

Efeito do estresse hídrico severo na densidade aparente da madeira de *Eucalyptus grandis*

Nathália Cardoso Pereira¹; Gabriel de Assis Pereira¹; Roger Chambi-legoas²; Gilles Chaix³; Mario Tomazello-filho¹

¹ Departamento de Ciências Florestais (LCF), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), Piracicaba/SP, Brasil; ² Departamento de Engenharia Florestal e Ambiental, Universidade Nacional Amazonica de Madre de Dios (UNAMAD), Madre de Dios/PERU; ³ Centro de Cooperação Internacional em Pesquisa Agrícola para o Desenvolvimento (CIRAD), Montpellier/FRANÇA - nathaliacp@usp.br

Resumo: As plantações de eucalipto existentes e as previstas em programas de expansão incluem regiões do país com escassez de água e com alto risco de seca severa, constituindo-se em fator crucial para a sustentabilidade das plantações. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo avaliar como o estresse hídrico severo afeta a densidade aparente da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. Concluiu-se que a densidade aparente do lenho das árvores aumentou durante o período de exclusão de chuvas, havendo diferença de densidade entre os grupos de tratamento, assim como na interação entre os grupos e a idade das árvores.

Palavras-chave: Exclusão de chuvas, Modelos mistos, Qualidade da madeira.

Effect of severe water stress on the apparent density of *Eucalyptus grandis* wood

Abstract: The existing and planned eucalyptus plantations in expansion programs include regions of the country with water scarcity and high risk of severe drought, which is a crucial factor for the sustainability of these plantations. In this context, the present study aims to evaluate how severe water stress affects the wood density of *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden trees. It was concluded that the wood density of the trees increased during the period of rainfall exclusion, showing a difference in density between the treatment groups, as well as in the interaction between the groups and the age of the trees.

Keywords: Rainfall exclusion, Mixed Models, Wood quality

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o setor florestal acumula mais de 7,6 milhões de hectares plantados de *Eucalyptus spp.*, destinados ao setor de papel e celulose (IBÁ, 2022) com perspectivas de aumento na demanda e no desenvolvimento de projetos de expansão e modernização nos próximos anos (ABTCP, 2021; IBÁ, 2022). Apesar da alta capacidade adaptativa das plantações de eucalipto, estas mudanças causarão impactos diretos nas florestas e nas atividades florestais tendo como consequência a necessidade de desencadearem respostas de adaptação frente aos riscos futuros (Booth, 2013; Chou, 2016; IPCC, 2021). Contudo, diversas empresas florestais



continuam investindo em clones limitados somente as especificações com base na madeira para o destino final (Müller *et al.*, 2020), sem considerar a sua adaptabilidade as mudanças climáticas.

Para entender os efeitos do clima na produtividade de florestas plantadas, já foram realizados diversos experimentos de simulação de estresse hídrico. No Brasil, foram realizados dois experimentos excluindo 37% e 33% de água, em florestas plantadas de eucaliptos e que tiveram pouco efeito na taxa de crescimento das árvores (Battie-Laclau *et al.*, 2016) mas apresentaram diferenças na densidade da madeira.

Os produtos gerados a partir da madeira apresentam os maiores custos de produção no setor, e entender os fatores que afetam a sua qualidade são fundamentais para otimizar o seu desempenho produtivo, maximizar a sua eficiência e qualidade do produto (Dias; Simonelli, 2013). Das diversas formas de se avaliar a qualidade da madeira, a densidade do lenho, ou densidade da madeira, é uma das propriedades que melhor expressam o índice de qualidade do uso final dos produtos madeireiros, contudo, os seus valores podem variar conforme o local, idade e condições ambientais (Meneses *et al.*, 2015).

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo avaliar como o estresse hídrico afeta a densidade aparente da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden submetidas a condições de redução de 80% da água das chuvas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

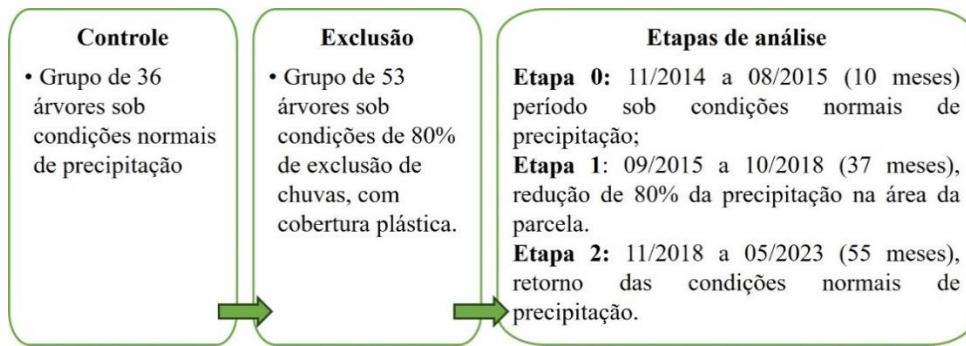
O experimento foi desenvolvido na Estação Experimental de Ciências Florestais, município de Itatinga, Estado de São Paulo, pertencente a Universidade de São Paulo. A região é caracterizada pela vegetação natural de Cerrado e por um clima do tipo Cwa - Clima subtropical (segundo a classificação de Köppen), marcada pela estação seca (abril a setembro) e chuvosa (outubro a março), com precipitação média anual registrada, nos últimos 10 anos, de 1680 mm e temperatura média anual de 20° C.

2.2 Plantio e delineamento experimental

O experimento foi instalado em uma plantação de progêneres de meio-irmãos de árvores de *Eucalyptus grandis* em julho de 2012, em espaçamento de 3x2 m. O

desenho experimental consistiu em duas parcelas compostas por 90 plantas centrais no plantio, com 54 plantas na primeira parcela chamada de controle (C) e 36 plantas na segunda parcela, chamada Exclusão (E). Detalhadamente, o monitoramento do crescimento das árvores de eucalipto do tratamento T ao longo de 3 períodos (Figura 1).

Figura 1. Representação esquemáticas dos grupos experimentais e das etapas de estudo ao longo do tempo em plantio de *E. grandis*, Estação Experimental de Itatinga, São Paulo.



2.3 Monitoramento e crescimento do tronco das árvores

O crescimento em área basal do tronco das árvores de eucalipto foi monitorado em intervalos quinzenais (15 dias) de novembro de 2014 a maio de 2023 utilizando dendrômetros de fita instalados no tronco de 10 árvores por grupo de tratamento (total de 20 árvores). Os dendrômetros forneceram os valores de incremento da circunferência do tronco na altura do peito (CAP) que foram convertidos em incrementos da área basal (IAB). Os dados foram registrados durante os meses de novembro de 2014 (2º ano de idade) a maio de 2023 (10º ano de idade), totalizando 132 meses de avaliação.

2.4 Densidade aparente do lenho

Foram selecionadas 14 árvores de eucalipto no grupo de controle de chuvas e 14 no grupo de exclusão de chuvas, totalizando 28 árvores, estas foram derrubadas e obtidos discos de madeira a altura do diâmetro a altura do peito (DAP). Os discos foram demarcados e cortadas secções transversais (2cm, espessura, no sentido perpendicular as fibras) e acondicionados em câmara de aclimatização (20°C e 60% de umidade relativa) até atingir umidade estável de 12%. Destas amostras foram obtidas imagens de Raios-X no aparelho Faxitron LX-60. As imagens foram analisadas no software



WinDENDRO© (Regent Instruments Inc.) para a determinação do perfil de microdensidade aparente que retorna valores ao longo de toda a amostra no sentido medula-casca.

2.5 Análise de dados

Para os valores de densidade aparente foram testados utilizando os modelos lineares mistos para testar as diferentes interações entre a densidade aparente da madeira com os grupos e a idade das árvores. As medidas dos raios estimados foram redimensionadas a partir dos dados obtidos pelos dendrômetros, conforme equação (equação 1) proposta por Sette Jr *et al.* 2016), que consiste em eliminar o valor referente a espessura da casca dos dados de crescimento radial e, assim, obter um valor próximo ao real a cada 14 dias.

$$R_{s/c} = 0,9096 * R_{c/c} \quad (\text{equação 1})$$

Em que: Rs/c = raio sem casca (cm) e R c/c = raio com casca (cm)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância mostrou que houve diferença entre os tratamentos durante a etapa de exclusão de chuvas, assim como na interação entre idade e tipos de tratamento. Aos 2 anos de idade, a densidade das árvores que foram selecionadas para compor o grupo E, já apresentavam valores superiores ao grupo controle (Tabela 1).

Tabela 1. Valores de significância (p-valores) para os valores de densidade aparente (média, máximo e mínimo) e suas interação com a idade e grupos de tratamento no plantio experimental, em Itatinga, São Paulo.

	Fatores	Etapa 0	Etapa 1	Etapa 2
Dmédia	Grupo	0,0227*	0,0159*	0,059
	Idade	-	0,6330	0,051
	Grupo x Idade	-	0,0083*	0,071
Dmáx	Grupo	0,0750	0,0088 *	0,0491*
	Idade	-	0,0023*	0,0520
	Grupo x Idade	-	0,0011*	0,0373*
Dmín	Grupo	0,0210 *	0,0259*	0,277
	Idade	-	0,0416*	0,220
	Grupo x Idade	-	0,1270	0,331



De forma geral, observa-se que houve diferença significativa entre os grupos de tratamento durante a etapa 1 (exclusão de chuvas). Há uma interação significativa entre tratamento e idade, sugerindo que o efeito de idade sobre a densidade varia dependendo do tratamento. Logo, a redução severa na disponibilidade de água para as árvores aumentou significativamente a densidade aparente da madeira.

Verificou-se no grupo E uma variação radial crescente no período de estresse hídrico intenso, com valores no sentido medula-casca de 0,63 até 0,70 g/cm³. A densidade aparente do lenho das árvores de eucalipto aos 3 anos (Etapa 0) foi de 0,57 g/cm³, próximos aos encontrados por Chambi-Legoas (2016) aos 4 anos e por Franco (2018) aos 5 anos, para árvores de *E. grandis*. Aos 6 anos, as médias variaram de 0,71 g/cm³ e 0,68 g/cm³ para E e C, respectivamente, e aos 10 anos de 0,59 g/cm³ em C e 0,61 g/cm³ em E, valores semelhantes aos encontrados por Tomazello-Filho *et al* (2008) em clones de *E. grandis* x *urophylla* com 7 e 11 anos.

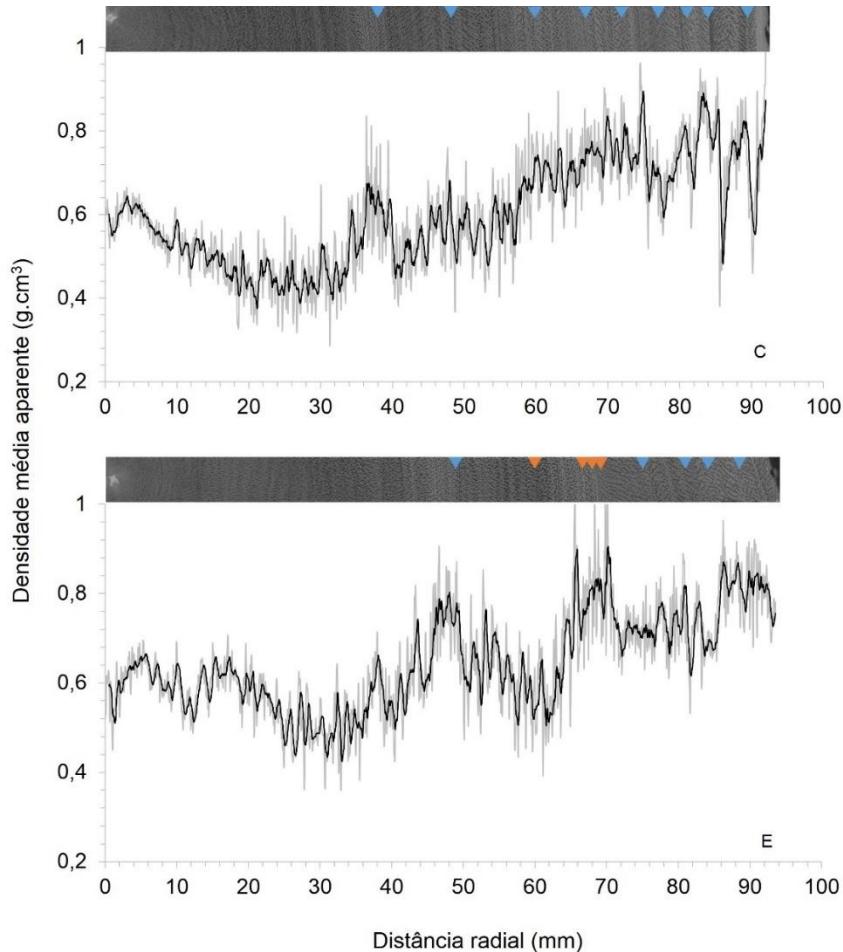
Ao fim do experimento, as árvores de ambos os grupos apresentaram um modelo de variação radial de densidade similar dentro dos tratamentos, caracterizados pelo aumento na densidade aparente nos momentos de déficit hídrico para o grupo E e pelo aumento no sentido longitudinal medula-casca em C, característico do lenho das árvores sob condição normal de precipitação (Figura 1).

Estes resultados corroboram com os estudos sobre densidade aparente em árvores de eucalipto, em que a diminuição da água disponível para as plantas resulta em aumento na densidade da madeira (Tomazello *et al*, 2008; Drew *et al*, 2009; Sette Jr, *et al*, 2012; Freitas *et al*, 2015; Chambi-Legoas *et al*, 2021).

Nesse sentido, entende-se que as árvores de *E. grandis* quando submetidas a estresse hídrico severo são resilientes e utilizam de estratégias fisiológicas, a exemplo de aumento na área de vasos, maior adensamento das fibras e utilização de nutrientes para sobreviver, o que resulta em maior densidade aparente da madeira. Entretanto, estas variáveis devem ser testadas e comprovadas em estudos futuros a fim de avaliar de que forma o conjunto de fatores influenciaram na largura dos anéis de crescimento das árvores de eucalipto.



Figura 1. Perfil radial de densidade aparente da madeira à altura do peito do tronco das árvores de *E. grandis* aos 10 anos nos tratamentos Controle (C) e Exclusão (E) no plantio experimental em Itatinga, São Paulo.



Em que: Linhas em cinza claro representam o perfil de densidade aparente (12% de umidade) da madeira e linhas em preto indicam a linha de tendência média da densidade, Setas indicam os anéis de crescimento, iniciando no ano de 2014 e finalizando o último anel formado em 2022, Setas azul representam anos de condições normais de precipitação e laranjas representam o período de exclusão de chuvas.

4. CONCLUSÃO

Pode concluir-se com a realização deste trabalho que:

- Houve diferença significativa entre a densidade aparente do lenho das árvores entre os grupos de tratamento, em que a densidade aparente do lenho das árvores aumentou durante o período de exclusão de chuvas, houve, também, um aumento na densidade em relação a idade das árvores.
- Estas variações de densidade podem influenciar no destino final da madeira,



sendo, ainda, necessários mais estudos no sentido de avaliar as suas propriedades físicas, químicas e anatômicas da madeira.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo 2022/16209-5, pela concessão de bolsa.

6. REFERÊNCIAS

ABTCP, PERSPECTIVA GLOBAL SOBRE CELULOSE E PAPEL: IMPACTOS DA COVID-19 NO SUPRIMENTO E NA DEMANDA Por Renata Mercante, editora sênior de notícias da Fastmarkets RISI, Panorama Fastmarkets RISI, [s.l: s.n.], Disponível em: <http://www.guiacomprascelulosepapel.org.br/publicador/noticia-anexos/1605625120_c4609f0bcd7f6927a49a0cb4f19989cd_1155143280.pdf>, Acesso em: 15 set, 2022,

BOOTH, T, H, Eucalypt plantations and climate change, **Forest Ecology and Management**, v, 301, p, 28–34, 2013,

CHAMBI-LEGOAS, R, Efeito do potássio e do sódio no crescimento e nas propriedades do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* sob duas condições de regime hídrico, Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “ Luiz de Queiroz ”, 135 p, 2016,

CHAMBI-LEGOAS, R,; CHAIX, G,; CASTRO, V, R,; FRANCO, M, P,; TOMAZELLO-FILHO, M, Inter-annual effects of potassium/sodium fertilization and water deficit on wood quality of *Eucalyptus grandis* trees over a full rotation, **Forest Ecology and Management**, v, 496, 2021,

CHOU, S, C, Simulações em alta resolução das mudanças climáticas sobre a América do Sul, In: Modelagem Climática e Vulnerabilidades Setoriais à Mudança do Clima no Brasil Ministério, Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, cap 2, p, 49 – 85, 2016,

DIAS, O, A,; SIMONELLI, G, Qualidade Da Madeira, **Enciclopédia Biosfera**, v, 9, n, 17, p, 3632–3646, 2013,

DREW, D, M,; DOWNES, G, M,; GRADY, A,CP, O,; READ, J,; WORLEDGE, D, High resolution temporal variation in wood properties in irrigated and non-irrigated *Eucalyptus globulus*, **Annals of Forest Science**, v, 66, 10 p, 2009,



FRANCO, M, P, **Plasticidade de árvores de Eucalyptus grandis no contexto das mudanças climáticas: interação do déficit hídrico e da fertilização no crescimento e qualidade do lenho das árvores**, Tese (Doutorado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “ Luiz de Queiroz ”, 172 p, 2018,

FREITAS, P, C,; SETTE JR, C, R,; CASTRO, V, R, C,; CHAIX, G,; LACLAU, J, P,; TOMAZELLO-FILHO, M, Efeito da disponibilidade hídrica e da aplicação de potássio e sódio nas características anatômicas do lenho juvenil de *Eucalyptus grandis*, **Revista Árvore**, v, 39, n, 2, p, 405-416, 2015,

IBÁ, 2022, **Relatório Anual IbáIndustria brasileira de árvores**, [s,l: s,n,],

IPCC, **Climate Change 2021: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, [s,l: s,n,], Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>>, Acesso em: 13 set, 2022,

LACLAU, J,-P,; ALMEIDA, J, C, R,; LEONARDO, J,; GONÇALVES, M,; SAINT-ANDRÉ, L,; VENTURA, M,; RANGER, J,; MOREIRA, R, M,; NOUVELLON, Y, Influence of nitrogen and potassium fertilization on leaf lifespan and allocation of above-ground growth in Eucalyptus plantations, **Tree Physiology**, v, 29, n, 111–124, 2009,

MENESES, V, A,; TRUGILHO, P, F,; CALEGARIO, N,; LEITE, H, G, Efeito da idade e do sítio na densidade básica e produção de massa seca de madeira em um clone do *Eucalyptus urophylla*, **Scientia Forestalis**, v, 43, n, 105, p, 101-116, 2015,

MÜLLER, C,; HODECKER, B, E, R,; DE BARROS, N, F,; MERCHANT, A, A physiological approach for pre-selection of eucalyptus clones resistant to drought, **IForest**, v, 13, n, 1, p, 16–23, 2020,

SETTE JR, C, R,; OLIVEIRA, I, R,; TOMAZELLO-FILHO, M,; YAMAJI, F, M,; LACLAU, J, P, Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*, **Revista Árvore**, v, 36, n, 6, p, 1183-1190, 2012,

TOMAZELLO-FILHO, M,; BRAZOLIN, S,; CHAGAS, M, P,; OLIVEIRA, J, T, S,; BALLARIN, A, W,; BENJAMIN, C, A, Application of X-RAY technique in nondestructive evaluation of Eucalypt wood, **Maderas, Cienc, tecnol**, v, 10, n, 2, p, 139-149, 2008,