



**EFEITO DA COMBINAÇÃO ENTRE MATERIAIS GENÉTICOS E  
ESPAÇAMENTOS ENTRE ÁRVORES NOS VALORES DE CO<sub>2</sub>  
EQUIVALENTE EM PLANTIOS DE *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis***

Thiago Cardoso Silva<sup>1</sup>, Emmanoella Costa Guaraná Araujo<sup>1</sup>, Karen Janones da Rocha<sup>1</sup>

1 Universidade Federal de Rondônia, Rolim de Moura, RO, Brasil. E-mail: thiagocardoso.pe@gmail.com; manuguarana@gmail.com; karenrocha@unir.br

Autor correspondente: Thiago Cardoso Silva. E-mail: thiagocardoso.pe@gmail.com.

**RESUMO**

O objetivo desse trabalho foi estimar a influência da combinação entre materiais genéticos e espaçamentos entre árvores na quantidade de CO<sub>2</sub> equivalente na biomassa de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* com sete anos. O povoamento avaliado fazia parte de um plantio experimental em Chapadão do Sul-MS, implantado em delineamento sistemático do tipo Nelder, sendo selecionados três materiais genéticos plantados em três espaçamentos, totalizando nove tratamentos. Em cada tratamento foram escolhidas três árvores, que foram derrubadas e cubadas. Foram determinados: densidade básica da madeira, teor de carbono e quantidade de biomassa (total, acima e abaixo do solo). Por fim, foram estimados os valores de CO<sub>2</sub> equivalente por hectare desses tratamentos. A interação entre os materiais genéticos e os espaçamentos entre árvores não influenciou nos valores de CO<sub>2</sub> equivalente na biomassa de *E. urophylla* x *E. grandis*. Avaliando os fatores isoladamente, apenas o espaçamento de plantio apresentou influência nos valores. Os três materiais genéticos desse híbrido não foram capazes de apresentar influência nos valores de CO<sub>2</sub> equivalente. Por isto, plantios desenvolvidos em espaçamentos mais adensados estocam mais CO<sub>2</sub> que povoamentos plantados em maiores espaçamentos.

**Palavras-chave:** Biomassa florestal; estoque de carbono; floresta plantada; gases do efeito estufa

***EFFECT OF THE COMBINATION BETWEEN GENETIC MATERIALS AND  
PLANTING SPACING ON CO<sub>2</sub> EQUIVALENT VALUES IN PLANTS OF  
*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis****

**ABSTRACT**

The aim of this study was to estimate the influence of the combination of genetic materials and spacing among trees on the amount of CO<sub>2</sub> equivalent in the biomass of seven-year-old *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. The evaluated stand was part of a seven-year-old experimental planting implanted in Chapadão do Sul-MS, Brazil. It was implanted in a Nelder-type systematic design, with three genetic materials planted in three spacings being selected, totaling nine treatments. In each treatment, three trees were chosen, which were felled and measured. The basic wood density, carbon content and amount of biomass (total, above and below ground) were determined. Finally, the values of CO<sub>2</sub> equivalent per hectare of these treatments were estimated. The interaction between the genetic materials and the spacing did not influence the values of CO<sub>2</sub> equivalent in the biomass of *E. urophylla* x *E. grandis*. Evaluating the factors separately, only the planting spacing influenced the values. The three genetic materials of this hybrid were not able to influence the values of CO<sub>2</sub> equivalent. Thus, plantations developed in denser spacing store more CO<sub>2</sub> than stands planted in wider spacing.

**Key words:** Forest biomass; carbon sink; planted forest; greenhouse gases

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL**



### INTRODUÇÃO

Uma das formas de avaliar quantitativamente a sustentabilidade de plantios florestais se dá pela quantificação do estoque de carbono em sua biomassa. Esta avaliação constitui uma ferramenta que pode ser utilizada futuramente na implementação de planos que visam a mitigação das mudanças climáticas, a partir dos projetos de carbono, sendo incluídos nos inventários de emissão de Gases do Efeito Estufa - GEE (IPCC, 2019). Dentre os GEE, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) está presente em maiores concentrações na atmosfera (Kumar *et al.*, 2018), sendo considerado o gás referência para quantificação dos créditos de carbono. Como a árvore é constituída majoritariamente por matéria orgânica, assume-se que sua decomposição libera o carbono que foi fixado nesta biomassa, aumentando a concentração deste elemento na atmosfera.

No Brasil, cerca de 9,93 milhões de hectares são utilizados para a produção florestal, evidenciando aqueles implantados em áreas degradadas e inutilizadas para pecuária e agricultura (IBÁ, 2022). Neste cenário, destacam-se as florestas do gênero *Eucalyptus*, com mercado consolidado, representando as maiores parcelas de produção madeireira nacional. Para isto, o *Eucalyptus* passou por inúmeros estudos de melhoramento genético, culminando em diversos avanços, principalmente em relação ao aumento de produtividade, cuja hibridização constitui uma das técnicas de maior sucesso (Santos *et al.*, 2013). Dentre vários materiais genéticos, destaca-se o híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*, com sua madeira sendo utilizada para diversas finalidades.

Um dos principais fatores que interferem na produção de biomassa é o espaçamento entre árvores. Plantios mais adensados são responsáveis por gerar uma maior quantidade de biomassa por unidade de área, porém formam árvores de menores diâmetros, que geralmente são utilizadas em produtos de rápida liberação de carbono, como papel, celulose e energia (Sereghetti *et al.*, 2015). Porém, plantios mais espaçados geram árvores de maiores diâmetros, que muitas vezes pode compensar a produção de biomassa por área e conseqüentemente a fixação de carbono (Araujo *et al.*, 2021). Além disto, uma vantagem dos maiores espaçamentos é a possibilidade de instalação de sistemas de integração, como o lavoura-pecuária-floresta, que auxilia em melhorias ecológicas nas áreas de produção e aumenta a produtividade de biomassa (Luz *et al.*, 2019).

Compreender como a produção de biomassa e a fixação de carbono interferem na quantidade de CO<sub>2</sub> equivalente em plantios florestais é de grande importância para entendimento do processo de remoção de carbono e da qualidade ambiental destes povoamentos. Para isto, o objetivo desse trabalho foi estimar a influência da combinação entre materiais genéticos e espaçamentos entre árvores na quantidade de CO<sub>2</sub> equivalente na biomassa de *E. urophylla* x *E. grandis*.

### MATERIAL E MÉTODOS

#### Caracterização do plantio e dados dos estoques de carbono

O povoamento avaliado fazia parte de um plantio experimental com sete anos conduzido pela empresa ArborGen Tecnologia Florestal, no projeto TECHS, em Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul, Brasil (latitude 18°48'08"S, longitude 52°36'10"W). As características da área são:

## VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

altitude de 820 m, clima Topical úmido (Aw), temperatura média anual de 22°C, precipitação média anual de 1850 mm e solos do tipo Latossolo Vermelho distrófico com textura argilosa e relevo plano (Alvares *et al.*, 2013; Cunha *et al.*, 2013).

O povoamento foi implantado em delineamento sistemático do tipo Nelder, com espaçamento fixo nas linhas (3,0 m) e 20 espaçamentos com aumento progressivo nas entrelinhas, sendo implantados 20 materiais genéticos na *Eucalyptus* sp. Cada combinação material genético x espaçamento possuía cinco árvores. Para este trabalho foram selecionados três materiais genéticos de *E. urophylla* x *E. grandis* plantados em três diferentes espaçamentos, totalizando nove tratamentos (Tabela 1). Em cada tratamento foram escolhidas três árvores, totalizando 27 árvores avaliadas. Estas foram derrubadas e os fustes foram cubados. Os volumes de fuste por unidade de área e estoques de carbono nos fustes destes materiais estão disponíveis em Araujo *et al.* (2021).

**Tabela 1.** Informações sobre os tratamentos avaliando a combinação material genético x espaçamento entre árvores de *E. urophylla* x *E. grandis*, com sete anos de idade, em Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul, Brasil

Material Genético	Espaçamento	D Médio (cm)	Altura Média (m)
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> 1	3,0 m x 3,0 m	19,8	27,4
	6,0 m x 3,0 m	25,5	30,9
	8,5 m x 3,0 m	27,0	29,4
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> 2	3,0 m x 3,0 m	19,6	31,9
	6,0 m x 3,0 m	23,4	34,3
	8,5 m x 3,0 m	28,0	33,4
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> 3	3,0 m x 3,0 m	20,1	27,9
	6,0 m x 3,0 m	24,1	29,2
	8,5 m x 3,0 m	29,5	30,1

Em que: D = diâmetro da árvore a 1,30 m do solo.

### Estimativas dos valores de biomassa

Os valores de biomassa foram estimados a partir dos fatores de expansão da biomassa (FEB) e da razão de raízes (R) na proporção da biomassa total. Estes indicadores foram utilizados para estimar a biomassa total, pelo somatório da biomassa acima e abaixo do solo. As equações utilizadas para estas estimativas estão descritas em Sanquetta *et al.* (2018). Foi adotado o valor de 1,1667 como o FEB para o gênero *Eucalyptus* (Silva *et al.*, 2015). Para R, foi utilizado o fator 0,17 (Dallagnol *et al.*, 2011; Ribeiro *et al.*, 2015).

### Carbono, densidade básica e estimativas de CO<sub>2</sub> equivalente

De cada árvore foram amostrados cinco discos, nas alturas base, 25%, 50%, 75% e 100% do fuste, que foram utilizados para determinação da densidade básica da madeira, conforme metodologia da NBR 11941 (ABNT, 2003), para conversão do volume para massa seca do fuste. Os teores de carbono do fuste foram obtidos por combustão a seco no equipamento marca LECO, modelo C-144. Estes valores foram utilizados para estimativa dos estoques de carbono, em Mg ha<sup>-1</sup>. A partir destes estoques foram estimados os valores de CO<sub>2</sub> equivalente para a biomassa total, acima e abaixo do solo, por meio da multiplicação dos estoques pelo fator 44/12.

### Delineamento experimental e análises estatísticas

O delineamento experimental consistiu em um fatorial de dois fatores (3 x 3; três materiais genéticos e três espaçamentos), totalizando nove tratamentos. Os dados obtidos foram submetidos

ao teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov (D) e ao teste de homogeneidade de variância de Cochran. Em seguida, foi realizada uma análise estatística inteiramente casualizada em fatorial 3 x 3, com teste de Tukey a 95% de probabilidade para comparação entre as médias dos fatores utilizando programa RStudio versão 1.1.463.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação entre materiais genéticos e espaçamentos entre árvores não influenciou nos valores de CO<sub>2</sub> equivalente na biomassa de *E. urophylla* x *E. grandis*. Avaliando os fatores isoladamente, apenas o espaçamento de plantio apresentou influência nos valores. Os resultados das avaliações estão descritos na Tabela 2. Os dados eram normais e apresentaram variâncias homogêneas.

**Tabela 2.** Avaliação das quantidades de CO<sub>2</sub> equivalente na biomassa de árvores de *E. urophylla* x *E. grandis* plantadas em diferentes espaçamentos, com sete anos de idade, em Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul, Brasil

Material Genético	Espaçamento entre Árvores			Média
	3,0 m x 3,0 m	6,0 m x 3,0 m	8,5 m x 3,0 m	
CO <sub>2</sub> equivalente na biomassa acima do solo (Mg ha <sup>-1</sup> )				
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> 1	400,25	321,60	258,99	326,95 a
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> 2	364,18	336,55	269,77	323,50 a
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> 3	396,18	265,95	260,76	307,63 a
Média	386,87 A	308,03 B	263,17 B	
CO <sub>2</sub> equivalente na biomassa abaixo do solo (Mg ha <sup>-1</sup> )				
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> 1	68,04	54,67	44,03	55,58 a
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> 2	61,91	57,21	45,86	54,99 a
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> 3	67,35	45,21	44,33	52,30 a
Média	65,77 A	52,36 B	44,74 B	
CO <sub>2</sub> equivalente na biomassa total (Mg ha <sup>-1</sup> )				
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> 1	468,29	376,28	303,01	382,53 a
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> 2	426,09	393,76	315,63	378,49 a
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> 3	463,53	311,16	305,09	359,93 a
Média	452,64 A	360,40 B	307,91 B	

Médias seguidas de mesmas letras não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Tukey a 95% de probabilidade. Letras maiúsculas correspondem à comparação entre espaçamentos (linhas) e letras minúsculas correspondem à comparação entre materiais genéticos (colunas).

O espaçamento de plantio é uma das principais fontes de variação na produção de biomassa. As árvores plantadas em maiores adensamentos crescem menos em diâmetro, o que interfere diretamente na produção de biomassa por árvore. Em contrapartida, o número de árvores por hectare compensa a quantidade de biomassa produzida, assim como na quantidade de carbono estocado (Araujo *et al.*, 2021). Este comportamento foi observado neste trabalho, uma vez que o menor espaçamento (3,0 m x 3,0 m) apresentou os maiores valores de CO<sub>2</sub> equivalente estocado na biomassa total, acima e abaixo do solo. Observa-se, portanto, que as florestas de *E. urophylla* x *E. grandis* plantadas em espaçamento 3,0 m x 3,0 m apresentam potencial para remover anualmente da atmosfera cerca de 55,27 Mg CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>.

Estas observações se tornam promissoras, uma vez que os plantios do gênero *Eucalyptus* estão retomando o crescimento de implantação de áreas mais extensas, destacando-se a produção de madeira em plantios adensados para matéria-prima voltada para geração de energia e para indústrias de papel e celulose (IBÁ, 2022). Segundo Sanquetta *et al.* (2018), a quantidade de carbono estocado em florestas de *Eucalyptus* está em ascensão desde 1990. Este cenário enfatiza

novamente a importância dos plantios desse gênero na contribuição da remoção de carbono a partir da fixação na sua biomassa.

### CONCLUSÃO

Os três materiais genéticos do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* não foram capazes de apresentar influência nos valores de CO<sub>2</sub> equivalente. Plantios desenvolvidos em espaçamentos mais adensados estocam mais CO<sub>2</sub> que povoamentos plantados em maiores espaçamentos.

### AGRADECIMENTOS

A empresa ArborGen Tecnologia Florestal, projeto TECHS (*Tolerance of Eucalyptus Clones to Hydric, Thermal and Biotic Stresses*, <http://www.ipef.br/techs/en>), pelo material fornecido.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araujo, E. C. G.; Silva, T. C.; Rocha, M. P.; Sanquetta, C. R. Estoque de carbono na madeira de *Eucalyptus*: relação material genético x espaçamento entre árvores. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 2, e7998, 2021. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2021v14n2e7998>.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11941**: madeira – determinação da densidade básica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 6p.
- Cunha, F. F.; Magalhães, F. F.; Castro, M. A. Métodos para estimativa da evapotranspiração de referência para Chapadão do Sul - MS. **Engenharia na Agricultura**, v. 21, n. 2, p.159-172, 2013. <https://doi.org/10.13083/reveng.v21i2.346>.
- Dallagnol, F. S.; Mognon, F.; Sanquetta, C. R.; Corte, A. P. D. Teores de carbono de cinco espécies florestais e seus compartimentos. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p.410-416, 2011. <https://doi.org/10.4322/foram.2011.060>.
- Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ. **Relatório anual 2022**. São Paulo: Indústria Brasileira de Árvores, 2022. 87 p. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>. Acesso em: 12 Jul. 2023.
- Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. **Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems**. Geneva: IPCC, 2019. 863p. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/11/SRCCL-Full-Report-Compiled-191128.pdf>. Acesso em: 22 Jun. 2023.
- Kumar, M.; Sundaram, S.; Gnansounou, E.; Larroche, C.; Thakur, S. Carbon dioxide capture, storage and production of biofuel and biomaterials by bacteria: a review. **Bioresource Technology**, v. 247, p.1059-1068, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.050>.
- Luz, O. S. L.; Terra, T. G. R.; Lima, S. O.; Siebeneichlet, S. C.; Moraes, C. B.; Leal, T. C. A. B. Luminous interception of eucalyptus clones at different structural arrangements for integrated production systems. **Floresta**, v. 49, n. 2, p.227-236, 2019. <https://doi.org/10.5380/ufv.v49i2.56962>.
- Ribeiro, S. C.; Soares, C. P. B.; Fehrmann, L.; Jacovine, L. A. G.; Gadov, K. von. Aboveground and belowground biomass and carbon estimates for clonal eucalyptus trees in southeast Brazil. **Revista Árvore**, v. 39, n. 2, p.353-363, 2015. <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000200015>.
- Sanquetta, C. R.; Corte, A. P. D.; Pelissari, A. L.; Maas, G. C. B.; Sanquetta, M. N. I. Dinâmica em superfície, volume, biomassa e carbono nas florestas plantadas brasileiras: 1990-2016. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, n. 1, p.152-160, 2018. <https://doi.org/10.5380/biofix.v3i1.58384>.
- Santos, G. A.; Resende, M. D. V.; Silva, L. D.; Higa, A.; Assis, T. F. Adaptabilidade de híbridos multiespécies de *Eucalyptus* ao Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, v. 37, n. 4, p.759-769, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000400019>.
- Sereghetti, G. C.; Lanças, K. P.; Sartori, M. S.; Rezende, M. A.; Soler, R. R. Efeito do espaçamento no crescimento e na densidade básica da madeira de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em florestas de ciclo curto. **Energia na Agricultura**, v. 30, n. 3, p.257-262, 2015. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2015v30n3p257-262>.
- Silva, C. A.; Klauber, C.; Carvalho, S. P. C.; Piccolo, M. C.; Rodriguez, L. C. E. Estoque de carbono na biomassa aérea florestal em plantações comerciais de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 105, p.135-146, 2015. <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br:80/handle/123456789/15066>. 28 Mai. 2023.