

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

Danielle Ferreira de Oliveira

**Efeito de famílias autofecundadas de *Eucalyptus grandis* em
caracteres de sementes e frutos.**

Ilha Solteira
2025

DANIELLE FERREIRA DE OLIVEIRA

**Efeito de famílias autofecundadas de *Eucalyptus grandis* em
caracteres de sementes e frutos.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira –
UNESP como parte dos requisitos para obtenção
do Grau de Bacharel em Ciências Biológicas.

Prof. Dr. Bruno Ettore Pavan

Ilha Solteira
2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- O48e Oliveira, Danielle Ferreira de.
Efeito de famílias autofecundadas de *Eucalyptus grandis* em caracteres de sementes e frutos / Danielle Ferreira de Oliveira. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025
36 f. : il.
- Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2025
- Orientador: Bruno Ettore Pavan
- Inclui bibliografia
1. Depressão endogâmica. 2. Eucalipto. 3. Produção de sementes.

**ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE BACHARELADO
EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

EFEITO DE FAMÍLIAS AUTOFECONDADAS DE *Eucalyptus grandis* EM CARACTERES DE
SEMENTES E FRUTOS

NOME DA ALUNA: DANIELLE FERREIRA DE OLIVEIRA

REGULAMENTO SOBRE A AVALIAÇÃO:

ARTIGO 25º - § 2º A apresentação pública do trabalho de TCC deverá ser de no mínimo 20 (vinte) minutos e máximo de 40 (quarenta) minutos. Após um intervalo de 5 (cinco) minutos, haverá a arguição do Trabalho pelos examinadores. O tempo de arguição, será de até 15 (quinze) minutos para cada examinador, e até 15 (quinze) minutos o tempo para a resposta do(a) aluno(a) a cada examinador ou no caso de se optar pelo diálogo, o tempo conjunto entre examinador e acadêmico(a) será de no máximo 30 (trinta) minutos.

ARTIGO 24º - No julgamento do TCC, a banca examinadora deverá avaliar a apresentação oral, escrita e a defesa do trabalho durante a arguição. O conceito final será APROVADO ou REPROVADO.

COMISSÃO EXAMINADORA

1º EXAMINADOR: (Orientador-Presidente) Prof. Dr. Bruno Ettore Pavan

2º EXAMINADOR: Eng. Florestal MSc. Nauan Ribeiro Marques Cirilo *Nauan Ribeiro Marques Cirilo*

3º EXAMINADOR: MSc. Fábio Amaral de Almeida Moraes

Documento assinado digitalmente
 **BRUNO ETTORE PAVAN**
Data: 06/11/2025 09:47:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente
 **FABIO AMARAL DE ALMEIDA MORAIS**
Data: 06/11/2025 14:57:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

CONCEITO:

☒ **APROVADO**

☐ **REPROVADO**

Ilha Solteira- SP, 13 de outubro de 2025.



*Dedico esse trabalho à minha família como forma de agradecimento
por todo apoio e suporte que me fizeram chegar até aqui.*

AGRADECIMENTOS

À minha família, Arionaldo, Francisca, Rafaela e Arthur, que sempre foram minha base, meu porto seguro e minha maior inspiração. Vocês fizeram de tudo para que eu pudesse seguir meu sonho e ser a primeira a conquistar um diploma. Sem o amor, apoio e dedicação de vocês, eu não teria chegado até aqui.

À minha namorada, Samanta, por estar ao meu lado neste momento tão especial e por compartilhar comigo a reta final dessa conquista.

Aos meus amigos e à República Tcheca, por transformarem Ilha Solteira em um verdadeiro lar. Obrigada pelo incentivo, pelos conselhos e por serem minha família durante esses anos.

Ao meu professor e orientador, Prof. Dr. Bruno Pavan, pela paciência, orientação e pela oportunidade de aprendizado que levarei para toda a vida.

À Dra. Maria Eduarda, pela parceria, ensinamentos e apoio fundamentais para a realização deste trabalho.

À Eldorado Brasil S.A., por disponibilizar o pomar de eucalipto utilizado neste trabalho, e ao CNPq, pelo apoio por meio do programa PIBIC, que me permitiu o primeiro contato com a pesquisa.

À Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, pelo acolhimento durante minha formação e pela estrutura que possibilitou a minha formação.

E, finalmente, a todos que, de alguma forma, contribuíram para esta trajetória, registro aqui o meu sincero agradecimento.

“Você deve entrar no mundo com a confiança de que
pertence a ele.” – Rupi Kaur

RESUMO

O melhoramento genético das espécies de eucaliptos tem sido fundamental para o avanço da produtividade florestal. No entanto, os testes de progênies são demorados e onerosos, o que torna constante a busca por alternativas que acelerem o processo de seleção. Nesse contexto, a utilização de progênies autofecundadas surge como uma estratégia promissora, embora exija avaliação quanto aos efeitos da depressão por endogamia na formação e produção de sementes. O objetivo deste estudo foi verificar o efeito da autofecundação em caracteres biométricos de sementes e frutos em *Eucalyptus grandis*. Foram utilizadas quatro matrizes de *E. grandis* pertencentes a empresa Eldorado Brasil SA., das quais foram coletados 20 frutos por forma de polinização e matriz, totalizando quatro repetições de cinco frutos. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema de parcelas subdivididas, considerando a matriz como parcela e a forma de polinização como subparcela. As análises de variância e os agrupamentos de médias foram realizados pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, com auxílio do programa Genes. Os resultados indicaram que a depressão por endogamia se manifesta de forma distinta entre matrizes de *E. grandis* para caracteres de frutos e sementes, o que exige cautela na adoção de famílias autofecundadas em programas de melhoramento, podendo acarretar a necessidade de maior número de botões florais para obtenção de sementes em quantidade suficiente. Esses resultados contribuem para o aprimoramento de programas de melhoramento genético de *Eucalyptus grandis*, especialmente quanto à eficiência reprodutiva e à qualidade das sementes.

Palavras-chave: Depressão endogâmica; Eucalipto; Produção de sementes.

ABSTRACT

The genetic improvement of *Eucalyptus* species has been fundamental for advancing forest productivity. However, progeny testing is time-consuming and costly, which makes the search for alternatives that can accelerate the selection process a constant need. In this context, the use of self-fertilized progenies emerges as a promising strategy, although it requires evaluation regarding the effects of inbreeding depression on seed formation and production. The objective of this study was to evaluate the effect of self-fertilization on biometric traits of seeds and fruits in *Eucalyptus grandis*. Four *E. grandis* matrices belonging to the company Eldorado Brasil S.A. were used, from which 20 fruits were collected per pollination type and per matrix, totaling four replications of five fruits. The experimental design was completely randomized, in a split-plot scheme, considering the matrix as the main plot and the pollination type as the subplot. Analysis of variance and mean grouping were performed using the Scott-Knott test at a 5% probability level, with the aid of the Genes statistical software. The results indicated that inbreeding depression manifests differently among *E. grandis* matrices for fruit and seed traits, which demands caution in the use of self-fertilized families in breeding programs, as it may require a larger number of floral buds to obtain a sufficient quantity of seeds. These results contribute to the improvement of *Eucalyptus grandis* breeding programs, particularly regarding reproductive efficiency and seed quality.

Keywords: Inbreeding depression; *Eucalyptus grandis*; Seed production.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Matrizes do viveiro de mudas da empresa Eldorado SA
- Figura 2** - Flor de *Eucalyptus grandis* (fecundação livre)
- Figura 3** - Polinização artificial por protoginia induzida, utilizando pólen seco beneficiado e armazenado previamente.
- Figura 4** - Sementes de *E. grandis* recolhidas do pomar e armazenada no laboratório da Unesp Ilha Solteira.
- Figura 5** - Teste de germinação com a disposição das vinte sementes para cada matriz nas caixas de gerbox com substrato florestal instalados no Laboratório de Tecnologia de Sementes da FEIS/UNESP
- Figura 6** - Teste de germinação com as caixas gerbox posicionadas com substrato florestal e vinte sementes para cada matriz e tipo de polinização com quatro repetições instalados no Laboratório de Tecnologia de Sementes da FEIS/UNESP.
- Figura 7** - Teste de Emergência das sementes extraídas da Matriz GRD 114 e polinização livre
- Figura 8** - Teste de Emergência das sementes extraídas da Matriz GRD 109 e autofecundação induzida

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Resumo da análise de variâncias e componentes genéticos para matrizes de *Eucalipytus grandis* com caracteres de sementes e frutos.
- Tabela 2** - Testes de médias para as matrizes de *Eucalyptus grandis* e Índices de depressão por endogamia das progênes autopolinizadas e de polinização livre.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS.....	16
1.1.1 Objetivo geral.....	16
1.1.2 Objetivos específicos.....	16
2. REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 A Cultura do Eucalipto.....	16
2.2 Melhoramento Florestal	18
2.3 Aspectos ecológicos e impactos ambientais	20
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
5. CONCLUSÃO	32
6. REFERÊNCIAS	32

1. INTRODUÇÃO

As florestas de eucalipto oferecem benefícios ambientais significativos, frequentemente associados à redução da pressão sobre as florestas nativas, à recuperação de áreas degradadas e ao desenvolvimento econômico sustentável. De acordo com Viana (2004), o cultivo do eucalipto melhora a qualidade do solo, aumentando a matéria orgânica e promovendo a ciclagem de nutrientes. Estudos recentes da Embrapa Cerrados (Ribeiro *et al.*, 2023) também demonstraram o potencial dessas plantações como sumidouros de carbono, destacando a alta capacidade do eucalipto de estocar carbono tanto na biomassa aérea quanto no solo, em níveis semelhantes aos observados no Cerrado nativo, o que reforça sua contribuição para a mitigação das mudanças climáticas.

Essa combinação de benefícios ambientais com o rápido crescimento, alta adaptabilidade e produtividade faz do eucalipto um gênero altamente cultivado para a produção de papel, celulose, móveis, painéis de madeira, pisos, carvão e diversos insumos para a construção civil (Bertola, 2004). No Brasil, o eucalipto representa 76% das áreas florestais plantadas, com uma extensão de 7,8 milhões de hectares e um crescimento expressivo na última década. Esse avanço se deve, em grande parte, ao melhoramento genético, que manteve a produtividade média nacional de eucalipto estável nos últimos cinco anos, variando entre 32,7 e 38,9 m³/ha/ano, com ciclos médios de cerca de sete anos (IBÁ, 2024).

Entre as espécies cultivadas, o *Eucalyptus grandis* se destaca como uma das principais do subgênero *Symphyomyrtus*, devido à sua importância econômica e alta variabilidade genética (Scanavaca Júnior; Garcia, 2021). Além de ser amplamente empregado na indústria florestal, apresenta alta capacidade de cruzamento com outras espécies, como o *Eucalyptus urophylla*, possibilitando a formação de híbridos vigorosos com características desejáveis (Rezende e Resende, 2000; Assis, 2000; Baudouin *et al.*, 1997; Ferreira e Santos, 1997). Juntas, essas duas espécies compõem a base da maioria dos programas de melhoramento genético de eucalipto no Brasil, dada a ampla adaptação e o elevado potencial produtivo dos híbridos resultantes. (Fonseca *et al.*, 2014; Cruz *et al.*, 2014).

Apesar da preferência por cruzamentos, *Eucalyptus grandis* apresenta um sistema reprodutivo misto, com taxa de autogamia estimada em até 30% (Eldridge, 1983). Essa fertilização parcial permite identificar os efeitos da endogamia em características biométricas, uma vez que favorece a manifestação de genes deletérios ou letais, possibilitando a seleção de genótipos mais resistentes. No entanto, a endogamia também provoca depressão por

endogamia, associada à homozigose de genes recessivos que reduzem o vigor das progênes (Nickolas et al., 2019; Faia et al., 2022). Assim, nos programas de melhoramento genético, a autofecundação é usada para expor alelos deletérios, possibilitando sua identificação e posterior eliminação das matrizes portadoras, o que contribui para o aumento da variabilidade genética entre as progênes.

A alta variabilidade genética também proporciona resiliência contra ameaças como pragas, doenças e mudanças climáticas (Silva et al. 2019). O melhoramento genético desempenha papel fundamental nesse contexto, pois as práticas de seleção genética são essenciais para garantir produtividade, qualidade da madeira e crescimento rápido. Assim, a maneira mais eficiente de assegurar às plantações florestais alta produtividade e vigor é o uso de sementes de boa qualidade genética, que apresentem elevado potencial germinativo e desenvolvimento uniforme (Fowler, 2021). A influência do ambiente e a alta variabilidade genética das espécies florestais, devido à alogamia, resultam em variações no processo de germinação. Assim, o estudo de sementes possibilita um melhor manejo silvícola de populações da espécie *E. grandis*. Com o objetivo de aumentar a rapidez nos ganhos por ciclo seletivo, a utilização de progênes endogâmicas expõe a manifestação de alelos deletérios nas populações, para que posteriormente seja possível eliminá-los e otimizar a variabilidade genética das progênes autofecundadas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Compreender o efeito da autofecundação na espécie *Eucalyptus grandis* em caracteres biométricos de sementes e frutos.

1.1.2 Objetivos específicos

- Estimar a magnitude da depressão por endogamia em progênies autofecundadas.
- Avaliar a influência da autofecundação sobre a germinação e o vigor das sementes.
- Contribuir para estratégias de seleção em programas de melhoramento florestal, considerando a variabilidade genética da espécie.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Cultura do Eucalipto

O gênero *Eucalyptus* é nativo da Austrália, Tasmânia e outras ilhas da Oceania, e desenvolveram ao longo do seu processo evolutivo, mecanismos de adaptação frente às condições únicas e desafiadoras do continente australiano, como solos pobres e desérticos, muitas variações climáticas extremas e incêndios florestais. Esse histórico evolutivo contribuiu para sua notável resistência, rápido crescimento e capacidade de recuperação sob condições adversas, características que tornam essa árvore vantajosa para regiões de clima variado, como o Brasil (Bertola, 2004). De acordo com a Embrapa (2023), existem cerca de 730 espécies de eucalipto reconhecidas pela botânica, apenas cerca de 20 são amplamente cultivadas para fins comerciais, dado seu alto valor econômico e adaptabilidade.

A cultura do eucalipto é de grande relevância para o Brasil, pois abastece setores industriais estratégicos, como a produção de celulose e papel e a siderurgia com carvão vegetal. Além disso, a madeira de eucalipto é amplamente utilizada em diversas aplicações, como madeira serrada, postes e bioenergia. Esse cultivo representa uma significativa fonte de receita para o país e contribui para a conservação ambiental, ao reduzir a pressão sobre as florestas nativas e ajudar na preservação de espécies autóctones (Embrapa, 2016).

No Brasil, o eucalipto foi introduzido em meados do século XIX, inicialmente com propósitos de paisagismo e como barreiras quebra-ventos, além da extração de óleos essenciais.

Com o tempo, a espécie ganhou relevância nas práticas silviculturais, especialmente a partir das iniciativas de Edmundo Navarro de Andrade, que conduziu estudos em Jundiaí e Rio Claro, no estado de São Paulo. Esses estudos, iniciados em 1904, foram fundamentais para atender às crescentes demandas de lenha, postes e dormentes da extinta Companhia Paulista de Estradas de Ferro (CPEF), posteriormente denominada Ferrovia Paulista S.A. - Fepasa entre 1971 e 1998, e, mais tarde, incorporada à Rede Ferroviária Federal. A base técnica e científica estabelecida por Andrade desempenhou um papel crucial no desenvolvimento do eucalipto como uma importante alternativa para suprir as necessidades de infraestrutura do transporte ferroviário, além de promover o uso sustentável da madeira. (Embrapa, 2016). Com a expansão das ferrovias, o eucalipto passou a ser utilizado em dormentes, postes e como lenha para as locomotivas, aproveitando seu rápido crescimento e resistência. Apenas na década de 1960 o cultivo extensivo do eucalipto ganhou força, consolidando-se como a árvore mais plantada do país. Hoje, o setor brasileiro de árvores cultivadas movimenta aproximadamente US\$12,7 bilhões no mercado internacional, posicionando o Brasil como o maior exportador mundial de celulose, com mais de 18 milhões de toneladas exportadas anualmente. Em 2023, o valor bruto da produção deste setor chegou a R\$202,6 bilhões, com uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 3,2% na última década (IBÁ, 2024). As espécies mais plantadas incluem *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus viminalis*, híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* e *Eucalyptus dunnii* (Embrapa, 2019). Essas espécies, juntamente com seus híbridos entre espécies, representam aproximadamente 90% dos recursos globais em plantações de eucaliptos distribuídos em 90 países (Silva et al. 2019)

Além de sua alta adaptabilidade a diferentes climas, o eucalipto possui um significativo potencial econômico. Com um ciclo de corte que se inicia aos sete anos, permite até três rotações sucessivas, atingindo o ciclo final em cerca de 21 anos. Seus produtos são diversos, incluindo madeira, celulose, carvão vegetal, óleos essenciais, medicamentos e energia, características que explicam seu papel central na silvicultura e economia brasileira (Scolforo et al., 2008).

2.2 Melhoramento Florestal

O melhoramento florestal é uma área da genética aplicada que busca aprimorar características desejáveis de árvores para aumentar a produtividade, melhorar a qualidade da madeira e incrementar a resiliência a estresses ambientais. Esse processo envolve a seleção e reprodução de indivíduos com características superiores, resultando em ganhos genéticos nas populações de interesse (Cruz et al., 2014).

A crescente demanda por madeira e produtos florestais tem impulsionado a adoção de estratégias inovadoras no uso do germoplasma, principalmente no gênero *Eucalyptus*. As técnicas de melhoramento têm se concentrado em aumentar a produtividade, melhorar a qualidade da madeira e fortalecer a resistência a pragas e doenças. Entre as estratégias mais utilizadas, destacam-se os híbridos interespecíes, como o *Eucalyptus urograndis* (híbrido de *E. urophylla* e *E. grandis*), que combinam as características desejáveis de ambas as espécies parentais, e são amplamente empregados em plantações comerciais (Fonseca et al., 2014). Além disso, o desenvolvimento de clones altamente produtivos e a promoção de recombinações genéticas são fundamentais para atender às necessidades do setor industrial de base florestal (Embrapa, 2016). Nesse contexto, a diversidade genética desempenha um papel crucial para o sucesso a longo prazo dos programas de melhoramento florestal e garante o sucesso a longo prazo das populações de elite (Resende, 2002; White; Adams; Neale, 2007).

A variabilidade genética nas populações de eucalipto é baseada em parâmetros quantitativos obtidos em observações fenotípicas realizadas em testes de progênies. Essas avaliações possibilitam a seleção de indivíduos com características superiores, o que aumenta a capacidade adaptativa das árvores frente a estresses bióticos, como ataques de pragas e doenças, e abióticos, incluindo variações nas condições de solo e clima (Silva et al., 2018; Poltri et al., 2003). Populações com alta variabilidade genética são mais resilientes e apresentam uma maior capacidade de adaptação a mudanças ambientais, além de serem menos suscetíveis a doenças (Grattapaglia; Bradshaw, 1994).

Entre os fatores que contribuem para a diversidade genética nas populações naturais de eucalipto, destacam-se a ampla origem geográfica e a predominância da polinização cruzada. Esses aspectos resultam em um vasto pool genético, que é essencial para a seleção de indivíduos com características desejáveis, favorecendo o progresso genético nos programas de melhoramento (Cruz et al., 2014).

A compreensão dos mecanismos de polinização e dos efeitos da autofecundação é essencial nos programas de melhoramento de *Eucalyptus grandis*, uma vez que influencia diretamente a produtividade e a qualidade das sementes. Em pomares clonais e de hibridação controlada, a ocorrência de autofecundação pode reduzir o vigor das progênes, afetando o desenvolvimento inicial das plantas e o rendimento de frutos e sementes (Nickolas *et al.*, 2019; Faia *et al.*, 2022). A avaliação da taxa de autofecundação permite identificar matrizes com maior propensão à endogamia e, conseqüentemente, ajustar estratégias de polinização e seleção de genótipos.

Além de contribuir para a manutenção da variabilidade genética, essas informações auxiliam na otimização da produtividade dos pomares de sementes e no aprimoramento da qualidade fisiológica e genética das progênes produzidas (Eldridge *et al.*, 1993; Resende, 2002). Dessa forma, compreender o comportamento reprodutivo das espécies de *Eucalyptus* e a influência da autofecundação no desempenho das sementes é fundamental para programas de melhoramento voltados à eficiência produtiva e à sustentabilidade das plantações comerciais.

No entanto, apesar das vantagens da alta variabilidade genética, estudos recentes têm identificado uma estabilização nos ganhos genéticos obtidos em programas de melhoramento florestal. Esse fenômeno pode ser atribuído, em parte, ao estreitamento da base genética ao longo dos ciclos de seleção. Com o tempo, o aumento na frequência de alelos favoráveis em detrimento dos alelos deletérios pode reduzir a variabilidade genética (Jones *et al.*, 2006; Xu *et al.*, 2017; White *et al.*, 2007).

No Brasil, o eucalipto desempenha um papel estratégico, sendo a principal fonte de madeira para atender às necessidades do setor industrial de base florestal. Devido ao longo ciclo de desenvolvimento dessas espécies, é comum adotar uma seleção intensiva para promover os ganhos genéticos em características específicas. No entanto, quando essa abordagem é aplicada de maneira inadequada, pode resultar na diminuição da diversidade genética das populações, com a conseqüente redução da frequência de alelos que poderiam ser cruciais para os ciclos de melhoramento futuros (IBÁ, 2024; Jones *et al.*, 2006).

Além disso, a redução da variabilidade genética também pode ocorrer devido a falhas nos procedimentos de controle de qualidade do melhoramento genético podendo resultar em autofecundações ou cruzamentos entre indivíduos aparentados, o que compromete os ganhos genéticos e diminui o tamanho efetivo populacional, afetando diretamente a eficácia dos programas de melhoramento (Miranda *et al.*, 2019).

A autofecundação em eucaliptos está frequentemente associada à depressão por endogamia, refletida na redução do vigor, crescimento e sobrevivência das progênes (Nickolas et al., 2019; Faia et al., 2022). Ainda assim, quando utilizada de forma planejada, pode oferecer vantagens, como a identificação e eliminação mais rápida de alelos deletérios e maior precisão na estimação de parâmetros genéticos (Estopa et al., 2007). Contudo, seu uso excessivo pode comprometer a produtividade e a adaptabilidade das populações, além de demandar maior número de matrizes ou botões florais para obtenção de sementes em quantidade suficiente (Faia et al., 2022). Dessa forma, o aproveitamento das progênes autofecundadas deve equilibrar seus potenciais benefícios com os riscos inerentes à endogamia, garantindo que contribuam de forma positiva aos programas de melhoramento florestal.

2.3 Aspectos ecológicos e impactos ambientais

As florestas plantadas com eucalipto têm se mostrado uma alternativa eficaz para ocupar áreas marginais e degradadas, muitas vezes improdutivas para a agricultura, e apresentam benefícios ambientais relevantes. Em regiões tropicais, onde os solos são mais vulneráveis à degradação, a silvicultura com espécies perenes, como o eucalipto, torna-se uma solução ambientalmente eficaz para reduzir a erosão, conservar os recursos hídricos e restaurar a qualidade do solo (Bertola, 2004).

A silvicultura desempenha papel estratégico no desenvolvimento sustentável, ao fornecer madeira e outros produtos, reduzir a pressão sobre florestas nativas e contribuir para a conservação ambiental. No Brasil, além desses benefícios, representa também um setor econômico relevante, responsável pela geração de empregos, pelo fornecimento de matéria-prima e pelo fortalecimento da base industrial, com destaque para o cultivo do eucalipto, principal espécie plantada no país (Banco do Nordeste do Brasil – BNB, 2019). Nesse cenário, a introdução do eucalipto se consolidou como alternativa viável para reduzir a exploração de florestas nativas e apoiar a conservação dos ecossistemas (Embrapa, 2016).

O eucalipto também apresenta eficiência na proteção do solo e da água. Durante as chuvas intensas, sua copa evita o impacto direto das gotas no solo, minimizando a erosão e preservando os recursos hídricos adjacentes, já que as partículas de solo transportadas pela enxurrada podem provocar assoreamento de rios, córregos e lagos (Cândido et al., 2014). Outro aspecto importante é a capacidade de fixação de CO₂, uma vez que um hectare de plantio de

eucalipto pode estocar até 184 toneladas de carbono no ciclo de sete anos, contribuindo para a redução de gases de efeito estufa (Lelis, 2019).

Estudos realizados por Lima (1996) e Viana (2004) demonstram que o cultivo de eucalipto melhora os atributos químicos do solo, enriquecendo-o com matéria orgânica e estimulando a ciclagem de nutrientes. Além disso, a espécie atua como uma barreira eficaz contra a erosão, protegendo o solo da degradação provocada pela erosão hídrica. Pesquisas de Pires et al. (2006) confirmam que o manejo adequado das florestas de eucalipto reduz significativamente as perdas de solo, mantendo-as muito abaixo dos limites de tolerância, o que garante a sustentabilidade desses plantios. Quando comparadas ao solo de Mata Atlântica e a áreas desprovidas de cobertura, as plantações de eucalipto apresentam perdas de solo semelhantes às da vegetação nativa, reafirmando sua importância na proteção do solo (Martins et al., 2010).

Quanto ao consumo de água, a prática florestal bem manejada revela-se favorável e eficiente. O relatório mais recente do IBÁ (2024) indica que aproximadamente 82% da água captada para uso nas fábricas de celulose e papel retorna aos corpos d'água após tratamento, enquanto apenas 0,3% é efetivamente consumida, permanecendo retida no produto final. No segmento de pisos e painéis, a taxa de retorno de água tratada é de 63%, refletindo as práticas de conservação que minimizam o impacto hídrico. Assim, os potenciais impactos negativos associados ao consumo hídrico das plantações de eucalipto estão, na maioria das vezes, relacionados a manejos inadequados, e não à espécie em si.

No Brasil, as empresas do setor de árvores cultivadas têm demonstrado um investimento contínuo em práticas que enfrentam as mudanças climáticas, promovendo o uso sustentável dos recursos naturais e adotando técnicas de manejo que otimizem o sequestro de carbono. Esse setor tem contabilizado o carbono capturado e armazenado em suas florestas, que são essenciais para a descarbonização. Atualmente, o estoque de dióxido de carbono equivalente (CO_2eq) em florestas produtivas é estimado em 1,86 bilhão de toneladas, enquanto em florestas naturais destinadas à conservação chega a 3,06 bilhões de toneladas. Em 2022, o estoque médio de carbono na biomassa das florestas plantadas foi estimado em 182,59 $\text{tCO}_2\text{eq/ha}$, evidenciando a capacidade significativa dessas florestas de capturar carbono e o impacto positivo da atividade florestal no combate às mudanças climáticas (IBÁ, 2024).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no viveiro de mudas de polinização controlada da empresa Eldorado Brasil S.A., localizado no município de Andradina, estado de São Paulo (20°53'08,35'' S; 51°21'28,11'' O; altitude de 382 m). O pomar conta com aproximadamente 800 vasos de diferentes espécies de *Eucalyptus*, e neste estudo foram selecionadas quatro matrizes de *Eucalyptus grandis* (GRD 109, GRD 114, GRD 124 e GRD 144) com maior incidência de floração. (Figura 1).

Foram avaliadas duas formas de polinização: autopolinização (Auto) e polinização cruzada (Cruzada) (Figura 2). O método empregado foi a polinização artificial com indução de protoginia, que consiste na introdução manual de pólen seco beneficiado no botão floral próximo à abertura do opérculo. Para a autopolinização, utilizou-se o pólen da própria matriz; para a polinização cruzada, aplicou-se uma mistura de pólenes (polimix) provenientes de diferentes matrizes da mesma espécie (Figura 3).

Após o processo de polinização, os frutos foram mantidos no campo até a maturação natural. Posteriormente, foram coletados 20 frutos por matriz e por tipo de polinização, organizados em quatro repetições de cinco frutos por tratamento, totalizando 160 frutos. As amostras foram levadas ao Laboratório de Tecnologia de Sementes da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/UNESP), onde permaneceram à sombra até a completa abertura das cápsulas e liberação das sementes (Figura 4).

Figura 1 - Matrizes do viveiro de mudas da empresa Eldorado SA



Fonte: Acervo pessoal (2023)

Figura 2 - Flor do *Eucalyptus grandis* (fecundação livre)



Fonte: Acervo pessoal (2023)

Figura 3 – Polinização artificial por protoginia induzida, utilizando pólen seco beneficiado e armazenado previamente.



Fonte: Acervo pessoal (2023)

Figura 4 - Sementes de *E. grandis* recolhidas do pomar e armazenada no laboratório da Unesp Ilha Solteira



Fonte: Acervo pessoal (2023)

Posteriormente, foram avaliados os seguintes caracteres:

- A. Diâmetro do fruto (DF), tomado com paquímetro de precisão de 0,1 mm na dimensão máxima do cone do opérculo;
- B. Comprimento médio do fruto (CF), medida transversal do opérculo obtida com paquímetro de precisão de 0.1 mm descontando o pecíolo;
- C. Número de sementes por fruto (NSF), contados com auxílio de lupa de aumento de 20x;
- D. Massa média dos frutos (MMF), massa dos frutos secos na repetição divididos por cinco com auxílio de balança de precisão de 0.0001 g;
- E. Número de sementes por 0.01 gramas (NS 0,01), contadas com auxílio de lupa de aumento de 20x;

O teste de germinação (Figura 5) foi conduzido em caixas gerbox (11 × 11 × 3,5 cm) contendo substrato florestal, mantidas sobre bancadas no Laboratório de Tecnologia de Sementes da FEIS/UNESP. Foram utilizadas 20 sementes por caixa, com quatro repetições por tratamento, totalizando 160 sementes (Figura 6). A avaliação foi realizada durante 24 dias, contabilizando-se o número de plântulas emergidas.

o Porcentagem de germinação (G%), número de plântulas emergidas pelo total de sementes semeadas;

o Índice de velocidade de emergência, (IVE) que é calculado pelo somatório das plântulas emergidas diariamente ($E1, E2, E3, \dots, En$), divididas pelo número de dias até a emergência ($N1, N2, N3, \dots, Nn$). Seguindo a equação sugerida por Maguire (1962):

$$IVE = \frac{E1}{N1} + \frac{E2}{N2} + \frac{E3}{N3} + \dots + \frac{En}{Nn}$$

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 4×2 , sendo quatro genótipos de *Eucalyptus grandis* e duas formas de polinização (autofecundação e cruzada), com quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias comparadas pelo método de agrupamento de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico Genes (Cruz, 2005).

Figura 5 - Teste de germinação com a disposição das vinte sementes para cada matriz nas caixas de gerbox com substrato florestal instalados no Laboratório de Tecnologia de Sementes da FEIS/UNESP



Fonte: Acervo pessoal (2023)

Figura 6 - Teste de germinação com a disposição das caixas gerbox com substrato florestal e vinte sementes para cada matriz e tipo de polinização com quatro repetições instalados no Laboratório de Tecnologia de Sementes da FEIS/UNESP.



Fonte: Acervo pessoal (2023)

De posse dos dados, procedeu-se à análise de variância, por meio da qual foi estimada a herdabilidade média das matrizes. Foi realizada a análise de variância das progênes de polinização livre e autofecundadas, com o objetivo de identificar as causas da variabilidade entre as matrizes, verificar a significância do efeito de polinização e avaliar a existência de interação.

Após a execução dos experimentos, foram obtidos os resultados dos testes de médias das progênes autopolinizadas (M_1) e das polinizadas com polimix (M_0), representadas, respectivamente, por:

$$M_0 = \mu + a + d^* = A + d^*$$

$$M_1 = \mu + a + \frac{1}{2} d^* = A + \frac{1}{2} d^*,$$

respectivamente, permitirá estimar os componentes $A = 2M_1 - M_0$ e $d^* = 2(M_0 - M_1)$ sendo que o A é a média esperada de uma amostra aleatória de linhagens totalmente homozigóticas extraídas da população e o d^* é a contribuição total dos heterozigotos para a média da população.

Segundo Lima et al. (1992) e Silva e Miranda Filho (2003), a depressão por endogamia é estimada pela expressão $I = M_1 - M_0$, para quando a homozigose esperada for de 50%.

Figura 7 – Teste de Emergência das sementes extraídas da Matriz GRD 114 e polinização livre



Fonte: Acervo pessoal (2023)

Figura 8 – Teste de Emergência das sementes extraídas da Matriz GRD 109 e autofecundação



Fonte: Acervo pessoal (2023)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise de variância revelou diferenças significativas entre as matrizes e também interação entre matriz e tipo de polinização para todos os sete caracteres avaliados em *Eucalyptus grandis* (Tabela 1). Esses resultados indicam que as matrizes manifestam

comportamentos distintos frente à autofecundação e à polinização cruzada, evidenciando que o desempenho reprodutivo é fortemente dependente do genótipo. Variáveis como diâmetro, comprimento, número de sementes, massa e número de sementes por 0,01 g foram diretamente influenciadas pelo tipo de polinização, o que reforça que a expressão dos caracteres biométricos está associada à diversidade genética e à presença de heterozigose.

A predominância de um tipo de polinização pode alterar a estrutura genética das populações, modificando a expressão dos caracteres e o potencial de produção de sementes. Isso indica que a depressão por endogamia, entendida como a redução de vigor e produtividade causada pela homozigose, é dependente do material genético analisado, não sendo possível aplicar uma tendência geral a todas as matrizes de *Eucalyptus grandis*.

Tabela 1: Resumo da análise de variâncias e componentes genéticos para matrizes de *Eucalyptus grandis* com caracteres de sementes e frutos.

CV/PG	GL	Quadrados médios						
		DF	CF	NSF	MMF	NS 0,01g	G%	IVE
Genótipo	3	15,5**	15,6**	434,2 ^{ns}	0,006**	1370,6**	1414,8 ^{ns}	3,7**
Erro (a)	12	0,4	0,5	727,9	0,00004	101,4	2290,6	2,7
Polinização	1	0,2 ^{ns}	0 ^{ns}	240,9 ^{ns}	0,0025 ^{ns}	87,8 ^{ns}	63,28 ^{ns}	0 ^{ns}
G x P	3	2,8**	3,0**	1242,8**	0,0017**	219,3 ^{ns}	4113,6**	3,5**
Erro (b)	12	1	1,2	329,1	0,00012	434,4	1315,6	1,9
Média		6	7,2	13,7	0,09	43,8	30,5	0,85
h^2		99,3	99,2	58,1	99,3	98,1	59,5	82,1
CV_a		3,1	2,9	56,5	6,9	6,6	45,3	55
CV_b		4,8	4,3	38,0	12,1	13,7	34,3	46,6
CV_g		13,3	11,2	23,5	30,2	17,1	19,4	41,7

**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; ^{ns} Não significativo.

DF: Diâmetro do fruto; CF: Comprimento do fruto; NSF: N° de sementes por fruto; MMF: Massa do fruto; NS 0,01g: N° de sementes por 0,01 g; %G: porcentagem de germinação; IVE: Índice de velocidade de emergência.

h^2 : Herdabilidade; CV_g : Coef. de variância do genotípica; CV_a : Coeficiente de variância do erro(a); CV_b : Coef. de variância do erro(b)

De acordo com Zobel e Talbert (1984), a herdabilidade não é um valor fixo, ela pode variar de acordo com o caráter, espécie, idade e condições ambientais. Segundo Allard (1971), o coeficiente de herdabilidade varia de zero a um. Fica evidente, neste estudo, que as matrizes apresentaram altas herdabilidades para os caracteres avaliados (Tabela 1), com exceção do NSF e G% que apresentaram herdabilidade de média magnitude, indicando que a ação genética tem maior representatividade em relação ao ambiente nos caracteres avaliados.

Os coeficientes de determinação genotípicos, assim como a herdabilidade, são influenciados pela genética quanto pelo ambiente. Portanto, a comparação direta de herdabilidades entre caracteres distintos deve ser feita com cautela (Favero *et al.*, 2010). De acordo com Sebbenn *et al.* (1998) coeficientes de variação genética acima de 7% são considerados altos. No presente estudo (Tabela 1), os valores observados foram adequados para os sete caracteres, variando de 11,2% (CF) a 41,7% (IVE), o que indica que quanto maior o coeficiente de variação genética (*CCC gg*), maior a variação genética dentro da população e, consequentemente, maior a influência da ação genética frente às variações ambientais.

Resultados semelhantes foram encontrados para *Roupala montana* por Pereira *et al.* (2024), em que os elevados níveis de variação genética nas características analisadas foram atribuídos a diferentes padrões de polinização e dispersão de sementes. Assim como no presente estudo, os autores observaram que o sistema de acasalamento (autofecundação *versus* cruzamento) afeta diretamente a estrutura genética e a eficiência reprodutiva das populações, reforçando a importância do cruzamento natural para a manutenção da variabilidade genética em espécies florestais tropicais.

Segundo Ramalho, et al. (2000), o procedimento de Scott-Knott utiliza a razão de verossimilhança para testar a significância de tratamentos que podem ser divididos de forma a maximizar a soma de quadrados entre grupos. Utilizando-se desse teste, pode ser observado que as matrizes se agruparam diferentemente a depender do caractere avaliado.

Tabela 2. Testes de médias para as matrizes de *Eucalyptus grandis* e Índices de depressão por endogamia das progênies autopolinizadas e de polinização livre.

Matriz	Diâmetro do fruto					Comprimento do fruto				
	Auto	Poli	A	d	I	Auto	Poli	A	d	I
109	5,35 Bc	5,75 Ac	4,95	0,80	6,96	6,26 Bc	6,88 Ab	5,64	1,26	9,15
114	5,33 Ac	4,87 Bd	5,80	1,08	9,45	6,87 Ab	6,0 Bc	7,75	1,74	14,68
124	6,81 Aa	6,50 Ab	7,15	0,67	5,08	8,04 Aa	7,75 Aa	8,35	0,58	3,87
144	6,21 Bb	7,21 Aa	5,21	2,0	13,86	7,64 Ba	8,16 Aa	7,13	1,02	6,27
Matriz	Número de sementes por fruto					Massa média dos frutos				
	Auto	Poli	A	d	I	Auto	Poli	A	d	I
109	12,50 Aa	3,55 Ab	21,45	17,90	-252,11	0,05 Bc	0,08 Ac	0,03	0,05	30,72
114	20,20 Aa	16 Aa	24,40	8,0	20,80	0,07 Ac	0,05 Bd	0,09	0,03	-28,89
124	6,70 Bb	20,50 Aa	-7,10	27,60	67,32	0,12 Aa	0,10 Bb	0,14	0,04	21,52
144	4,70 Bb	26 Aa	-16,60	42,60	81,92	0,09 Bb	0,13 Aa	0,0	0,07	26,59
Matriz	Número de sementes por 0,01 g					Porcentagem de germinação				
	Auto	Poli	A	d	I	Auto	Poli	A	d	I
109	44 Aa	41,25 Ab	46,75	5,5	6,67	31,25 Aa	25 Ab	37,5	12,5	-25
114	49,25 Ba	60,25 Aa	38,25	22,0	-18,27	36,25 Aa	10 Bb	62,5	52,5	72,41
124	37,25 Ab	42,25 Ab	32,25	10,0	11,82	37,5 Aa	45 Aa	30,0	15,0	-16,67
144	38 Ab	38 Ab	38	0	0	11,25 Bb	47,5 Aa	-25,0	72,5	76,32
Matriz	Índice de velocidade de emergência									
	Auto	Poli	A	d	I					
109			0,69 Ab	0,69 Ab	0,69	0	0,14			
114			0,79 Ab	0,20 Ab	1,39	1,19	74,99			
124			1,55 Aa	1,26 Aa	1,85	0,59	- 22,86			
144			0,25 Bb	1,41 Aa	-0,91	2,33	82,60			

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas nas linhas pertencem ao mesmo grupo pelo método de Scott-Knott a 5%.

AUTO= autopolinizadas; POLI= polinização livre; A: média esperada de uma amostra aleatória de linhagens totalmente homozigóticas extraídas da população;

D= contribuição total dos heterozigotos para a média da população; I= depressão por endogamia.

Entre as quatro matrizes, a 144 foi a que apresentou diferenças significativas em seis dos sete caracteres estudados, sendo NS 0,01 g a exceção (Tabela 2). Em todos os casos, a polinização livre foi superior à autofecundação, com maiores valores de DF, CF, NSF, MMF e G%. Essa matriz apresentou altos índices de depressão por endogamia, com I (%) superiores a

70 % em alguns caracteres, e valores de A e D que evidenciam forte efeito da homozigose, o que indica elevada sensibilidade à endogamia e reduzida eficiência reprodutiva.

A matriz 124 apresentou comportamento estável entre as formas de polinização, com valores de I (%) baixos ou próximos de zero para a maioria dos caracteres de frutos, demonstrando tolerância à autofecundação e boa eficiência reprodutiva. No entanto, observou-se leve redução em caracteres de sementes, sugerindo que, embora estável em atributos morfológicos, a autofecundação ainda pode afetar a viabilidade fisiológica.

A matriz 114 apresentou diferença estatística apenas para NS 0,01 g, mas manteve valores positivos de I (%) em MMF, NS 0,01 g, G% e IVE, refletindo depressão por endogamia de baixa magnitude. Isso indica que, apesar de pequenas reduções sob autofecundação, essa matriz mantém bom potencial reprodutivo e estabilidade genética intermediária.

A matriz 109 apresentou diferenças significativas em quase todos os caracteres, com exceção do IVE. Em DF, CF e G% houve depressão por endogamia, embora de baixa a moderada magnitude. Essa matriz pode ser considerada genótipo de sensibilidade intermediária, com potencial de uso em cruzamentos controlados, desde que a autofecundação seja minimizada.

De modo geral, a depressão por endogamia foi variável entre matrizes e caracteres, confirmando que o impacto da autofecundação em *Eucalyptus grandis* é genótipo-dependente e está diretamente relacionado à composição genética de cada matriz. Os valores positivos de D em grande parte dos caracteres demonstram vantagem da heterozigose, reafirmando a importância da polinização cruzada para a manutenção do vigor e da produtividade. Já os valores de A reforçam que, sob homozigose total, o desempenho médio tende a ser inferior, especialmente em atributos ligados à produção de sementes, o que confirma a ocorrência de depressão endogâmica clássica na espécie.

A influência do ambiente e da estrutura genética na manifestação da endogamia observada neste estudo, e também por Pereira et al. (2024) em *Roupala montana*, reforça que o vigor reprodutivo e a qualidade das sementes dependem tanto dos mecanismos de polinização quanto das condições ambientais e genéticas. A redução do vigor em indivíduos autofecundados destaca a importância do fluxo gênico mediado por polinizadores e da manutenção de diversidade genética para evitar os efeitos negativos da endogamia.

O melhoramento genético florestal se baseia na análise de parâmetros genéticos populacionais, que possibilitam a compreensão do controle genético de características, a comparação de métodos de seleção e a projeção do progresso genético esperado por meio da

seleção. No contexto de plantas perenes, a obtenção dessas estimativas assume uma importância ainda maior do que em plantas anuais, devido aos ciclos de vida mais longos dessas espécies. Portanto, é de suma importância que os experimentos de campo sejam cuidadosamente delineados e conduzidos, no intuito de obter estimativas confiáveis (Xu; Huang, 2017).

A autofecundação pode reduzir a vigorosidade das sementes e a qualidade dos frutos, resultando em indivíduos menos adaptáveis e com menor potencial de crescimento. Assim, é essencial monitorar e controlar a ocorrência de autofecundações nas populações de *Eucalyptus grandis*, com o objetivo de preservar as características genéticas desejáveis e garantir a eficiência dos programas de melhoramento. Um manejo rigoroso e bem estruturado das populações genéticas é fundamental para assegurar que os programas de melhoramento florestal mantenham seus ganhos ao longo do tempo e atendam às necessidades do setor industrial de maneira eficiente e sustentável.

Esses resultados corroboram estudos anteriores (Nickolas *et al.*, 2019; Faia *et al.*, 2022), que apontam a necessidade de monitorar e controlar a autofecundação em pomares clonais de *Eucalyptus grandis*. Quando conduzida de forma planejada, a autofecundação pode ser útil para identificar e eliminar alelos deletérios, contribuindo para o aprimoramento da base genética e o fortalecimento da eficiência seletiva dos programas de melhoramento.

Portanto, os resultados deste estudo demonstram que a autofecundação exerce efeitos distintos conforme o genótipo e o caráter avaliado, afetando diretamente os caracteres biométricos e a qualidade fisiológica das sementes. A análise detalhada das matrizes permite identificar aquelas mais estáveis e produtivas sob diferentes sistemas de polinização, contribuindo para o aprimoramento de estratégias de melhoramento genético de *Eucalyptus grandis* voltadas à eficiência reprodutiva e à qualidade das sementes.

5. CONCLUSÃO

- A autofecundação em *Eucalyptus grandis* exerceu efeito de depressão por endogamia em caracteres de frutos e sementes, porém com intensidade variável entre as matrizes, demonstrando que a resposta à endogamia é dependente do genótipo.
- Houve depressão por endogamia para a maioria dos caracteres avaliados, sendo o número de sementes por fruto (NSF) e a germinação (G%) os mais afetados.
- As matrizes 144 e 109 foram as que mais sofreram com os efeitos da endogamia, apresentando reduções acentuadas nos caracteres de frutos e sementes, enquanto as matrizes 124 e 114 mostraram menor sensibilidade e comportamento mais estável entre os tipos de polinização.

- É possível o uso de famílias autofecundadas de *Eucalyptus grandis* em programas de melhoramento, desde que seja obtido número satisfatório de inflorescências e conduzido manejo controlado da polinização, assegurando variabilidade genética e continuidade dos estudos.
- A autofecundação controlada pode ser utilizada de forma estratégica para identificar e eliminar alelos deletérios, contribuindo para o avanço genético a longo prazo e a eficiência reprodutiva da espécie.

6. REFERÊNCIAS

ALLARD, R. W. *Princípio do melhoramento genético de plantas*. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1971. 485 p.

BANCO DO NORDESTE DO BRASIL (BNB). Silvicultura. Revista Econômica do Nordeste, Fortaleza, v. 50, n. 4, p. 5–18, 2019. Disponível em: BNB – Revista Econômica do Nordeste, 2019 (Silvicultura, p. 68)

BERTOLA, A. *Eucalipto - 100 anos de Brasil: “falem mal, mas continuem falando de mim!”*. 2004.

CÂNDIDO, B. M. et al. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na bacia do rio Paraná, no leste do Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 5, p. 1565-1575, 2014.

CRUZ, C.D.; FERREIRA, F.M.; PESSOA FILHO, M.A.C. *Melhoramento de Plantas: variabilidade genética, ferramentas e mercado*. Viçosa: Editora UFV, 2014.

CRUZ, C. D. *Princípios de genética quantitativa*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005.

EMBRAPA. Agência Embrapa de Informação Tecnológica – Eucalipto. Brasília: Embrapa, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/eucalipto>

EMBRAPA. *O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento*. Brasília, DF: Embrapa, 2016. 174 p.

ELDRIDGE, K. G. Selfing rates in *Eucalyptus grandis*. *Silvae Genetica*, Frankfurt, v. 32, n. 5-6, p. 216-218, 1983.

ESTOPA, R. A. et al. Performance of inbred and outbred *Eucalyptus* spp. progenies. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 977-987, 2007.

FAIA, L. et al. Impact of inbreeding on growth and development of young *Eucalyptus globulus*. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, v. 15, p. 68-75, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3832/ifor4012-015>

FÁVERO, A. P. et al. Estimation of genetic parameters for wood quality traits in *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. *Silvae Genetica*, v. 59, n. 4-5, p. 141-148, 2010. DOI: 10.1515/sg-2010-0019.

FONSECA, F.J.R.; GONÇALVES, J.L.M.; SANTOS, R.D. *Melhoramento de Eucalipto*. São Paulo: IPEF, 2014.

FOWLER, J. A. P. Produção, tecnologia e uso das sementes de eucalipto no Brasil. In: EMBRAPA. *O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento*. Colombo: Embrapa Florestas, 2021. cap. 21, p. 693-724.

GRATTAPAGLIA, D.; BRADSHAW, H. D. Nuclear-DNA content of commercially important eucalyptus species and hybrids. *Canadian Journal of Forest Research*, v. 24, n. 5, p. 1074-1078, 1994.

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. *Relatório Anual IBÁ 2024*. ESG Tech, 2023. 91 p. Disponível em: <https://iba.org>.

JONES, T. H. et al. *Effects of domestication on genetic diversity in Encalypts globulus*. *Forest Ecology and Management*, v. 234, n. 1-3, p. 78-84, 2006.

LELIS, A. et al. Florestas plantadas de eucalipto sequestram carbono da atmosfera. Universidade Federal de Minas Gerais, 2019.

LIMA, M.; FURLANI, P. R.; MIRANDA FILHO, J. B. Divergent selection for aluminium tolerance in a maize (*Zea mays* L.) population. *Maydica*, v. 37, n. 2, p. 151-158, 1992.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination – aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, Madison, v. 2, n. 2, p. 176–177, 1962.

MARTINS, S. G. et al. Fator cobertura e manejo do solo e perdas de solo e água em cultivo de eucalipto e em Mata Atlântica nos Tabuleiros Costeiros do estado do Espírito Santo. *Scientia Forestalis*, v. 38, n. 87, p. 517-526, 2010.

MIRANDA, A. C. et al. Inbreeding depression in *Eucalyptus*: estimates of genetic parameters and expected impacts on breeding programs. *Silvae Genetica*, v. 68, n. 1, p. 1-11, 2019. DOI: 10.2478/sg-2019-0001.

NICKOLAS, K. L. et al. Inbreeding depression and differential maladaptation shape the fitness trajectory of two co-occurring *Eucalyptus* species. *Annals of Forest Science*, v. 76, n. 2, p. 1-14, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0796-5>

PEREIRA, F. B. et al. Gene flow, mating patterns and inbreeding depression in *Roupala montana* var. *brasiliensis*, a neotropical timber species. *New Forests*, Dordrecht, v. 55, n. 897–920, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11056-023-10009-7>.

PIRES, L. S. et al. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na região centro-leste de Minas Gerais. *Pesq. Agropecu. Bras.*, v. 41, n. 4, p. 687-695, 2006. DOI: 10.1590/S0100-204X2006000400021.

RAMALHO, M. A. P. et al. *Experimentação em genética e melhoramento de plantas*. Lavras: UFLA, 2000. p. 87-134.

RESENDE, M. D. V. (2002). Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes.

RIBEIRO, F. P. et al. Armazenamento de carbono em diferentes compartimentos em plantações de eucalipto e vegetação nativa de Cerrado. *Plantas*, v. 12, p. 2751, 2023. DOI: 10.3390/plants12142751. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants12142751>.

KAUR, Rupí. *O sol e suas flores*. Tradução de Ana Guadalupe. São Paulo: Planeta do Brasil, 2018.

SEBBENN, A. M. et al. Parâmetros genéticos na conservação da Cabreúva - *Myroxylon peruiferum* L.F. Allemão. *Scientia Forestalis*, n. 53, p. 31-38, 1998.

SCANAVACA JÚNIOR, L.; GARCIA, J. N. Eucalyptus Subgenus Symphyomyrtus: Sections: Exsertaria, Latoangulatae and Maidenaria. *Sci. Agric.*, Piracicaba, v. 78, supl. 1, p. 1-14, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2020-0173>

SCOLFORO, J. R. et al. *O mundo do Eucalipto: os fatos e mitos de sua cultura*. Rio de Janeiro: Mar de Idéias, 2008. 71 p.

SCOTT, A. J., & Knott, M. (1974). A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics*, 507-512.

SILVA, P. H. M. et al. Crop Breeding and Applied Biotechnology, Viçosa-MG: Brazilian Soc Plant Breeding, v. 19, n. 1, p. 47-54, 2019.

SILVA, P. H. M. et al. Maintenance of genetic diversity in *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake restriction of the number of trees per family. *Silvae Genetica*, v. 67, n. 1, p. 34-40, 2018

VIANA, M. B. *O eucalipto e os efeitos ambientais do seu plantio em escala*. 1. ed. Brasília: Biblioteca da Câmara dos Deputados, 2004.

WHITE, T. L.; ADAMS, W.T.; NEALE, D. B. *Forest genetics*. Wallingford: CABI, 2007.

XU, Y. et al. Enhancing genetic gain in the era of molecular breeding. *Journal of Experimental Botany*, v. 68, n.11, p. 2641-2666, 2017.

XU, Y.; HUANG, B. Innovations in plant breeding: current and future perspectives. *The Crop Journal*, Beijing, v. 5, n. 1, p. 1-15, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cj.2016.09.001>

ZOBEL, B.; TALBERT, J. *Applied forest tree improvement*. New York: John Wiley & Sons, 1984. 496 p.