada para submissão dos artigos que compõem a presente dissertação: <http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/about/submissions#authorGuidelines>