

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Análise da interação genótipos por ambientes e estudo de parâmetros para a produção de mudas clonais entre diferentes híbridos de *Corymbia*.

André Peixoto Lorenzoni
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

ANDRÉ PEIXOTO LORENZONI

Análise da interação genótipos por ambientes e estudo de parâmetros para a produção de mudas clonais entre diferentes híbridos de *Corymbia*.

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Gleison Augusto dos Santos

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

L869a
2025
Lorenzoni, Andre Peixoto, 1987-
Análise da interação genótipos por ambientes e estudo de parâmetros para a produção de mudas clonais entre diferentes híbridos de *Corymbia* / Andre Peixoto Lorenzoni. – Viçosa, MG, 2025.

1 dissertação de mestrado (79 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Gleison Augusto dos Santos.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, 2025.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2026.164>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. *Corymbia* (Myrtaceae) - Propagação por estaquia.
2. Interação genótipo-ambiente. 3. Mudas. 4. Clonagem.
I. Santos, Gleison Augusto dos, 1977-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. III. Título.

GFDC adapt. CDD 22. ed. 634.9232328

ANDRÉ PEIXOTO LORENZONI

Análise da interação genótipos por ambientes e estudo de parâmetros para a produção de mudas clonais entre diferentes híbridos de *Corymbia*.

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 5 de março de 2025.

Assentimento:

André Peixoto Lorenzoni
Autor

Gleison Augusto dos Santos
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pelo autor em 15/04/2026 às 14:17:12 e pelo orientador em 15/04/2026 às 14:27:32. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **9X12.QFKG.MLMX** e clique no botão 'Validar documento'.

À minha mãe, Sandra, a minha sobrinha Laura e aos meus irmãos Fabrício e Daniela por todo apoio e incentivo durante todos os anos de estudo e pela oportunidade de trilhar o caminho que percorri até hoje.

Ao Professor Gleison dos Santos, pela orientação, ensinamentos e oportunidades que foram imprescindíveis para meu crescimento pessoal e profissional.

Ao Alex Junior, Edgard, Livia Marina e Alexandre Ferraz, por todo apoio e contribuições essenciais para escrita desse trabalho, assim como pelo meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Aos amigos do Viveiro de Pesquisas Florestais do DEF pela amizade e companheirismo, em especial aos estagiários do Projeto Corymbia, pelo apoio e colaboração na implantação dos experimentos, sem os quais não seria possível a realização desse trabalho. E aos amigos Lucas, Adilson, Josimar, Leo e Alexandre, pela dedicação, trabalho e contribuição para manter o viveiro sempre nas melhores condições de trabalho.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram significativamente em minha trajetória acadêmica e profissional.

À Sociedade de Investigações Florestais (SIF), pelos ensinamentos e grande contribuição para meu crescimento profissional durante a minha pós-graduação.

À Universidade Federal de Viçosa, ao Departamento de Engenharia Florestal e ao Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

RESUMO

LORENZONI, André Peixoto, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2025. **Análise da interação genótipos por ambientes e estudo de parâmetros para a produção de mudas clonais entre diferentes híbridos de *Corymbia*.** Orientador: Gleison Augusto dos Santos.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a propagação clonal e a interação genótipo x ambiente (GxE) em clones e híbridos interespecíficos de *Corymbia* spp.. Foram analisadas características fundamentais para a produção florestal, incluindo produtividade de miniestacas, sobrevivência e enraizamento, além de parâmetros de crescimento como diâmetro à altura do peito (DAP), altura total, volume e incremento médio anual em volume (IMAvol). Os ensaios foram conduzidos em minijardins clonais e testes de progênie em três localidades distintas (Inocência/MS, Belo Oriente/MG e Rio Pardo/RS), permitindo uma análise abrangente da adaptação e estabilidade dos materiais genéticos avaliados. Os resultados demonstraram que a produtividade de miniestacas variou entre 5,6 e 8,6 miniestacas/minicepa/mês, sendo os valores mais altos observados para *C. torelliana*, enquanto *C. variegata* x *C. torelliana* obteve os melhores índices de enraizamento, que variaram de 44% a 62,58%. A sobrevivência na casa de vegetação variou de 40,1% a 59,7%, com destaque para os híbridos de *C. torelliana* x *C. citriodora*. A análise da GxE revelou significativa influência ambiental sobre os caracteres de crescimento, com valores elevados de herdabilidade média para IMAvol (0,91 para Belo Oriente e 0,90 para Rio Pardo), destacando o forte efeito da variabilidade genética aditiva na expressão das características analisadas. Os híbridos de *Corymbia* demonstraram desempenho competitivo em relação a clones comerciais de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, com destaque para a família *C. torelliana* x *C. variegata*, que exibiu ampla adaptabilidade e estabilidade fenotípica. Conclui-se que a propagação e o melhoramento genético de *Corymbia* dependem de uma abordagem integrada, combinando seleção genética com estratégias de manejo adequadas para maximizar o sucesso da clonagem e a adaptação a diferentes ambientes. O r_{gloc} variou de 0,55 a 0,58, o que indica que a família 16 pode ser trabalhada nos três sites, dada sua plasticidade e adaptabilidade.

Palavras-chave: análise genótipos x ambientes; miniestaquia; híbridos de *Corymbia*

ABSTRACT

LORENZONI, André Peixoto, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2025. **Analysis of genotype by environment interaction and study of parameters for the production of minicuttings between different *Corymbia* hybrids..** Adviser: Gleison Augusto dos Santos.

The present study aimed to evaluate clonal propagation and genotype x environment interaction (GxE) in clones and interspecific hybrids of *Corymbia* spp. Fundamental characteristics for forest production were analyzed, including mini-stump productivity, survival, and rooting, as well as growth parameters such as diameter at breast height (DBH), total height, volume, and mean annual increment in volume (IMAvol). The trials were conducted in clonal mini-gardens and progeny tests across three distinct locations (Inocência/MS, Belo Oriente/MG, and Rio Pardo/RS), enabling a comprehensive analysis of the adaptation and stability of the evaluated genetic materials. The results showed that mini-stump productivity ranged from 5.6 to 8.6 mini-stumps per mini-clump per month, with the highest values observed for *C. torelliana*, while *C. variegata* x *C. torelliana* achieved the best rooting rates, ranging from 44% to 62.58%. Survival in the greenhouse ranged from 40.1% to 59.7%, with *C. torelliana* x *C. citriodora* hybrids showing the highest rates. The GxE analysis revealed a significant environmental influence on growth traits, with high mean heritability values for IMAvol (0.91 for Belo Oriente and 0.90 for Rio Pardo), highlighting the strong effect of additive genetic variability on the expression of the analyzed characteristics. The *Corymbia* hybrids demonstrated competitive performance compared to commercial clones of *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, with the *C. torelliana* x *C. variegata* family standing out for its broad adaptability and phenotypic stability. It is concluded that the propagation and genetic improvement of *Corymbia* depend on an integrated approach, combining genetic selection with appropriate management strategies to maximize cloning success and adaptation to different environments. The r_{gloc} ranged from 0.55 to 0.58, indicating that family 16 can be utilized across the three sites due to its plasticity and adaptability.

Keywords: genotype x environment analysis; mini-cutting; *Corymbia* hybrids

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
PREÂMBULO	9
Seção 1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS	11
Seção 2 - REVISÃO DE LITERATURA.....	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	18
Seção 3 - CAPÍTULOS	20
Capítulo 1 – Controle genético do enraizamento de clones de Corymbia	21
INTRODUÇÃO	23
OBJETIVOS	24
MATERIAL E MÉTODOS	24
RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
CONCLUSÕES	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
Capítulo 2: Interação Genótipos por Ambientes em teste de progênies de Corymbia avaliados precocemente	44
INTRODUÇÃO	46
OBJETIVOS	47
MATERIAL E MÉTODOS.....	47
RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
AVALIACAÇÃO PAR A PAR DOS AMBIENTES.....	70
Inocência/MS (Arauco) e Belo Oriente/MG (Cenibra).....	70
Inocência/MS (Arauco) e Rio Pardo/RS (CMPC).....	70
Belo Oriente/MG (Cenibra) e Rio Pardo/RS (CMPC)	70
CONCLUSÃO	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS	74
Seção 4 - CONCLUSÕES GERAIS.....	77

PREÂMBULO

O presente trabalho de mestrado está organizado em 04 diferentes seções, com os seguintes tópicos:

- 1) Considerações iniciais: contextualização da importância do trabalho e das técnicas de propagação clonal em *Corymbia*, desenvolvimento inicial e seleção precoce (interação GxE) em diferentes regiões locais;
- 2) Revisão bibliográfica: revisão dos aspectos envolvidos no enraizamento de *Corymbia* e da interação genótipos x ambientes no melhoramento de espécies *Corymbia*;
- 3) Capítulos:
 - 1- Controle genético do enraizamento de clones *Corymbia*;
 - 2- Interação Genótipos por Ambientes em teste de progênies de *Corymbia* avaliados precocemente
- 4) Considerações Finais: Síntese final das diferentes seções do estudo, enfatizando os principais resultados e insights obtidos, em alinhamento com os objetivos propostos e evidenciando os pontos mais relevantes do trabalho.

SEÇÃO 1
CONSIDERAÇÕES INICIAIS

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O gênero *Corymbia*, pertencente à família Myrtaceae, tem despertado crescente interesse no setor florestal brasileiro devido ao seu potencial produtivo e características diferenciadas em relação ao gênero *Eucalyptus*. Originalmente classificado dentro do gênero *Eucalyptus*, *Corymbia* foi reconhecido como um gênero independente em 1995, principalmente devido a diferenças morfológicas e à ausência de cruzamentos naturais entre os grupos (HILL & JOHNSON, 1995). Originário da Austrália, Papua-Nova Guiné e Tasmânia, *Corymbia* possui atributos desejáveis para a silvicultura, como alta densidade da madeira, resistência a condições adversas, incluindo déficit hídrico, além de menor suscetibilidade a pragas e doenças (ASSIS, 2014; ABREU et al., 2015; FLORES et al., 2016).

Um dos principais fatores que tornam *Corymbia* atrativo para a indústria florestal é sua elevada densidade básica da madeira (Db), que pode ultrapassar 800 kg/m³ em algumas espécies, proporcionando maior rendimento na produção de carvão vegetal e redução no consumo específico de madeira para a fabricação de celulose (COUTO et al., 2015; MORA & GARCIA, 2000). Em comparação com os híbridos de eucalipto mais amplamente cultivados no Brasil, *Corymbia* oferece ganhos potenciais significativos, especialmente quando utilizados programas de melhoramento genético para aprimorar suas características desejáveis (GARCIA et al., 2014).

Entretanto, desafios ainda precisam ser superados para ampliar o uso comercial de *Corymbia*, sendo os principais entraves a baixa capacidade de enraizamento das mudas e a presença de bolsas de quino na madeira, o que pode comprometer processos industriais como a polpação e o branqueamento da celulose (DAMACENA, 2019). Nesse contexto, estudos sobre propagação vegetativa e melhoramento genético são fundamentais para otimizar o desempenho das espécies e garantir sua viabilidade no setor florestal. A espécie *C. torelliana*, por exemplo, destaca-se por sua melhor capacidade de enraizamento e menor incidência de bolsas de quino, tornando-se um genitor preferencial em cruzamentos controlados (DAMACENA, 2021; REIS, 2013).

A hibridação em *Corymbia* tem sido uma estratégia essencial para otimizar a produtividade florestal, combinando características desejáveis de diferentes espécies parentais. Além de *C. torelliana*, destaca-se também *C. citriodora*, conhecida por sua madeira de alta densidade e resistência mecânica, sua madeira é valorizada para serraria, papel e celulose, além de possuir um alto teor de óleos essenciais com propriedades antimicrobianas e repelentes (HAYES et al., 2013). De acordo com Lee (2007), dentro desse grupo, *C. citriodora* subsp.

variegata vem sendo amplamente utilizada em plantações comerciais dado à capacidade de tolerância ao déficit hídrico e rápido crescimento, o que a torna uma espécie estratégica na produção de híbridos.

Além dos esforços para aprimorar a clonagem e propagação de *Corymbia*, a análise da interação genótipo por ambiente (GxE) desempenha um papel essencial na seleção de genótipos adaptáveis a diferentes condições ambientais. A GxE influencia diretamente a produtividade e estabilidade das espécies, sendo fundamental para a recomendação de plantios em regiões variadas. Testes de progênie conduzidos em múltiplos sítios têm demonstrado a relevância da GxE na seleção de indivíduos superiores, utilizando ferramentas estatísticas avançadas como o modelo de Melhor Predição Linear Não Viesada (BLUP) e a média harmônica do desempenho relativo dos valores genéticos (MHPRVG) para avaliar a estabilidade e adaptabilidade dos materiais genéticos (Souza et al., 2020; Rezende et al., 2016).

Diante da demanda crescente por madeira de melhor qualidade e da necessidade de aumentar a eficiência de seu uso no setor florestal, a expansão do uso de *Corymbia* no Brasil depende do avanço articulado entre melhoramento genético, avaliação multiambiental e tecnologias de propagação. A seleção de materiais superiores requer evidências consistentes de produtividade, estabilidade e adaptabilidade em condições contrastantes, ao mesmo tempo em que a viabilização operacional da utilização do gênero exige protocolos de clonagem e produção de mudas mais eficientes e reprodutíveis. Assim, a integração entre estratégias de seleção e validação do desempenho em múltiplos ambientes com o aprimoramento da propagação vegetativa constitui base para sustentar a adoção comercial de *Corymbia*, fortalecendo a competitividade da indústria florestal brasileira (Brawner et al., 2011; Freitas et al., 2019; Hung et al., 2016).

SEÇÃO 2
REVISÃO DE LITERATURA

REVISÃO DE LITERATURA

O gênero *Corymbia*

Pertencente à família Myrtaceae, o gênero *Corymbia* compreende cerca de 113 espécies originárias da Austrália, Papua-Nova Guiné e Tasmânia (HILL & JOHNSON, 1995). O gênero *Corymbia* tem alto potencial de estar cada vez mais presente no setor florestal brasileiro, o que se deve a sua madeira de alta densidade básica (Db), tolerância ao déficit hídrico, e tolerância a pragas e doenças, principalmente por ocupar poucas áreas e ser um gênero relativamente novo no Brasil (ABREU, et al., 2015; ASSIS, 2014; FLORES et al., 2016).

O gênero *Corymbia* é de grande interesse e importância pois, com $Db > 800 \text{ kg/m}^3$, há um maior rendimento gravimétrico para produção de carvão, e menor consumo específico de madeira para celulose, quando comparado aos híbridos de eucalipto mais plantados no Brasil usados para essas finalidades (COUTO, et al., 2015; MORA & GARCIA, 2000). Atualmente, o clone I144 (*E. urophylla* - híbrido espontâneo) é o material genético mais plantado no Brasil do gênero *Eucalyptus*, e possui $Db = 440 \text{ kg/m}^3$ (BRASIL, 2022). Comparativamente, indivíduos de *C. citriodora* podem atingir $Db = 840 \text{ kg/m}^3$ e em materiais híbridos, como *C. torelliana* x *C. citriodora*, a Db pode atingir 660 kg/m^3 . Esses valores representam o grande potencial de ganhos com seleção genética ao utilizar diferentes materiais de *Corymbia*, dentro de programas de melhoramento florestal (GARCIA et al., 2014).

O melhoramento genético de *Corymbia* é ainda incipiente, se comparado ao de eucalipto, o que implica que estudos voltados para a propagação vegetativa podem ser conduzidos dentro dos programas de melhoramento, uma vez que essas espécies apresentam limitações na produção de mudas (REIS, et al., 2014). Os gargalos relacionados à utilização de *Corymbia* na indústria florestal, é a baixa capacidade de enraizamento (que limita a escala operacional de mudas), e a presença de bolsas de quino (exsudatos resultantes do metabolismo secundário) presentes na madeira, o que dificulta o processo de polpação e branqueamento da pasta celulósica (DAMACENA, 2019).

A clonagem via ministaquia é limitada basicamente pelo baixo potencial de enraizamento das espécies desse gênero, variando de 10-30% (BAKER & WALKER, 2005; REIS et al., 2014). Assim, estratégias de melhoramento genético são fundamentais, uma vez que o conhecimento das características das espécies puras do gênero *Corymbia* e a escolha dos melhores genitores para formação de híbridos melhorados, através da hibridação controlada, são ferramentas indispensáveis para um programa de melhoramento genético florestal, criando

híbridos superiores (ASSIS, 2014).

Uso de híbridos *Corymbia*

Apesar do elevado potencial produtivo, a adoção comercial de *Corymbia* spp. permanece limitada por gargalos técnicos, genéticos e operacionais. Entre os principais entraves destacam-se as dificuldades associadas à propagação clonal, em especial a baixa capacidade de enraizamento adventício e a rápida perda de juvenilidade, além da base genética ainda restrita disponível para seleção. Adicionalmente, a necessidade de validação silvicultural e industrial em diferentes condições edafoclimáticas tem limitado a consolidação do gênero em sistemas florestais empresariais.

A hibridação de espécies frequentemente possibilita o advento da heterose, ou vigor híbrido, onde os alelos parentais são combinados para expressar uma maior produtividade no crescimento, biomassa e capacidades adaptativas ao ambiente (GOULET et al., 2017). Para *Corymbia*, essas características podem ser exploradas pela alta densidade de *C. citriodora* e *C. torelliana* com maior taxa de crescimento, resistência à fatores abióticos como ventos e seca, além da grande capacidade de enraizamento adventício (Loureiro et al. 2019).

A hibridação em *Corymbia* tem sido uma estratégia essencial para otimizar a produtividade florestal, combinando características desejáveis de diferentes espécies parentais. Entre as principais espécies utilizadas nesse processo, destaca-se *C. citriodora*, conhecida por sua madeira de alta densidade e resistência mecânica, além de possuir um alto teor de óleos essenciais com propriedades antimicrobianas e repelentes (HAYES et al., 2013). De acordo com Lee et al. (2007) dentro desse grupo, *C. citriodora* subsp. *variegata* vem sendo amplamente utilizada em plantações comerciais dado à capacidade de tolerância ao déficit hídrico e rápido crescimento. Além disso, sua madeira é valorizada para serraria e papel e celulose, o que a torna uma espécie estratégica na produção de híbridos.

Outra espécie crucial na hibridação é *C. torelliana*, que se destaca por sua rápida taxa de crescimento e alta capacidade de propagação vegetativa, características essenciais para a clonagem e produção em larga escala (SHEPHERD et al., 2008). *C. torelliana* é conhecida por sua resistência a doenças e estresses ambientais, especialmente em solos pobres e climas tropicais úmidos. Seu cruzamento com *C. citriodora* e *C. henryi* busca manter sua rusticidade e vigor híbrido, reduzindo ao mesmo tempo seu potencial invasivo em ecossistemas nativos (SHEPHERD & LEE, 2016).

A espécie *C. henryi* também utilizada na hibridação destacando-se por sua resistência

a estresses bióticos e abióticos, além de possuir madeira de excelente qualidade para uso estrutural e energético (LEE, 2007). Estudos indicam que híbridos envolvendo *C. henryi* apresentam alta taxa de sobrevivência e crescimento superior quando comparados às espécies puras, principalmente em ambientes subtropicais (LEE *et al.*, 2009). Essa espécie tem sido testada em cruzamentos com *C. torelliana* e *C. citriodora*, visando obter plantas mais tolerantes a pragas e doenças, como *Quambalaria pitereka*, um dos principais patógenos que afetam *Corymbia* em plantações comerciais na Austrália (DICKINSON *et al.*, 2012).

Análise da Interação Genótipo por Ambiente

Além da maximização dos ganhos genéticos e do efeito da heterose, o estudo da interação genótipo por ambiente (GxE) avalia como diferentes genótipos respondem a condições distintas, identificando indivíduos com melhor adaptabilidade e estabilidade (BIRD *et al.* 2022). Para a área florestal, a análise GxE é crucial porque permite entender como plantios clonais comerciais podem tolerar ou resistir diferentes condições edafoclimáticas, o impacto dessas mudanças na densidade básica, crescimento e sobrevivência, sendo possível executar uma estratégia de melhoramento mais uniforme, ou o desenvolvimento de genótipos cada vez mais específicos e adaptados a cada condição (NICKOLAS *et al.* 2020).

A metodologia REML/BLUP (Máxima Verossimilhança Restrita/ Melhor Previsão Linear Não Viesada) é amplamente utilizada na análise da interação GxE devido à sua capacidade de lidar com dados desbalanceados e estruturalmente complexos (RESENDE, 2016). Para *C. citriodora* e *C. maculata*, o uso dessa metodologia facilitou a identificação de genótipos mais estáveis (considerando sobrevivência e crescimento) em diferentes solos, além de facilitar a recomendação de cruzamentos que possibilitem a formação de melhores híbridos (FERREIRA *et al.*, 2021).

Utilizando a técnica de propagação clonal, maximizam-se os valores de interação genótipo/ambiente; que equivale a soma do valor aditivo somado ao valor de dominância. Caso a técnica utilizada seja a produção de mudas seminais o valor da interação genótipo/ambiente, na expressão fenotípica, equivale somente ao valor aditivo (FONSECA *et al.*, 2010; SOUZA *et al.*, 2020).

Enraizamento adventício em *Corymbia*

A propagação vegetativa via miniestaquia é a principal técnica de produção de mudas clonais no setor florestal brasileiro (FLORIANO, 2004). Plantios clonais apresentam maior

homogeneidade e maior produtividade se comparados a plantios seminais uma vez que carregam além do valor aditivo (a), o valor de dominância (d); influenciando diretamente no volume de madeira por hectare de floresta plantada (MIRANDA *et al.*, 2015; MORAIS *et al.*, 2010).

A temperatura do ambiente e a umidade relativa influenciam diretamente a formação de raízes adventícias em miniestacas de *Corymbia*. Lima *et al.* (2022) observaram que o uso de estufim em minijardins clonais altera as condições microclimáticas, promovendo maior taxa de enraizamento, especialmente em períodos de temperaturas mais baixas. Ainda considerando fatores estruturais como posição de coleta na planta mãe (minicepas), miniestacas de *Corymbia torelliana* × *C. citriodora* coletadas em nós superiores apresentam maior potencial de enraizamento, sendo que quanto menos lignificado os tecidos, maior capacidade rizogênica e flexibilidade dos tecidos para formação de raízes adventícias (WENDLING *et al.* 2014).

Fatores genéticos também afetam significativamente o enraizamento em *Corymbia*. Shepherd *et al.* (2008) identificaram loci de características quantitativas (QTLs) associados à capacidade de enraizamento em híbridos de *Corymbia torelliana* × *C. citriodora variegata*. O estudo demonstrou que a variação na taxa de enraizamento pode ser explicada, em grande parte, por diferenças genéticas entre as espécies parentais, com alguns QTLs sendo responsáveis por até 66% da variação fenotípica. Isso sugere que a seleção genética para indivíduos de melhor desempenho no enraizamento pode ser uma estratégia viável para aprimorar a clonagem dessas espécies.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, M.C.; MARTINS, F.B.; FREITAS, C.H. de; PEREIRA, R.A. de A.; MELLONI, E.G.P. Valores limítrofes para transpiração, desenvolvimento e crescimento de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson em resposta à deficiência hídrica no solo. **Revista Árvore**, v.39, p.841-852, 2015.
- ASSIS, T. F. Melhoramento genético de *Eucalyptus*: desafios e perspectivas. Nova Lima: **Embrapa Florestas**, 2014. 22p.
- BAKER, A.; WALKER, S. M. Assessment of the relative amenability to vegetative propagation by leafy cuttings of 14 tropical and subtropical *Eucalyptus* and *Corymbia* species. In *Plantation technology in tropical forest science*. Springer, Tokyo, 2005.
- BRAWNER, J.T.; LEE, D.J.; HARDNER, C.M.; DIETERS, M.J. Relationships between early growth and Quambalaria shoot blight tolerance in *Corymbia citriodora* progeny trials established in Queensland, Australia. **Tree Genetics & Genomes**, 7(4), 759–772, 2011.
- COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M.; PROTÁSIO, T. P. Qualidade do carvão vegetal de *Eucalyptus* e *Corymbia* produzido em diferentes temperaturas finais de carbonização. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 108, p. 817-831, 2015.
- DAMACENA, M. B.; OLIVEIRA, C. V. A.; ALMADO, R. P.; DE SOUZA, G. A.; DOS SANTOS, G. A.; BHERING, L. L.; ASSIS, T. A. Melhoramento genético para redução de Kino em clones híbridos de *Corymbia*. **Boletim Técnico SIF**, p. 07, 2021.
- DAMACENA, Michelle Brandão. **Melhoramento para redução de Kino em clones híbridos de *Corymbia* sp. e *Eucalyptus* sp.** Orientador: Leonardo Lopes Bhering. 2019. 86 p. Dissertação (Magister Scientiae) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2019.
- DICKINSON, G. R.; LEE, D. J.; WALLACE, H. M. The influence of pre- and post-zygotic barriers on interspecific *Corymbia* hybridization. **Annals of Botany**, v. 109, p. 1215–1226, 2012.
- FLORES, T.B.; ÁLVARES, C.A.; SOUZA, V.C.; STAPE, J. L. **Eucalipto no Brasil: zoneamento climático e guia para identificação**. IPEF, Brasil, Piracicaba, 2016.
- FREITAS, M.L.M.; SOUZA, B.M.; AGUIAR, A.V.; GEZAN, S.; ZANATTO, B.; ZULIAN, D.F.; LOPES, M.T.G.; LONGUI, E.L.; GUERRINI, I.A. Reproductive biology effect on heritability of complex traits in *Corymbia citriodora* Hook. In: **Eucalypt Genetics: Fundamental and Applied Research in a Post-Genome Era**, Hobart. Abstracts. University of Tasmania, pp. 42, 2019.
- GARCIA, R. A.; OLIVEIRA, N. S.; NASCIMENTO, A. M.; SOUZA, N. D. Colorimetria de madeiras dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* e sua correlação com a densidade. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - Seropédica, RJ, Brasil. **CERNE**, 20(4), dez. 2014.
- HAYES, R. A.; NAHRUNG, H. F.; LEE, D. J. Consequences of *Corymbia* (Myrtaceae) hybridisation on leaf-oil profiles. **Australian Journal of Botany**, 61, p. 52-59, 2013.

HEALEY, A. L.; LEE, D. J.; LUPOI, J. S.; PAPA, G.; GUENTHER, J. M.; CORNO, L.; ADANI, F.; SINGH, S.; SIMMONS, B. A.; HENRY, R. J. Evaluation of relationships between growth rate, tree size, lignocellulose composition, and enzymatic saccharification in interspecific *Corymbia* hybrids and parental taxa. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1705, 2016.

HILL, K. D.; JOHNSON, L. A. S. Systematic studies in the *Eucalyptus* 7: a revision of the bloodwoods, genus *Corymbia* (Myrtaceae). **Telopea**, Sydney, v. 6, p. 173-505, 1995.

HUNG, T.D.; BRAWNER, J.T.; LEE, D.J.; MEDER, R.; DIETERS, M.J. Genetic variation in growth and wood-quality traits of *Corymbia citriodora* subsp. *variegata* across three sites in south-east Queensland, Australia. **Southern Forests**, 78(3), 225–239, 2016.

LEE, D. Achievements in forest tree genetic improvement in Australia and New Zealand 2: Development of *Corymbia* species and hybrids for plantations in eastern Australia. **Australian Forestry**, 70, p. 11-16, 2007.

MORA, A.L.; GARCIA, C.H.A. Cultura do Eucalipto no Brasil. São Paulo: **Sociedade Brasileira de Silvicultura**, 112 p., 2000.

REIS, C. A. F.; ASSIS, T. F.; SANTOS, A. M.; PALUDZYSZYN FILHO, E. *Corymbia citriodora*: estado da arte de pesquisas no Brasil. Colombo: **Embrapa Florestas**, 255 p., 2013.

REIS, C.A.F.; ASSIS, T.F.; SANTOS, A.M.; PALUDZYSYN, E.F. *Corymbia torelliana*: estado da arte de pesquisas no Brasil. Colombo: **Embrapa Florestas** 261:50, 2014.

RESENDE, M. D. V. de. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 16, p. 330-339, 2016.

SHEPHERD, M.; KASEM, S.; LEE, D. J.; HENRY, R. Mapping species differences for adventitious rooting in a *Corymbia torelliana* × *Corymbia citriodora* subspecies *variegata* hybrid. **Tree Genetics & Genomes**, v. 4, p. 715–725, 2008.

SHEPHERD, M.; LEE, D. J. Gene flow from *Corymbia* hybrids in northern New South Wales. **Forest Ecology and Management**, v. 362, p. 205–217, 2016.

SILVA, P. H. M.; LEE, D. J.; AMANCIO, M. R.; ARAUJO, M. J. Initiation of breeding programs for three species of *Corymbia*: Introduction and provenances study. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 22, p. e40012211, 2022.

SOUZA, B. M. de et al. Genotype-by-environment interaction in *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson progeny test in Luiz Antonio, Brazil. **Forest Ecology and Management**, 460, p. 1-8, 2020.

SEÇÃO 3
CAPÍTULOS

Capítulo 1 – Controle genético do enraizamento de clones de *Corymbia*

Resumo

Este estudo teve como objetivo avaliar a propagação clonal de *Corymbia*, analisando parâmetros de produtividade, sobrevivência e enraizamento de clones oriundos da clonagem individual de progênies. Foram estabelecidos minijardins clonais com quatro cruzamentos distintos: *C. variegata* x *C. torelliana* (A), *C. citriodora* x *C. torelliana* (B), *C. torelliana* x *C. citriodora* (C) e *C. torelliana* (D). A produtividade de miniestacas variou entre 5,6 e 8,6 miniestacas/minicepa/mês, com o cruzamento *C. torelliana* (D) apresentando o maior rendimento. A sobrevivência na casa de vegetação variou de 40,1% (*C. variegata* x *C. torelliana*) a 59,7% (*C. torelliana* x *C. citriodora*), enquanto o enraizamento na casa de sombra variou entre 44% e 62,58%, com os melhores valores observados no cruzamento *C. variegata* x *C. torelliana*. Os resultados indicam que a produtividade apresentou maior estabilidade genética entre os clones, enquanto a sobrevivência e o enraizamento foram mais influenciados por fatores ambientais. A predominância de clones de *C. citriodora* x *C. torelliana* entre os mais produtivos e de *C. variegata* x *C. torelliana* entre os mais enraizantes sugere que a direção do cruzamento influencia significativamente o desempenho na propagação clonal. A escolha do parental materno *C. torelliana* parece favorecer a propagação vegetativa, potencializando a capacidade de enraizamento dos híbridos. Conclui-se que a propagação de *Corymbia* depende da interação entre genética e manejo, sendo essencial a seleção de genótipos superiores para otimizar o sucesso da clonagem. Estratégias como o controle ambiental rigoroso, o uso de estufins e a seleção direcionada dos melhores cruzamentos podem contribuir para aumentar a eficiência da clonagem e garantir maior sustentabilidade na produção comercial de mudas.

Palavras-chave: miniestaquia; enraizamento; híbridos de *Corymbia*.

Chapter 1 – Genetic Control of Rooting in *Corymbia* Clones

Abstract

This study aimed to evaluate the clonal propagation of *Corymbia* by analyzing productivity, survival, and rooting parameters of clones derived from individual progeny cloning. Clonal mini-gardens were established with four distinct crosses: *C. variegata* x *C. torelliana* (A), *C. citriodora* x *C. torelliana* (B), *C. torelliana* x *C. citriodora* (C), and *C. torelliana* (D). The productivity of mini-cuttings ranged from 5.6 to 8.6 mini-cuttings per mini-stump per month, with the *C. torelliana* (D) cross showing the highest yield. Survival in the greenhouse varied from 40.1% (*C. variegata* x *C. torelliana*) to 59.7% (*C. torelliana* x *C. citriodora*), while rooting in the shade house ranged from 44% to 62.58%, with the highest values observed in the *C. variegata* x *C. torelliana* cross. The results indicate that productivity exhibited greater genetic stability among clones, whereas survival and rooting were more influenced by environmental factors. The predominance of *C. citriodora* x *C. torelliana* clones among the most productive and *C. variegata* x *C. torelliana* among those with the highest rooting rates suggests that the direction of the cross significantly influences clonal propagation performance. The selection of *C. torelliana* as the maternal parent appears to favor vegetative propagation, enhancing the rooting capacity of hybrids. It is concluded that the propagation of *Corymbia* depends on the interaction between genetics and management, making the selection of superior genotypes essential to optimize cloning success. Strategies such as strict environmental control, the use of mini-greenhouses, and targeted selection of the best crosses can contribute to improving cloning efficiency and ensuring greater sustainability in commercial seedling production.

Keywords: mini-cutting; rooting; *Corymbia* hybrids.

INTRODUÇÃO

Pertencente à família Myrtaceae, espécies do gênero *Corymbia* faziam parte do gênero *Eucalyptus* até 1995. Por apresentarem diferenças morfológicas e, principalmente, por não cruzarem com espécies do gênero *Eucalyptus*, *Corymbia* evoluiu a nível de gênero totalizando quase 200 espécies (HILL & JOHNSON, 1995). Originário da Austrália, Papua-Nova Guiné, Tasmânia, o *Corymbia* tem alto potencial de estar cada vez mais presente no setor florestal brasileiro, o que se deve a sua madeira de alta densidade básica (Db), tolerância ao déficit hídrico, e tolerância a pragas e doenças, principalmente por ocupar poucas áreas e ser um gênero relativamente novo no Brasil (ASSIS, 2014; ABREU, et al., 2015; FLORES et al., 2016).

O gênero *Corymbia* é de grande interesse e importância pois, com $Db > 800 \text{ kg/m}^3$, há um maior rendimento gravimétrico para produção de carvão, e menor consumo específico de madeira para celulose, quando comparado aos híbridos de eucalipto mais plantados no Brasil usados para essas finalidades (COUTO, et al., 2015; MORA & GARCIA, 2000). Atualmente, o clone I144 (*E. urophylla* - híbrido espontâneo) é o material genético mais plantado no Brasil do gênero *Eucalyptus*, e possui $Db = 440 \text{ kg/m}^3$ (BRASIL, 2022). Comparativamente, indivíduos de *C. citriodora* podem atingir $Db = 840 \text{ kg/m}^3$ e em materiais híbridos, como *C. torelliana* x *C. citriodora*, a Db pode atingir 660 kg/m^3 . Esses valores representam o grande potencial de ganhos com seleção genética ao utilizar diferentes materiais de *Corymbia*, dentro de programas de melhoramento florestal (GARCIA et al., 2014).

Entretanto, o melhoramento genético de *Corymbia* é ainda incipiente se comparado ao de eucalipto, o que implica que estudos voltados para a propagação vegetativa podem ser conduzidos dentro dos programas de melhoramento, uma vez que essas espécies apresentam limitações na produção de mudas (REIS, et al., 2014). Os gargalos relacionados à utilização de *Corymbia* na indústria florestal, é a baixa capacidade de enraizamento (que limita a escala operacional de mudas), e a presença de bolsas de quino (exsudatos resultantes do metabolismo secundário) presentes na madeira, o que dificulta o processo de polpação e branqueamento da pasta celulósica (DAMACENA, 2019).

Dentre os exemplares de *Corymbia*, a espécie *C. torelliana* apresenta o melhor enraizamento conhecido, além de ter as menores concentrações de bolsas de quino na madeira (DAMACENA, 2021). Considerando algumas evidências de que a maior ou menor porcentagem de enraizamento pode ter contribuição genética de herança extranuclear em eucaliptos (ASSIS & MAFIA, 2007; FERNANDES 2020), a expressão fenotípica pode ser influenciada por efeitos maternos, definidos como a influência do ambiente experimentado

pela planta-mãe sobre o desempenho da progênie. Em espécies florestais, esses efeitos podem contribuir para diferenças observadas entre cruzamentos recíprocos, especialmente em características relacionadas ao enraizamento e ao vigor inicial. (REIS, 2013).

Assim, pesquisas utilizando diferentes genitores no processo de formação de híbridos, colaboram para direcionar cruzamentos dentro de um programa de melhoramento genético florestal, otimizando os processos de clonagem das progênies, e seleção para características de interesse.

OBJETIVOS

- Caracterizar a produção de mudas e quantificar parâmetros de sobrevivência, enraizamento e produtividade média de propagação vegetativa via miniestaquia. De forma a avaliar os 4 cruzamentos estudados, obtidos das seguintes combinações A = *C. variegata* x *C. torelliana*, B = *C. citriodora* x *C. torelliana*, C = *C. torelliana* x *C. citriodora* e D = *C. torelliana*.
- Análise genética dos parâmetros sobrevivência, enraizamento e produtividade para os cruzamentos A, B, C e D.
- Identificar a influência de *C. torelliana* como mãe ou pai sobre o enraizamento, comparando os cruzamentos recíprocos B e C.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no período de abril de 2023 a janeiro de 2025 no Viveiro de Pesquisas do Departamento de Engenharia Florestal – Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizado na rodovia MG-280, km 3, no campus da Universidade Federal de Viçosa, na cidade de Viçosa – MG, Brasil. Tem como coordenadas 20° 46' 29'' S de latitude e 42° 52' 37'' W de longitude, a uma altitude de 690 m. O clima da região é do tipo *Cwa*, com verões chuvosos e invernos secos, de acordo com a classificação de Köppen. A precipitação média anual é de 1261 mm, com temperatura média máxima de 27 °C e média mínima de 16 °C (INMET, 2020).

Para o estabelecimento do minijardim clonal foram utilizados 5 canaletões de 19 x 0,80

m cada, onde clones de 4 cruzamentos foram distribuídos ao longo do comprimento, sendo eles; A = *C. variegata* x *C. torelliana* com 182 clones; B = *C. citriodora* x *C. torelliana* com 182 clones, e C = *C. torelliana* x *C. citriodora* com 96 clones, e D = *C. torelliana* (espécie pura) com 20 clones, totalizando 480 clones analisados em todo o experimento.

As diferenças morfológicas entre as minicepas dos cruzamentos avaliados evidenciam a influência dos parentais na arquitetura das plantas. O cruzamento A (*C. variegata* x *C. torelliana*) apresenta folhas menores, de coloração verde-clara uniforme e superfície levemente pubescente, com brotações novas pouco ou não recobertas por tricomas. No cruzamento B (*C. citriodora* x *C. torelliana*), as folhas são mais alongadas e estreitas, com coloração esverdeada mais intensa nas folhas maduras e presença moderada de tricomas nas brotações novas. O cruzamento C (*C. torelliana* x *C. citriodora*) exibe folhas de tamanho intermediário, margens ligeiramente onduladas e alta densidade de tricomas nas brotações novas, conferindo um aspecto aveludado, além de uma coloração jovem esverdeada com tons

arroxeados. Já o cruzamento D (*C. torelliana*) se destaca pelas folhas maiores e mais largas, brotações novas com intensa presença de tricomas e coloração arroxeadada marcante, além de uma superfície foliar espessa e textura perceptivelmente mais rígida. Morfologicamente, esse cruzamento apresenta grande semelhança com o cruzamento C, sugerindo que a presença de *C. torelliana* como parental materno influencia fortemente na arquitetura foliar.

No dia zero do experimento, uma muda por clone foi plantada nos canaletões, seguindo a distribuição supracitada. As mudas passaram por um período de adaptação de 7 dias e foram manejadas a fim de adquirirem o formato de minicepa para posterior coleta de miniestacas. O manejo das mudas consistiu em dobrá-las a 10 cm de altura do coleto e podar o ápice. Assim que as brotações laterais se tornaram funcionais e a porção da muda acima do ponto de quebra foi removida.

Cada muda plantada foi dividida previamente nos canaletões, as demais formadas a partir dela também foram plantadas na divisão correspondente de cada clone. Considerando um minijardim em formação a partir da clonagem individual de progênies, o nº de minicepas variou de 1 a 16 por clone, sendo as mudas excedentes transferidas para o pátio de rustificação, e quantificadas quanto à análise de produtividade de cada cruzamento. Quanto ao manejo nutricional, foram mantidas as soluções nutritivas em todos os leitos e o controle de pH e condutividade elétrica (EC) foi mensurado diariamente, mantendo faixas de 5,5 a 6,5 para pH e 2.500 a 3.000 uS/cm de EC, respectivamente para cada leito.

As miniestacas foram coletadas a cada 15 dias no minijardim clonal, seguindo padrão

de altura de 12 a 18 cm, e livre de patógenos. Foi realizada redução foliar no formato “árvore de natal” ou redução foliar em todos os pares de folha, quando o tamanho das folhas mais basais pudesse causar “efeito guarda-chuva”. Para a coleta, foram utilizadas caixas de isopor para transporte das miniestacas sendo borrifada água gelada durante o período de coleta. As estacas foram acondicionadas por até 10 minutos na caixa de isopor, sendo estaqueadas em seguida em substrato comercial Carolina Soil (classe XVI).

Para adubação de base das mudas clonais, foi utilizado o substrato Carolina Soil, suplementado de 300g de superfosfato simples, 150g de Osmocote e 1 litro de água, a cada 45 litros de substrato. A mistura dos componentes foi realizada em betoneira fixa. Em seguida, o substrato foi distribuído em tubetes de 55 cm³, previamente esterilizados em água a 70°C durante 5 minutos.

As estacas permaneceram em casa de vegetação climatizada com aspersão do tipo nevoeiro intermitente, exaustor e sistema automatizado, até apresentarem 50% de raízes visíveis abaixo do tubete por clone, ou no máximo 45 dias. A temperatura máxima e umidade relativa do ar mínima da casa de vegetação foram controladas para 37°C e 80%, respectivamente. A sobrevivência foi quantificada na transferência das miniestacas da casa de vegetação para a casa de sombra, onde permaneceram por 10 dias. Após esse período, é quantificado o enraizamento. Esses parâmetros foram quantificados seguindo as seguintes fórmulas:

$$\text{Sobrevivência (\%)} = \frac{NV}{NT}$$

$$\text{Enraizamento (\%)} = \frac{NR}{NV}$$

Onde: NV = número de estacas que chegaram vivas na casa de sombra. Admitindo-se que, estacas que não sobrevivem não enraízam; NT = número total de estacas estaqueadas; NR = número de estacas enraizadas após 10 dias de casa de sombra;

Os resultados obtidos para produtividade, sobrevivência em casa de vegetação e enraizamento em casa de sombra, foram submetidos ao teste de Tukey (P<0,05).

Para as três variáveis analisadas (produtividade, sobrevivência e enraizamento), foram realizadas avaliações no software Selegen REML/BLUP, com o objetivo de estimar os parâmetros genéticos dos clones de cada cruzamento (A, B, C e D) e obter o ranqueamento dos genótipos para as variáveis citadas anteriormente.

Considerando que as variáveis produtividade, sobrevivência e enraizamento foram

avaliadas em coletas sucessivas ao longo do período experimental, tais características foram analisadas sob a perspectiva de medidas repetidas, reconhecendo-se a não independência das observações realizadas em um mesmo clone. Mesmo sob condições controladas de viveiro, pequenas oscilações ambientais entre períodos de coleta podem contribuir para a variabilidade fenotípica observada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação de produtividade

Os resultados obtidos indicam que o cruzamento D (*C. torelliana*) apresentou a maior produtividade média (Figura 1) das matrizes no minijardim clonal, com média de 8,6 miniestacas/minicepa/mês, seguido pelo cruzamento C (*C. torelliana* x *C. citriodora*), com média de 7,0 miniestacas/minicepa/mês, que não diferiu significativamente do cruzamento B (*C. citriodora* x *C. torelliana*), com média de 5,9 miniestacas/minicepa/mês. O cruzamento A (*C. variegata* x *C. torelliana*) obteve a menor produtividade média (5,6 miniestacas/minicepa/mês) entre os cruzamentos avaliados. As diferenças observadas foram significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

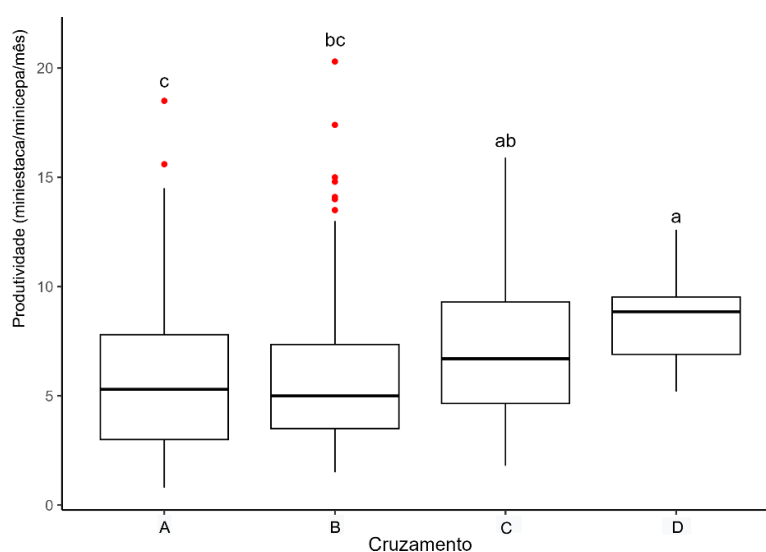


Figura 1 – Produtividade média, em miniestacas/minicepa/mês, para os quatro cruzamentos de *Corymbia* spp., no minijardim clonal oriundos de clonagem individual de progênies. Em que: A = *C. variegata* x *C. torelliana*, B = *C. citriodora* x *C. torelliana*, C = *C. torelliana* x *C. citriodora* e D = *C. torelliana*. Médias seguidas da mesma letra não apresentam diferença significativa ($P < 0,05$), pelo teste de Tukey.

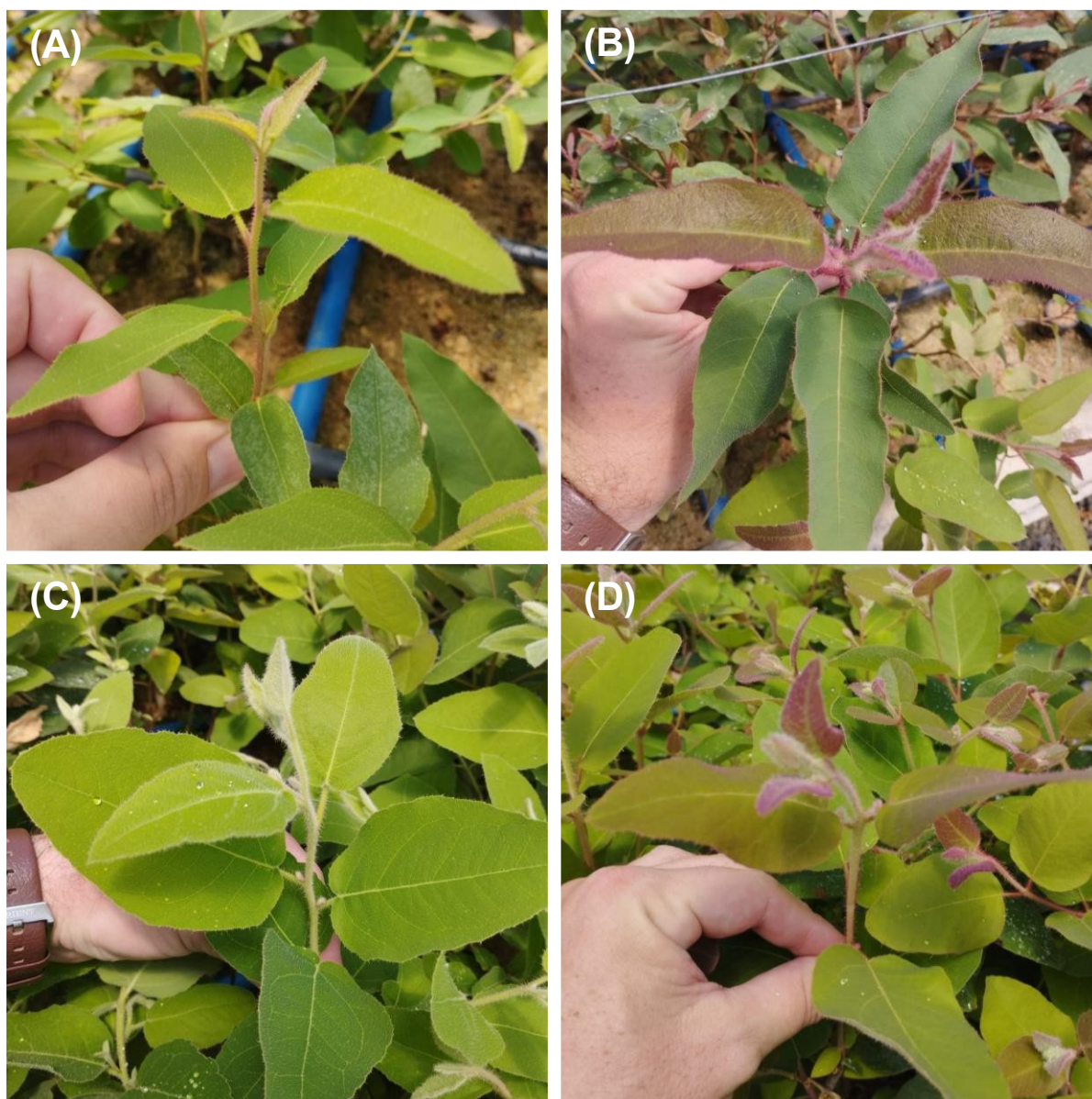


Figura 2 – Diferenças morfológicas entre minicepas dos quatro cruzamentos avaliados: (A) *C. variegata* x *C. torelliana*, (B) *C. citriodora* x *C. torelliana*, (C) *C. torelliana* x *C. citriodora* e (D) *C. torelliana*.

A diferença na produtividade média entre os cruzamentos avaliados pode ser atribuída a uma interação complexa entre fatores genéticos, metabólicos e fisiológicos que influenciam o crescimento e a alocação de recursos nas minicepas. O cruzamento D (*C. torelliana*) apresentou a maior produtividade, possivelmente devido a uma combinação eficiente de características que favorecem a alocação de recursos para a produção de miniestacas no ambiente específico do minijardim clonal (BRONDANI et al., 2012).

Os cruzamentos B (*C. citriodora* x *C. torelliana*) e C (*C. torelliana* x *C. citriodora*) não diferiram significativamente entre si, o que pode estar relacionado à composição genética semelhante entre esses híbridos, independentemente da posição dos parentais no cruzamento.

Essa semelhança sugere que o padrão de crescimento e os mecanismos de alocação de recursos metabólicos são similares, resultando em produtividades próximas (WENDLING et al., 2015).

O cruzamento A (*C. variegata* x *C. torelliana*) apresentou a menor produtividade, o que pode estar associado a características específicas dessa combinação genética que resultam em menor eficiência na produção de miniestacas. Fatores como o padrão de crescimento vegetativo, o metabolismo relacionado à produção de novas brotações e a adaptação ao manejo no minijardim clonal podem ter contribuído para esse desempenho inferior (ROCHA et al., 2015).

Avaliação da sobrevivência na saída de casa de vegetação

Os resultados obtidos indicam que o cruzamento C (*C. torelliana* x *C. citriodora*) apresentou a maior taxa de sobrevivência na saída da casa de vegetação, com média de 59,7%, diferindo significativamente dos cruzamentos A (*C. variegata* x *C. torelliana*) e B (*C. citriodora* x *C. torelliana*), que obtiveram médias de 40,1% e 40,2%, respectivamente. O cruzamento D (*C. torelliana*) apresentou uma taxa de sobrevivência com média de 54,3%, sem diferença significativa quando comparado aos demais cruzamentos (Figura 3).

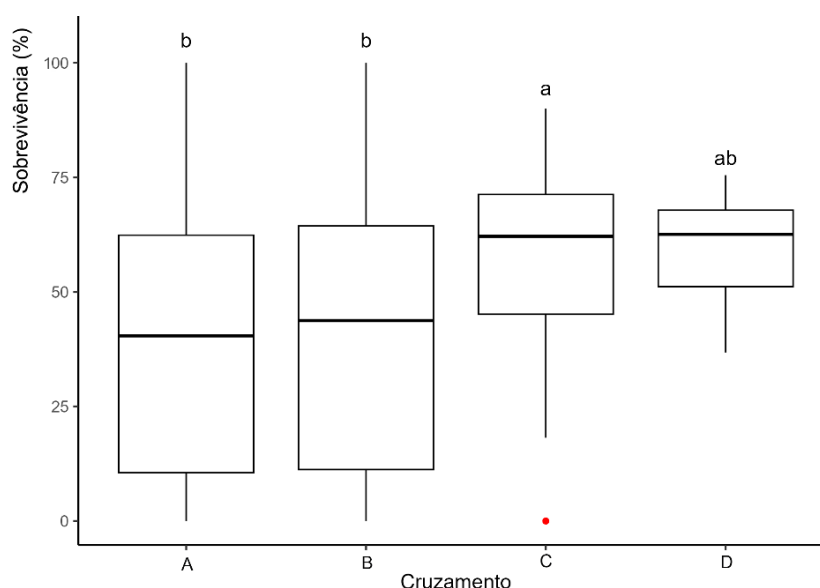


Figura 3 – Sobrevivência média, em porcentagem, na saída da casa de vegetação para os quatro cruzamentos de *Corymbia* spp., oriundos de clonagem individual de progênies. Em que: A = *C. variegata* x *C. torelliana*, B = *C. citriodora* x *C. torelliana*, C = *C. torelliana* x *C. citriodora* e D = *C. torelliana*. Médias seguidas da mesma letra não apresentam diferença significativa ($P < 0,05$), pelo teste de Tukey.

A diferença na taxa de sobrevivência das miniestacas na saída da casa de vegetação entre

os cruzamentos avaliados pode estar relacionada a uma interação de fatores ambientais e genéticos, associados ao manejo adotado durante o processo de propagação clonal. O manejo de temperatura e umidade na casa de vegetação, embora padronizado para todos os cruzamentos, pode ter influenciado de maneira distinta o desempenho das miniestacas, considerando as variações na capacidade de adaptação metabólica entre os genótipos.

Além disso, o manejo nutricional adotado no minijardim clonal, que fornece o estado nutricional inicial das miniestacas, foi uniformizado para todos os cruzamentos. No entanto, a assimilação e alocação desses nutrientes estão diretamente associadas à regulação hormonal da planta, que controla o direcionamento de recursos metabólicos para o desenvolvimento de novas raízes e o estabelecimento das miniestacas na casa de vegetação. Dessa forma, adotar um manejo médio para muitos genótipos pode favorecer alguns e prejudicar a sobrevivência de outros (SOUZA et al., 2023).

Avaliação de enraizamento na saída de casa de sombra

A análise do enraizamento médio na saída da casa de sombra não revelou diferença significativa entre os cruzamentos avaliados, conforme o teste de Tukey ($p < 0,05$) (Figura 4). No entanto, observa-se uma tendência de variação entre os híbridos, com maior desempenho aparente nos cruzamentos que possuem *C. torelliana* como parental materno quando hibridados com outras espécies de *Corymbia*, sugerindo uma possível influência dessa herança genética sobre o enraizamento (WENDLING et al., 2015).

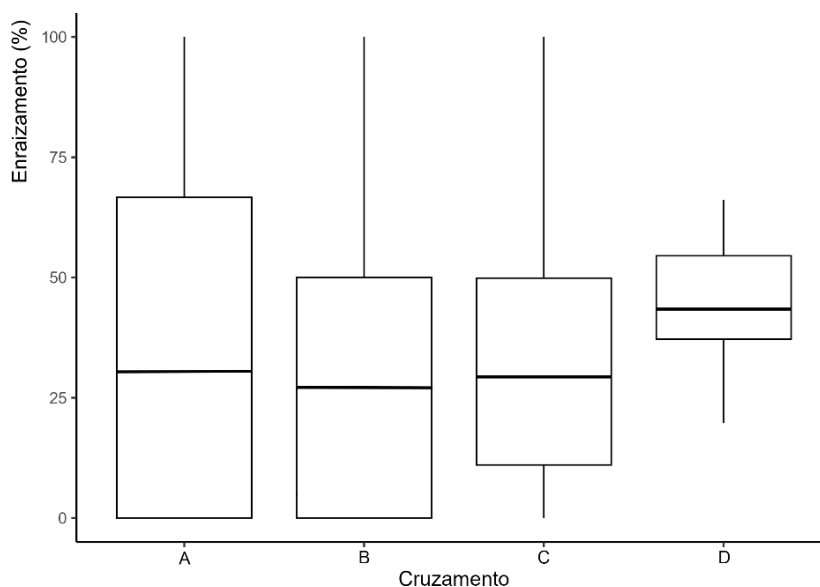


Figura 4 – Enraizamento médio, em porcentagem, na saída da casa de sombra para os quatro cruzamentos de *Corymbia* spp., oriundos de clonagem individual de progênies. Em que: A = *C. variegata* x *C. torelliana*, B = *C. citriodora* x *C. torelliana*, C = *C. torelliana* x *C. citriodora* e D = *C. torelliana*. Médias seguidas da mesma letra não apresentam diferença significativa ($P < 0,05$), pelo teste de Tukey.

Essa tendência pode estar associada a características inerentes à capacidade de desenvolvimento radicular, influenciadas, possivelmente, pela herança genética materna. O uso de *C. torelliana* como parental materno em híbridos interespecíficos pode conferir uma maior predisposição ao enraizamento, em razão de mecanismos fisiológicos que favorecem a formação e o crescimento de raízes adventícias. Essa herança materna pode impactar aspectos relacionados à alocação de fotoassimilados, resultando em um desempenho aparentemente superior nesses cruzamentos (WENDLING et al., 2015; PEREIRA et al., 2023).

Apesar dessa diferença empírica observada, a dispersão dos dados entre os genótipos avaliados não permitiu a detecção estatística dessa variação, indicando a necessidade de investigações complementares para melhor compreender a influência dessa característica genética no processo de enraizamento.

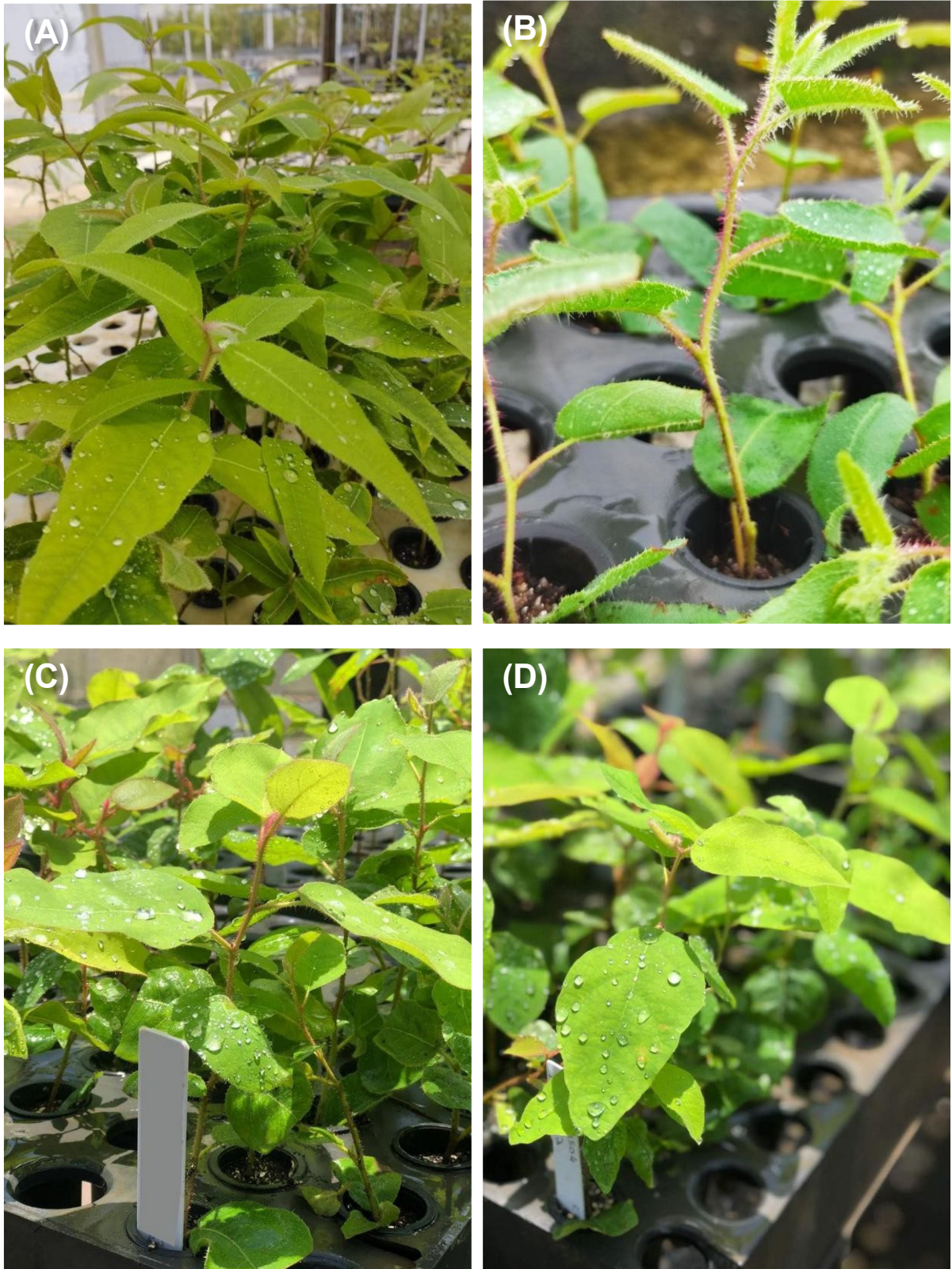


Figura 5 – Mudas clonais de *Corymbia*, (A) Cruzamento A, (B) Cruzamento B, (C) Cruzamento C e (D) Cruzamento D, na saída da casa de sombra.



Figura 6 – Mudas enraizadas de *Corymbia*, ao final do período na casa de sombra.

Controle genético da produção de mudas clonais de *Corymbia*

Os dados apresentados na Tabela 1 fornecem estimativas dos componentes de variância e parâmetros genéticos para características fundamentais no enraizamento e propagação clonal de *Corymbia*, incluindo produtividade (miniestacas/minicepa/mês), sobrevivência na saída da casa de vegetação e enraizamento na saída da casa de sombra. A variância fenotípica σ^2_f foi consideravelmente maior para a produtividade (39,86) em comparação com as demais variáveis (0,23 para sobrevivência e 0,25 para enraizamento), indicando maior variação total nessa característica. A variância fenotípica permanente dos clones σ^2_{fp} também foi mais elevada para produtividade (7,08), enquanto os valores de sobrevivência (0,01) e enraizamento (0,03) foram baixos.

O coeficiente de repetibilidade r_m foi maior para produtividade (0,75), seguido de enraizamento (0,63) e sobrevivência (0,49). Esses valores indicam que a produtividade apresenta maior estabilidade genética ao longo das medições, tornando-se uma característica mais previsível para a seleção (OLIVEIRA et al., 2014). A acurácia da seleção Ac_m seguiu uma tendência semelhante, sendo maior para produtividade (0,87), seguida de enraizamento (0,79)

e sobrevivência (0,70). Esses valores corroboram a confiabilidade das análises associadas aos parâmetros.

A média geral (μ) das características revelou que a produtividade média foi de 10,49 miniestacas/minicepa/mês, enquanto a sobrevivência na saída da casa de vegetação foi de 59% e o enraizamento na saída da casa de sombra foi de 44%. Esses valores indicam que, apesar da boa capacidade de propagação de miniestacas, a sobrevivência e o enraizamento ainda são fatores limitantes no processo de enraizamento clonal. Em termos de melhoramento genético, os resultados sugerem que a seleção para produtividade pode ser realizada com alta confiabilidade, enquanto para sobrevivência e enraizamento a resposta à seleção pode ser mais limitada devido à menor variância genética envolvida. Assim, estratégias que considerem o ambiente e aprimoramento das condições de propagação podem ser fundamentais para otimizar essas características, garantindo maior eficiência no enraizamento clonal de *Corymbia*.

Tabela 1 – Estimativas de componentes de variância e parâmetros genéticos de clones de *Corymbia* para as variáveis produtividade (miniestacas/minicepa/mês), sobrevivência na saída de casa de vegetação e enraizamento na saída de casa de sombra.

	Produtividade	Sobrevivência	Enraizamento
σ^2_{fp}	7,08	0,01	0,03
σ^2_f	39,86	0,23	0,25
r_m	0,75	0,49	0,63
Ac_m	0,87	0,70	0,79
μ	10,49	0,59	0,44

Em que: σ^2_{fp} = variância fenotípica permanente entre plantas; σ^2_f = variância fenotípica individual; r_m = repetibilidade da média de medidas repetidas; Ac_m = acurácia da seleção baseada na média medidas repetidas; μ = média geral do experimento.

Seleção de clones *Corymbia* oriundos da clonagem individual de progênies

Foram ranqueados os 25 melhores clones considerando os parâmetros de produtividade, sobrevivência (%) e enraizamento (%) de forma aleatória, sendo para 86 indivíduos para cruzamento A, 74 indivíduos para B, 63 indivíduos para o cruzamento C e 20 indivíduos para o cruzamento D.

A avaliação da produtividade de miniestacas em minijardins clonais é um fator determinante para o sucesso da propagação vegetativa de *Corymbia*, permitindo a seleção de clones com maior eficiência na produção de mudas. Os resultados do ranking na Tabela 2

indicam variação expressiva na produtividade entre os diferentes clones avaliados, com valores de fp (efeito fenotípico permanente) variando de 7,97 a 1,60 miniestacas/minicepa/mês e valores de $u + fp$ (valor fenotípico permanente) variando de 18,46 a 12,09. Os maiores valores foram observados nos clones oriundos do cruzamento *C. citriodora* x *C. torelliana*, indicando um possível efeito positivo desse cruzamento na produtividade de miniestacas (PEREIRA et al., 2023).

A predominância de híbridos de *C. citriodora* x *C. torelliana* entre os clones mais produtivos sugere que essa combinação genética pode estar associada a uma maior capacidade de brotação e regeneração das minicepas, resultando em maior eficiência na clonagem. Além disso, clones do cruzamento *C. variegata* x *C. torelliana* também demonstraram boa produtividade, ainda que com valores médios inferiores, destacando o potencial desse cruzamento interespecífico para propagação clonal (RESENDE & BARBOSA, 2005).

A análise dos dados também evidencia que os clones classificados entre os primeiros lugares apresentam valores fenotípicos permanentes ($u + fp$) superiores a 14,00, o que indica maior estabilidade na produção ao longo do tempo. A acurácia da seleção desses clones pode ser reforçada com base nos coeficientes de repetibilidade da produtividade apresentados anteriormente, sugerindo que a seleção de clones mais produtivos pode ser realizada com alta confiabilidade. Além disso, estratégias de manejo, como o uso de estufins e controle ambiental, podem otimizar a produtividade dos clones menos produtivos. Dessa forma, a identificação dos clones com maior produtividade permite direcionar esforços para a multiplicação dos melhores materiais genéticos, contribuindo para o aumento da eficiência na propagação clonal de *Corymbia* (LIMA et al., 2021). Essa abordagem reforça a importância da seleção de genótipos superiores e do aprimoramento das condições ambientais na clonagem, visando maximizar a taxa de enraizamento e o sucesso da propagação comercial da espécie.

Tabela 2 – Ranking de clones de *Corymbia* em minijardim clonal, oriundos da clonagem individual de progênies, classificados pela produtividade (miniestaca/minicepa/mês) em ordem decrescente.

Ordem	Cruzamento	Clone	Espécies	fp	u + fp	Nova média
1	B	COR020603	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	7,97	18,46	18,46
2	B	COR020507	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	6,69	17,19	17,83
3	B	COR020531	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	5,70	16,19	17,28
4	C	COR030606	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	4,62	15,11	16,74
5	B	COR020508	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	4,28	14,78	16,35
6	A	COR010130	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	4,21	14,70	16,07
7	A	COR010809	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	3,66	14,15	15,80
8	A	COR010140	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	2,96	13,46	15,51
9	B	COR020711	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	2,94	13,44	15,28
10	B	COR020813	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	2,87	13,37	15,08
11	B	COR020735	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	2,82	13,32	14,92
12	B	COR020611	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	2,70	13,20	14,78
13	A	COR010810	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	2,64	13,14	14,65
14	A	COR010732	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	2,64	13,14	14,54
15	A	COR010420	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	2,61	13,10	14,45
16	A	COR010808	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	2,45	12,94	14,35
17	A	COR010412	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	2,29	12,79	14,26
18	B	COR020413	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	2,22	12,71	14,18
19	A	COR010734	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	2,13	12,62	14,09
20	A	COR010128	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	2,07	12,57	14,02
21	A	COR010411	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	2,05	12,55	13,95
22	B	COR020801	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	1,94	12,44	13,88
23	B	COR020406	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	1,68	12,18	13,81
24	B	COR020608	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	1,61	12,10	13,73
25	B	COR020614	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	1,60	12,09	13,67

Em que: **fp** é o efeito fenotípico permanente e **u + fp** é o valor fenotípico permanente.

Para análise da sobrevivência, os dados apresentam variação nos valores fenotípicos permanentes ($u + fp$), que variam entre 63,72% e 62,09%, indicando uma diferença relativamente pequena entre os clones mais e menos sobreviventes no ranking (Tabela 3).

Os resultados indicam que clones derivados de cruzamentos entre *C. citriodora* x *C. torelliana* (cruzamento B) e *C. torelliana* x *C. citriodora* (cruzamento C) estão entre os melhores classificados em termos de sobrevivência, o que corrobora a literatura sobre o potencial de enraizamento e vigor dessas combinações híbridas (REIS et al., 2014). O clone COR040102, de *C. torelliana* puro (cruzamento D), também apresentou alta sobrevivência, sugerindo que essa espécie contribui positivamente para a resiliência do material clonal. Essa tendência reforça achados anteriores, que indicam que *C. torelliana* possui maior capacidade de regeneração e propagação vegetativa quando comparado a outras espécies do gênero (SHEPHERD et al., 2008).

Outro fator relevante é a presença significativa de clones de *C. torelliana* x *C. citriodora* (cruzamento C) na classificação superior, indicando que a direção do cruzamento pode influenciar a sobrevivência das miniestacas. A variação entre diferentes combinações híbridas pode estar associada a efeitos genéticos, como dominância e heterose, além de diferenças na resposta fisiológica ao estresse da propagação clonal. Segundo Shepherd et al. (2008), a propagação de híbridos interespecíficos pode ser afetada pela expressão diferencial de genes envolvidos no desenvolvimento radicular e na resposta a estresses ambientais.

A elevada acurácia da seleção previamente observada para sobrevivência reforça que a escolha de clones superiores pode ser feita com alta confiabilidade. Além disso, estratégias de manejo, como o uso de estufins e controle rigoroso da umidade e temperatura durante a fase de enraizamento, podem otimizar a sobrevivência dos clones com menor desempenho (LIMA et al., 2022).

Tabela 3 – Ranking de clones de *Corymbia*, oriundos da clonagem individual de progênies, classificados pela sobrevivência (%) na saída de casa de vegetação em ordem decrescente.

Ordem	Cruzamento	Clone	Espécies	fp	u + fp	Nova Média
1	B	COR020517	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	5,17	63,72	63,72
2	B	COR020726	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	4,89	63,45	63,59
3	D	COR040102	<i>C. torelliana</i>	4,89	63,45	63,54
4	C	COR030301	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	4,88	63,43	63,51
5	A	COR010718	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	4,81	63,36	63,48
6	C	COR030504	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	4,76	63,32	63,46
7	C	COR030404	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	4,43	62,98	63,39
8	B	COR020503	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	4,04	62,6	63,29
9	B	COR020616	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	4,04	62,6	63,21
10	C	COR030602	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	4,04	62,6	63,15
11	B	COR020528	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	3,92	62,48	63,09
12	C	COR030302	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	3,92	62,48	63,04
13	C	COR030705	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	3,92	62,48	62,99
14	C	COR030717	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	3,92	62,48	62,96
15	A	COR010216	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	3,86	62,42	62,92
16	A	COR010608	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	3,86	62,42	62,89
17	B	COR020521	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	3,71	62,27	62,85
18	C	COR030203	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	3,71	62,27	62,82
19	C	COR030612	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	3,71	62,27	62,79
20	B	COR020723	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	3,57	62,12	62,76
21	C	COR030603	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	3,57	62,12	62,73
22	C	COR030803	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	3,57	62,12	62,7
23	B	COR020512	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	3,54	62,09	62,67
24	C	COR030214	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	3,54	62,09	62,65
25	D	COR040103	<i>C. torelliana</i>	3,54	62,09	62,63

Em que: **fp** é o efeito fenotípico permanente e **u + fp** é o valor fenotípico permanente.

Os dados apresentados demonstram variação expressiva no percentual de enraizamento entre os clones, com valores fenotípicos permanentes (u+fp) variando entre 62,58% e 54,12%. Essa diferença sugere que há variação genética significativa entre os genótipos quanto à capacidade de formar raízes adventícias, além da possível influência de fatores ambientais no desempenho final.

Os melhores clones em termos de enraizamento pertencem predominantemente ao cruzamento *C. variegata* x *C. torelliana* (cruzamento A), destacando-se o clone COR010720, que apresentou o maior valor fenotípico permanente (62,58%). Essa tendência sugere que *C. variegata*, quando cruzado com *C. torelliana*, pode contribuir para o aumento da capacidade de enraizamento, possivelmente devido a interações genéticas favoráveis.

Além disso, os clones do cruzamento C (*C. torelliana* x *C. citriodora*) também apresentaram desempenho relevante, com valores superiores a 60% nos primeiros cinco colocados. Isso reforça a hipótese de que *C. torelliana* pode contribuir para a melhora da propagação clonal, especialmente quando utilizado como parental materno na hibridação. Em contrapartida, os clones do cruzamento B (*C. citriodora* x *C. torelliana*) apresentaram desempenho relativamente inferior, sugerindo que a direção do cruzamento pode afetar a capacidade de enraizamento (BRONDANI et al., 2008; LIMA et al., 2022).

Portanto, os dados indicam que o enraizamento na saída da casa de sombra é uma característica altamente variável entre os clones, sendo influenciada tanto pelo genótipo quanto por fatores ambientais. A seleção de materiais geneticamente superiores e a aplicação de técnicas de manejo adequadas são estratégias fundamentais para otimizar a propagação clonal de *Corymbia*.

Tabela 4 – Ranking de clones de *Corymbia*, oriundos da clonagem individual de progênies, classificados pelo enraizamento (%) na saída de casa de sombra em ordem decrescente.

Ordem	Cruzamento	Clone	Espécies	fp	u + fp	Nova Média
1	A	COR010720	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	19,06	62,58	62,58
2	A	COR010608	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	17,11	60,64	61,61
3	A	COR010613	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	16,32	59,84	61,02
4	C	COR030302	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	16,32	59,84	60,73
5	C	COR030604	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	15,83	59,36	60,45
6	A	COR010207	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	15,59	59,11	60,23
7	B	COR020521	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	15,59	59,11	60,07
8	C	COR030217	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	15,09	58,61	59,89
9	C	COR030614	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	12,67	56,2	59,48
10	A	COR010142	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	12,37	55,89	59,12
11	B	COR020504	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	12,37	55,89	58,83
12	B	COR020707	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	11,49	55,02	58,51
13	C	COR030905	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	11,37	54,9	58,23
14	B	COR020519	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	10,88	54,4	57,96
15	C	COR030202	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	10,88	54,4	57,72
16	C	COR030907	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	10,61	54,13	57,5
17	A	COR010212	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	10,59	54,12	57,3
18	A	COR010321	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	10,59	54,12	57,12
19	A	COR010806	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	10,59	54,12	56,96
20	B	COR020204	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	10,59	54,12	56,82
21	B	COR020413	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	10,59	54,12	56,69
22	B	COR020423	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	10,59	54,12	56,57
23	B	COR020510	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	10,59	54,12	56,47
24	B	COR020528	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	10,59	54,12	56,37
25	B	COR020725	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	10,59	54,12	56,28

Em que: **fp** é o efeito fenotípico permanente e **u + fp** é o valor fenotípico permanente.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que a produtividade, a sobrevivência e o enraizamento na propagação clonal de *Corymbia* são influenciados por fatores genéticos e ambientais. A maior variância fenotípica observada para a produtividade indica que essa característica apresenta maior variação total, o que favorece a seleção de clones superiores para essa variável. A alta acurácia da seleção para produtividade sugere que o delineamento experimental utilizado foi suficiente para fornecer uma alta precisão experimental garantindo a confiabilidade das informações aqui apresentadas, enquanto características como sobrevivência e enraizamento, que apresentaram menor variabilidade genética, podem ser aprimoradas por meio de melhorias nas condições ambientais e técnicas de manejo.

A análise dos rankings revelou que os híbridos *C. citriodora* x *C. torelliana* foram os mais produtivos, enquanto *C. variegata* x *C. torelliana* apresentou melhores taxas de enraizamento. Esses resultados reforçam que a direção do cruzamento pode influenciar significativamente a capacidade de propagação clonal, possivelmente devido a interações genéticas e efeitos de heterose. Além disso, a presença de clones de *C. torelliana* entre os melhores classificados para sobrevivência e enraizamento indica que essa espécie pode desempenhar um papel crucial na melhoria da propagação vegetativa, contribuindo para a resiliência do material clonal.

Portanto, os dados evidenciam que o sucesso da clonagem de *Corymbia* depende tanto da seleção genética quanto da aplicação de práticas adequadas de manejo. A utilização de estufins, o controle ambiental rigoroso e a escolha de genótipos com alta eficiência de propagação são estratégias fundamentais para otimizar o processo. Dessa forma, a integração entre melhoramento genético e manejo adequado pode proporcionar ganhos significativos na clonagem de *Corymbia*, permitindo a produção de mudas de alta qualidade e promovendo maior eficiência e sustentabilidade nos plantios comerciais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M.C.; MARTINS, F.B.; FREITAS, C.H. de; PEREIRA, R.A. de A.; MELLONI, E.G.P. Valores limítrofes para transpiração, desenvolvimento e crescimento de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson em resposta à deficiência hídrica no solo. **Revista Árvore**, v.39, p.841-852, 2015.

ASSIS, T. F. Melhoramento genético de Eucalyptus: desafios e perspectivas. Nova Lima: **Embrapa Florestas**, 2014. 22p.

BRONDANI, G. E., WENDLING, I., GROSSI, F., DUTRA, L. F., & ARAUJO, M. A. (2012). Miniestaquia de *Eucalyptus benthamii* × *Eucalyptus dunnii*: (I) Sobrevivência de minicepas e produção de miniestacas em função das coletas e estações do ano. **Ciência Florestal**, 22(1), 11-21.

COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M.; PROTÁSIO, T. P. Qualidade do carvão vegetal de Eucalyptus e Corymbia produzido em diferentes temperaturas finais de carbonização. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 108, p. 817-831, 2015.

DAMACENA, M. B.; OLIVEIRA, C. V. A.; ALMADO, R. P.; DE SOUZA, G. A.; DOS SANTOS, G. A.; BHERING, L. L.; ASSIS, T. A. Melhoramento genético para redução de Kino em clones híbridos de *Corymbia*. **Boletim Técnico SIF**, p. 07, 2021.

DAMACENA, Michelle Brandão. **Melhoramento para redução de Kino em clones híbridos de *Corymbia* sp. e *Eucalyptus* sp.** Orientador: Leonardo Lopes Bhering. 2019. 86 p. Dissertação (Magister Scientiae) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2019.

FLORES, T.B.; ÁLVARES, C.A.; SOUZA, V.C.; STAPE, J. L. **Eucalipto no Brasil: zoneamento climático e guia para identificação.** IPEF, Brasil, Piracicaba, 2016.

GARCIA, R. A.; OLIVEIRA, N. S.; NASCIMENTO, A. M.; SOUZA, N. D. Colorimetria de madeiras dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* e sua correlação com a densidade. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - Seropédica, RJ, Brasil. **CERNE**, 20(4), dez. 2014.

HILL, K. D.; JOHNSON, L. A. S. Systematic studies in the Eucalyptus 7: a revision of the bloodwoods, genus *Corymbia* (Myrtaceae). **Telopea**, Sydney, v. 6, p. 173-505, 1995.

Lima, M. S., Araujo, M. M., Berghetti, Á. L. P., Aimi, S. C., Costella, C., Griebeler, A. M., Somavilla, L. M., Santos, O. P., & Valente, B. M. R. T. (2022). Mini-cutting technique application in *Corymbia* and *Eucalyptus*: effects of mini-tunnel use across seasons of the year. **New Forests**, 53, 161–179.

MORA, A.L.; GARCIA, C.H.A. **Cultura do Eucalipto no Brasil.** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 112 p., 2000.

OLIVEIRA, L. S., DIAS, P. C., & ALMEIDA, M. (2014). Avaliação genética do enraizamento de miniestacas de uma procedência de *Eucalyptus cloeziana*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, 34(80), 341-349.

PEREIRA, R. A. A., SANTOS, G. A., CANAL, G. B., HAUERS, C. P. D., SANTOS, G. S., & RAMOS, N. S. (2023). Enraizamento de miniestacas de híbridos de *Corymbia*. **Boletim Técnico SIF**, 3(3), 1- 5.

REIS, C. A. F.; ASSIS, T. F.; SANTOS, A. M.; PALUDZYSZYN FILHO, E. *Corymbia citriodora*: estado da arte de pesquisas no Brasil. Colombo: **Embrapa Florestas**, 255 p., 2013.

REIS, C.A.F.; ASSIS, T.F.; SANTOS, A.M.; PALUDZYSZYN, E.F. *Corymbia torelliana*: estado da arte de pesquisas no Brasil. Colombo: **Embrapa Florestas**, 261:50, 2014.

Resende, M. D. V., & Barbosa, M. H. P. (2005). Genética e melhoramento do eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, (51), 5-15.

ROCHA, J. H. T., BACKES, C., BORELLI, K., PRIETO, M. R., SANTOS, A. J. M., & GODINHO, T. O. (2015). Produtividade do minijardim e qualidade de miniestacas de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla* (I-224) em função de doses de nitrogênio. **Ciência Florestal**, 25(2), 273-279.

SHEPHERD, M.; KASEM, S.; LEE, D. J.; HENRY, R. Mapping species differences for adventitious rooting in a *Corymbia torelliana* × *Corymbia citriodora* subspecies *variegata* hybrid. **Tree Genetics & Genomes**, v. 4, p. 715–725, 2008.

SOUZA, H. C., GASPARIN, E., ARAÚJO, M. M., SANTOS, O. P., PIMENTEL, N., & ASSIS, T. F. (2023). Efeito do ácido indolbutírico na estaquia de híbridos de *Corymbia* spp. **Série Técnica IPEF**, 26(48), 584–588.

WENDLING, I., WARBURTON, P. M., & TRUEMAN, S. J. (2015). Maturation in *Corymbia torelliana* × *C. citriodora* stock plants: Effects of pruning height on shoot production, adventitious rooting capacity, stem anatomy, and auxin and abscisic acid concentrations. **Forests**, 6(10), 3763-3778.

Capítulo 2: Interação genótipos por ambientes em teste de progênie de *Corymbia* avaliados precocemente

Resumo

A interação genótipos x ambientes (GxE) é um fator crítico em programas de melhoramento genético florestal, pois afeta a adaptação e produtividade dos genótipos em diferentes condições ambientais. Este estudo avaliou a interação GxE em híbridos interespecíficos de *Corymbia*, considerando características como diâmetro à altura do peito (DAP), altura total, volume e incremento médio anual em volume (IMAvol). Foram conduzidos testes de progênie em três locais distintos: Inocência/MS, Belo Oriente/MG e Rio Pardo/RS, utilizando o método de Máxima Verossimilhança Restrita (REML) e predição dos valores genéticos via Melhor Preditor Linear Não Viesado (BLUP). Os resultados indicaram significativa variação genética e ambiental, com valores elevados de herdabilidade, especialmente para Belo Oriente e Rio Pardo, onde a herdabilidade da média de progênie h_{mp}^2 alcançou 0,91 e 0,90, respectivamente, refletindo a forte influência da variação genética aditiva sobre o desempenho das características avaliadas. Os híbridos de *Corymbia* apresentaram desempenho competitivo em relação a clones comerciais de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, com destaque para a família 16 (*C. torelliana* x *C. variegata*), que demonstrou elevada estabilidade fenotípica e ampla adaptabilidade ambiental. A interação GxE foi mais evidente para IMAvol, sugerindo a necessidade de uma abordagem criteriosa na seleção de genótipos para diferentes ambientes. O r_{gloc} variou de 0,55 a 0,58, o que permite uma abordagem ampla para os três sites. A alta acurácia na seleção (~ 1) reforça a confiabilidade do processo seletivo, possibilitando a clonagem de indivíduos superiores e a formação de pomares para produção de sementes híbridas, promovendo o avanço do melhoramento genético para futuras gerações. Assim, este estudo destaca o potencial dos híbridos de *Corymbia* para expansão em plantios comerciais, contribuindo para a diversificação e ganhos na produção florestal.

Palavras-chave: Análise genótipos x ambientes, melhoramento genético, híbridos interespecíficos.

Chapter 2: Genotype x Environment Interaction in Early Evaluated *Corymbia* Progeny Tests

Abstract

The genotype \times environment interaction (GxE) is a critical factor in forest genetic improvement programs, as it affects the adaptation and productivity of genotypes under different environmental conditions. This study evaluated the GxE interaction in interspecific hybrids of *Corymbia*, considering traits such as diameter at breast height (DBH), total height, volume, and mean annual increment in volume (IMAvol). Progeny tests were conducted in three distinct locations: Inocência/MS, Belo Oriente/MG, and Rio Pardo/RS, using the Restricted Maximum Likelihood (REML) method and the prediction of genetic values through Best Linear Unbiased Predictor (BLUP). The results indicated significant genetic and environmental variation, with high heritability values, especially for Belo Oriente and Rio Pardo, where the heritability of the progeny mean (h_{mp}^2) reached 0.91 and 0.90, respectively, reflecting the strong influence of additive genetic variation on the performance of the evaluated traits. *Corymbia* hybrids showed competitive performance compared to commercial clones of *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, with emphasis on family 16 (*C. torelliana* x *C. variegata*), which demonstrated high phenotypic stability and broad environmental adaptability. The GxE interaction was most evident for IMAvol, suggesting the need for a careful approach in genotype selection for different environments. The rgloc ranged from 0.55 to 0.58, allowing for a broad approach across the three sites. The high selection accuracy (~ 1) reinforces the reliability of the selection process, enabling the cloning of superior individuals and the establishment of orchards for hybrid seed production, thereby promoting the advancement of genetic improvement for future generations. Thus, this study highlights the potential of *Corymbia* hybrids for expansion in commercial plantations, contributing to diversification and gains in forest production.

Keywords: Genotype \times environment analysis, genetic improvement, interspecific hybrids.

INTRODUÇÃO

A interação genótipo por ambiente (GxE) é um fenômeno amplamente estudado em programas de melhoramento genético florestal, pois influencia diretamente a seleção de genótipos para diferentes condições ambientais. No gênero *Corymbia*, a análise GxE é essencial para otimizar a produtividade e a adaptação dos materiais genéticos às condições climáticas e edáficas específicas e maximizar os ganhos genéticos ao longo dos ciclos de seleção (Souza et al., 2020).

A relevância da análise da GxE em *Corymbia* reside na grande variação das condições ambientais onde essas espécies são plantadas, tanto no Brasil quanto na Austrália. Segundo Hung et al. (2016), a madeira de *C. citriodora* é amplamente utilizada para a produção de madeira sólida e essencial para indústrias de móveis, construção e produção de óleo essencial. Para maximizar a produtividade e a estabilidade do crescimento, é necessário selecionar genótipos que apresentem boa adaptação e alta performance em diferentes ambientes (Freitas et al., 2019).

Os principais estudos da GxE em *Corymbia* utilizam testes de progênie conduzidos em múltiplos sítios, nos quais variáveis como diâmetro à altura do peito (DAP), altura total, forma do fuste e sobrevivência são analisadas (Gezan et al., 2020). Métodos estatísticos avançados, como o modelo de Melhor Predição Linear Não Viesada (BLUP), têm sido aplicados para estimar parâmetros genéticos e avaliar a estabilidade e adaptabilidade dos genótipos. O uso da média harmônica do desempenho relativo dos valores genéticos (MHPRVG) é um dos métodos eficazes para avaliar a produtividade, adaptabilidade e estabilidade das progênies em diferentes ambientes (Rezende et al., 2014).

Os resultados dos testes de progênie de *C. citriodora* indicam que a interação GxE pode ser pouco significativa para alguns caracteres de crescimento, como o DAP, mas tem maior impacto em características como a sobrevivência, especialmente em ambientes contrastantes. Souza et al. (2020) demonstraram que, em diferentes tipos de solos no Brasil, algumas progênies apresentam crescimento consistente entre locais, enquanto outras sofrem variações significativas no desempenho em função das condições edáficas. Dessa forma, é imprescindível considerar a análise GxE na definição das estratégias de melhoramento e recomendação de plantio de espécies do gênero (Brawner et al., 2011).

OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi fornecer bases para continuidade do programa de melhoramento de *Corymbia* spp., avaliando o desempenho de diferentes híbridos interespecíficos obtidos através de cruzamentos controlados e implantados em diferentes locais, visando detalhamento de características de interesse de modo a viabilizar a seleção de famílias de irmãos completos e progênes híbridas entre 1 e 2 anos. O programa de melhoramento *Corymbia* contempla diversos segmentos do setor florestal, tais como o de celulose, carvão, painéis, energia e siderurgia.

Objetivos Específicos

- Estimar parâmetros genéticos para as características avaliadas por meio do método de Máxima Verossimilhança Restrita (REML) para cada sítio experimental;
- Predizer os valores genéticos dos materiais genéticos avaliados via Melhor Predição Linear Não-Viesada (BLUP);
- Selecionar famílias superiores dos testes de progênes aos 1, 1,3 e 2 anos de idade em diferentes locais avaliados de forma conjunta (análise GxE).

MATERIAL E MÉTODOS

Material Genético

As famílias híbridas de irmãos-completos foram obtidas a partir de cruzamentos controlados entre diferentes materiais genéticos superiores fornecidos pelas empresas. Foram utilizadas 221 famílias foram obtidas a partir de polinização controlada. Cada pólen mix foi meticulosamente criado a partir de genótipos elite representando as espécies.

Para o processo de polinização controlada, foi utilizada a técnica de Protoginia Artificialmente Induzida (PAI), que consiste em seccionar o topo do opérculo do botão floral, removendo o terço superior do estilete no estágio de pré-antese, ou seja, com a flor ainda fechada, e posteriormente depositar os grãos de pólen na região seccionada do botão floral (ASSIS et al., 2005).

Caracterização da área de estudo

Foram implantados três testes de progênies nos anos de 2022 e 2023, oriundos de cruzamentos controlados, em áreas de empresas participantes do Projeto Corymbia: Arauco, Cenibra e CMPC – Celulose Riograndense. A seleção dos locais considerou ambientes contrastantes, caracterizados por elevadas temperaturas e elevada mortalidade de indivíduos devido a geadas em plantios comerciais. Essas condições são estratégicas para a avaliação do desempenho e seleção de materiais genéticos com potencial tolerância ao déficit hídrico e às baixas temperaturas.

Os ensaios experimentais de progênies híbridas de Corymbia foram implantados nos municípios de Inocência/MS, Belo Oriente/MG e Rio Pardo/RS. O município de Inocência (Figura 1), localizado no estado de Mato Grosso do Sul, apresenta clima classificado como Aw, conforme a classificação de Köppen, caracterizado por um regime tropical com estação seca. A temperatura média anual é de aproximadamente 24°C. As temperaturas máximas médias mensais variam entre 19°C e 30°C, enquanto as mínimas médias mensais oscilam entre 18°C e 26°C. A precipitação média anual é de aproximadamente 1.380 mm, concentrando-se principalmente entre novembro e março. A altitude média do município é de cerca de 502 metros acima do nível do mar (INMET, 2020).

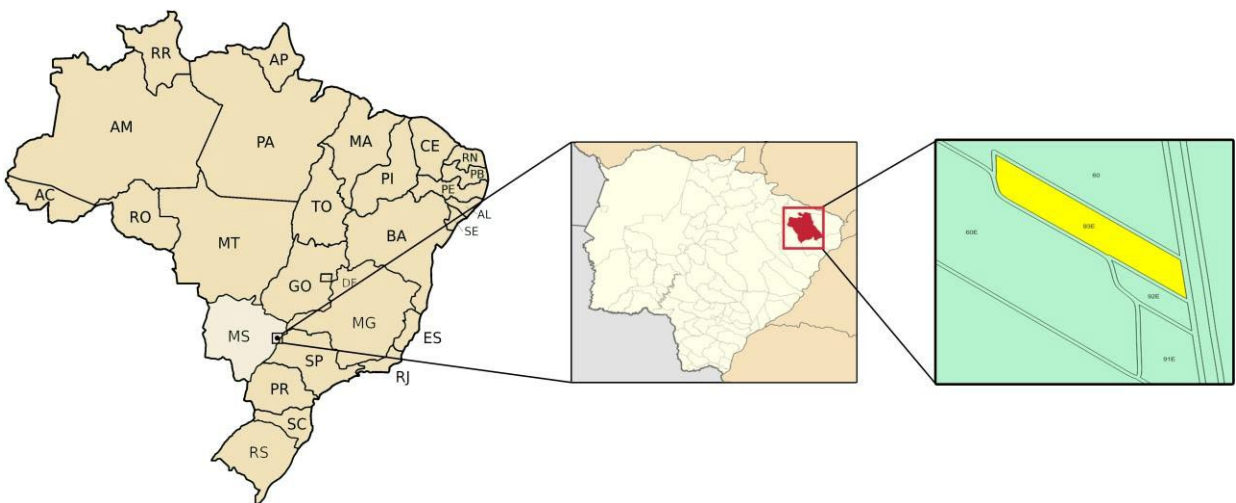


Figura 1 – Mapa do Brasil (a) destacando o estado do Mato Grosso do Sul; (b) localização do município de Inocência, onde foi implantado um dos experimentos; (c) mapa detalhado do talhão do experimento realizado no município de Inocência/MS.

O segundo local de teste foi implantado no município de Belo Oriente, situado no estado de Minas Gerais (Figura 2). O clima predominante é do tipo Aw (tropical com estação seca),

apresentando temperatura média anual de aproximadamente 22°C. As temperaturas máximas médias mensais variam entre 26°C e 30°C, enquanto as mínimas médias mensais oscilam entre 13°C e 20°C. A precipitação média anual é de aproximadamente 1.185 mm, com distribuição sazonal mais concentrada entre os meses de outubro e março. A altitude média do município é de aproximadamente 200 metros acima do nível do mar (INMET, 2020).

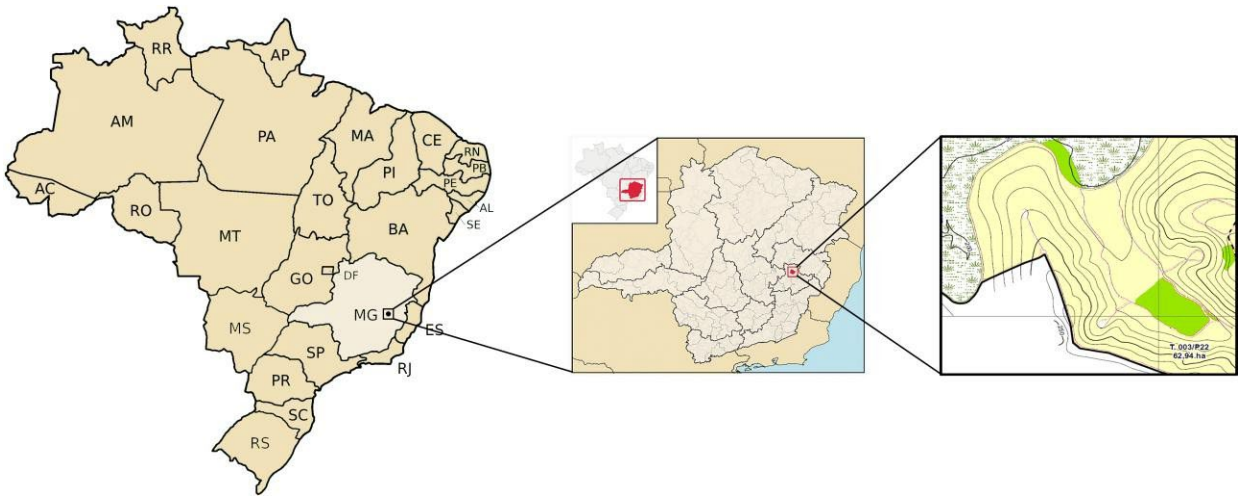


Figura 2: Mapa do Brasil (a) destacando o estado de Minas Gerais; (b) localização do município de Belo Oriente, onde foi implantado um dos experimentos; (c) mapa detalhado do talhão do experimento realizado no município de Belo Oriente/MG.

O terceiro ensaio foi estabelecido no município de Rio Pardo, no estado do Rio Grande do Sul (Figura 3). A classificação climática da região corresponde ao tipo Cfa, subtropical úmido com verões quentes. A temperatura média anual é de aproximadamente 18°C, com máximas médias mensais variando entre 17°C e 29°C, enquanto as mínimas médias mensais situam-se entre 9°C e 18°C. A precipitação média anual é de aproximadamente 1.705 mm, apresentando distribuição relativamente homogênea ao longo do ano. A altitude média do município é de cerca de 40 metros acima do nível do mar (INMET, 2020).

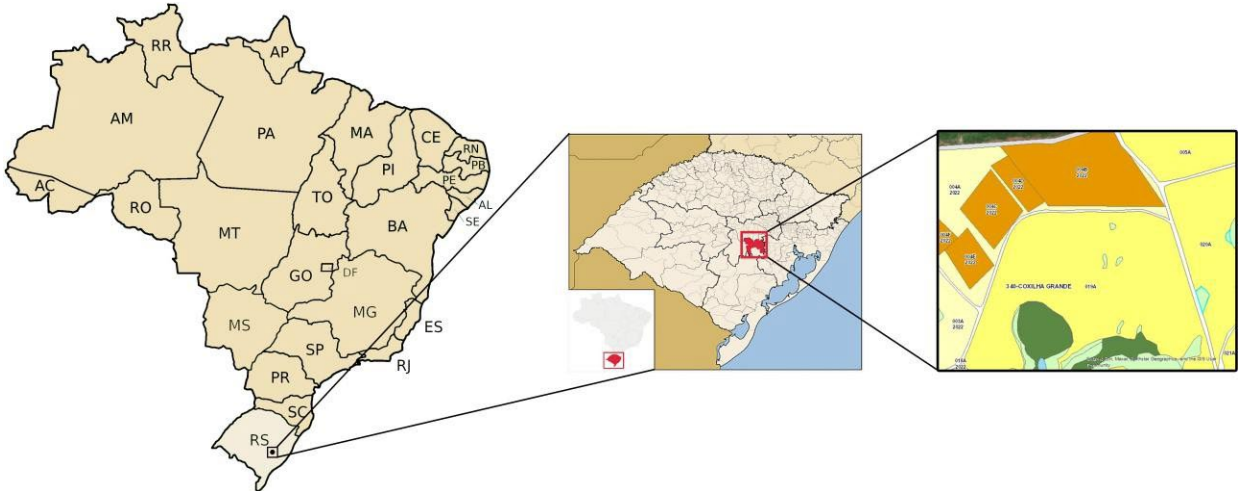


Figura 3: Mapa do Brasil (a) destacando o estado do Rio Grande do Sul; (b) localização do município de Rio Pardo, onde foi implantado um dos experimentos; (c) mapa detalhado do talhão do experimento realizado no município de Rio Pardo/RS.

Fenotipagem

O processo de fenotipagem foi conduzido aos 12 (Inocência/MS), 16 (Belo Oriente/MG) e 24 meses (Rio Pardo/RS) pós-plantio. As características mensuradas foram a altura total da planta (HT), em metros, através do equipamento clinômetro (Haglof ECII) e a circunferência à altura do peito (CAP), em centímetros, mensurado com auxílio de uma fita métrica a 1,30 m em relação ao nível do solo. Entretanto, para obtenção do diâmetro à altura do peito (DAP), em centímetros, os dados amostrados foram transformados mediante a equação abaixo:

$$DAP = \frac{CAP}{\pi}$$

Em que: CAP é a circunferência à altura do peito em centímetros, medido a 1,30 metros de altura em relação ao nível do solo.

O volume (m³) foi obtido por meio de estimativa, utilizando as informações de HT e DAP por meio da equação abaixo:

$$VOL = \frac{\pi * DAP^2}{40000} * HT * f$$

Em que: f é o fator de forma médio (f = 0,45, no presente trabalho).

O incremento médio anual (IMA), estimado em $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, foi obtido com auxílio da seguinte equação:

$$IMAvol = VOL * \frac{10000}{E} * \frac{12}{I}$$

Em que: E é o espaçamento entre plantas (9 m^2) e I corresponde a idade dos indivíduos em meses.

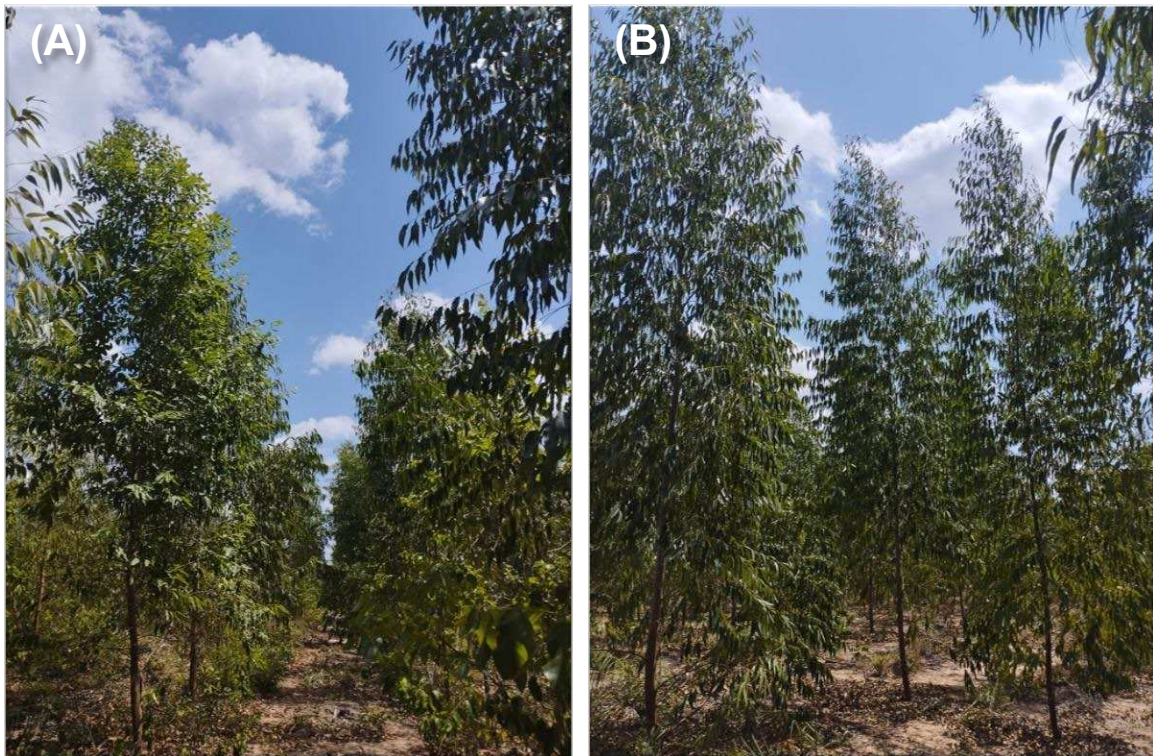


Figura 4 – Teste de progênies de *Corymbia* implantado no município de Inocência/MS, aos (A) 6 meses e aos (B) 12 meses após o plantio.



Figura 5 – Teste de progênies de *Corymbia* implantado no município de Belo Oriente/MG, aos (A) 6 meses e aos (B) 16 meses após o plantio.



Figura 6 – Teste de progênies de *Corymbia* implantado no município de Rio Pardo/RS, aos 24 meses após o plantio.

Análise Genética

Os parâmetros genéticos foram estimados via método da Máxima Verossimilhança Restrita (REML) e os valores genéticos foram preditos utilizando o Melhor Preditor Linear Não-Viesados (*Best Linear Unbiased Predictor* - BLUP) através de abordagens de modelos lineares mistos implementados no software Selegen REML/BLUP (RESENDE, 2006). O modelo aplicado abaixo foi aplicado ao conjunto de dados de cada local de forma individual:

$$y = Xr + Z_{1b} + Z_{2g} + \varepsilon$$

Em que: y é o vetor de dados; X é a matriz de incidência de efeitos fixos; Z_1 é a matriz de incidência de efeito aleatório de blocos; Z_2 é a matriz de incidência de efeito aleatório de progênies; r é o vetor de efeitos fixos (média geral); b é o vetor de efeitos aleatórios de bloco; g é o vetor de efeitos aleatórios de progênies e ε é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios).

Por se tratar de uma população de irmãos completos, a variância genética (σ_g^2) corresponde a:

$$\sigma_g^2 = \frac{1}{2}\sigma_a^2 + \frac{1}{4}\sigma_d^2$$

Sendo assim, a herdabilidade de sentido restrito (h_a^2) foi estimada através do estimador apresentado abaixo:

$$h_a^2 = \frac{2 * \sigma_a^2}{\sigma_f^2}$$

Sendo σ_f^2 a variância fenotípica total dada por $\sigma_f^2 = \sigma_g^2 + \sigma_b^2 + \sigma_e^2$; σ_b^2 variância de bloco; σ_e^2 variância residual.

A acurácia de seleção de progênies (AC_{prog}) foi estimada por meio da seguinte expressão:

$$AC_{prog} = \sqrt{1 - \frac{PEV}{\sigma_g^2}}$$

Em que: PEV é a variância do erro de predição.

A herdabilidade no sentido amplo representa a proporção da variação fenotípica que pode ser explicada por fatores genéticos (Falconer, 1996), de modo que, a herdabilidade ampla foi estimada utilizando o estimado abaixo:

$$H^2 = (Ac_{prog})^2$$

Seleção

A seleção realizada no presente trabalho foi conduzida a nível de progênie (família de irmãos completos), de forma individual para cada local. Para isto, considerou-se apenas os valores genéticos preditos para IMAvol, os quais foram ranqueados de forma decrescente ficando nas primeiras posições os materiais de maior desempenho. Posteriormente, selecionou-se em cada sítio experimental, de forma independente, aquelas progênies que ocupavam as primeiras 30 posições do ranking. Para análise GxE considerou-se o IMAvol e ranqueamento decrescente para as progênies nos três diferentes sítios.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teste de Razão de Verossimilhança

O Teste da Razão de Verossimilhança (LRT) apresentado na Tabela 1, por meio do teste χ^2 , demonstrou a existência de variabilidade genética significativa para todas as características avaliadas nos diferentes locais. Essa variabilidade indica o potencial para a seleção de indivíduos superiores, com possibilidade de ganhos genéticos nas famílias avaliadas.

Tabela 1 – Análise de Deviance e Teste da Razão de Verossimilhança (LRT) para altura da árvore, diâmetro à 1,30 m do solo (DAP), volume, incremento médio anual (IMAvol) e sobrevivência, gerado por meio da máxima verossimilhança restrita (REML) para 221 famílias híbridas de meios-irmãos de *Corymbia* para as três áreas experimentais avaliadas.

Variável	modelo	Inocência/MS		Belo Oriente/MG		Rio Pardo/RS	
		Deviance	LRT	Deviance	LRT	Deviance	LRT
DAP	completo	1615,21	144,54***	890,65	275,13***	1205,85	108,88***
	reduzido	1759,75		1165,78		1314,73	
Altura	completo	1220,19	239,47 ***	753,32	182,50***	930,41	128,70***
	reduzido	1459,66		935,82		1059,11	
Volume	completo	-9779,71	244,65***	-3953,06	242,68***	-3684,10	206,35***
	reduzido	-9535,06		-3710,38		-3477,75	
IMAvol	completo	3685,48	244,64***	2618,30	242,87***	2153,92	206,86***
	reduzido	3930,12		2861,17		2360,78	
Sobrevivência	completo	-2343,70	7,99***	-470,69	9,09***	-539,31	10,05***
	reduzido	-2335,71		-461,60		-529,26	

LRT – Teste da Razão de verossimilhança entre o modelo completo e reduzido ao nível de 0.1% (***) de significância baseado no teste χ^2 com 1 grau de liberdade para DAP, altura, volume, IMAvol e sobrevivência.

Parâmetros Genéticos

Os componentes de variância e parâmetros genéticos estimados para as características produtivas de madeira de *Corymbia* em cada local de avaliação estão apresentados na Tabela 1. A variância fenotípica (σ^2_f), que corresponde a soma das variâncias genética, de blocos e residual, apresentou maior valor no site Belo Oriente (136,32) para característica de interesse IMAvol. Analisando a variância genotípica (σ^2_g), que considera as relações das variáveis DAP e Volume, o site de Belo Oriente foi o que apresentou o maior valor (68,84), quando comparada à Inocência (7,53) e Rio Pardo (26,61). De acordo com Falconer (1964) a variância genotípica é de grande importância dada a semelhança das progênes híbridas com os genitores, e conseqüentemente implicando em ganho com seleção nas populações.

As herdabilidades (h^2_a e h^2_{mp}) para IMAvol são consideradas de alta magnitude para os três sites, sendo a herdabilidade de sentido restrito (h^2_a) com maior valor de 0,93 para Rio Pardo, 0,88 para Belo Oriente e menor valor para Inocência (0,67). De acordo com Resende (2002), valores de herdabilidade acima de 0,5 são considerados de alta magnitude, ou seja, para os três sites, a maior parte da variação do IMA nesses locais é explicada pela variância genética aditiva, ou seja, os indivíduos mais produtivos transmitem essas características para seus descendentes com alta previsibilidade.

A herdabilidade genética da média de progênie (h^2_{mp}) para os três sites também foi alta, especialmente em Belo Oriente (0,91) e Rio Pardo (0,90). Esses valores refletem que, há pouca influência do ambiente dentro das famílias, ou seja, o efeito médio do ambiente é semelhante entre os indivíduos de uma mesma progênie, e que a seleção baseada na média das progênie será eficaz (ROSADO et al., 2012).

Assim como a herdabilidade, os valores de acurácias da seleção de progênie (Tabela 1) também foram considerados elevados (~ 1) para todas as características. Essas estimativas corroboram que a seleção terá grande assertividade (RESENDE e DUARTE, 2007).

Tabela 2 – Estimativas de componentes de variância e parâmetros genéticos de híbridos interespecíficos de *Corymbia* para as características DAP, altura, volume, IMAvol e sobrevivência nos testes de progênies implantados nos municípios de Inocência/MS (Local 1), Belo Oriente/MG (Local 2) e Rio Pardo/RS (Local 3) aos 12, 16 e 24 meses de idade, respectivamente.

CP	DAP			Altura			Volume			IMAvol			Sobrevivência		
	Local 1	Local 2	Local 3	Local 1	Local 2	Local 3	Local 1	Local 2	Local 3	Local 1	Local 2	Local 3	Local 1	Local 2	Local 3
σ^2_b	1,61	1,60	3,75	1,02	1,24	2,04	0,00	0,00	0,00	13,42	59,98	27,30	0,03	0,15	0,12
σ^2_g	0,58	2,14	1,95	0,58	1,07	1,23	0,00	0,00	0,00	7,53	68,84	26,61	0,00	0,01	0,01
σ^2_e	0,20	0,20	0,47	0,13	0,16	0,26	0,00	0,00	0,00	1,68	7,50	3,41	0,00	0,02	0,02
σ^2_f	2,40	3,94	6,17	1,73	2,47	3,53	0,00	0,00	0,00	22,62	136,32	57,32	0,03	0,18	0,15
h^2_a	0,49	0,91	0,63	0,67	0,87	0,70	0,67	0,89	0,93	0,67	0,88	0,93	0,09	0,12	0,13
h^2_{mp}	0,76	0,92	0,82	0,83	0,88	0,84	0,83	0,91	0,90	0,83	0,91	0,90	0,31	0,39	0,42
Ac_{prog}	0,87	0,96	0,91	0,91	0,94	0,92	0,91	0,95	0,95	0,91	0,95	0,95	0,55	0,62	0,65
μ	4,92	9,22	8,01	5,43	7,79	6,10	0,01	0,02	0,02	6,39	20,75	9,78	0,97	0,80	0,84

σ^2_b : é a variância de blocos; σ^2_g : variância genotípica entre progênies de irmãos germanos; σ^2_e : é a variância residual; σ^2_f : variância fenotípica total; h^2 : herdabilidade individual no sentido restrito, obtida ignorando-se a fração (1/4) da variância genética de dominância; h^2_m : herdabilidade genética da média de progênies, assumindo sobrevivência completa; Ac_{prog} : acurácia da seleção de progênies, assumindo sobrevivência completa; (μ): média fenotípica geral do experimento para cada característica em cada site.

Seleção

Inocência - MS

Foram selecionados os 25 materiais genéticos com base no IMAvol ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) em ordem decrescente, das quais 9 são clones comerciais utilizados como testemunhas, 10 são progênies híbridas oriundas do cruzamento de *C. variegata* x *C. torelliana*, 3 são progênies de

C. citriodora x *C. torelliana*, 1 progênie de *C. torelliana* x *C. variegata*, e 2 progênies de espécies puras, sendo *C. citriodora* e *C. torelliana*, totalizando 16 progênies de *Corymbia* presentes no ranking (Tabela 3).

Os melhores materiais genéticos para Inocência foram 8 testemunhas (clone comercial) de *E. urophylla* x *E. grandis*, sendo a 1ª delas com melhor média de $16,02 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$. Progênies de *C. variegata* x *C. torelliana* e *C. torelliana* x *C. variegata* ocuparam a 9ª e 11ª colocação, com médias de $13,05$ e $12,23 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, respectivamente. A média geral do experimento foi de $6,39 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ e sobrevivência superior a 96,8%.

Estes são resultados promissores para os híbridos de *Corymbia*, uma vez que a nova média superou uma das testemunhas (*E. urophylla* x *E. grandis*, $12,60 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) e refletem apenas do valor genético aditivo, diferentemente de materiais clonais que possuem valor genético de dominância. Assim, observada a variabilidade genética dentro de famílias, há possibilidade de aumento da produtividade por meio da seleção e clonagem dos indivíduos (COSTA et al., 2007).

Belo Oriente - MG

Foram selecionados os 25 materiais genéticos com base no IMAvol ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) em ordem decrescente, das quais 9 são clones comerciais utilizados como testemunhas, 4 são progênies híbridas oriundas do cruzamento de *C. variegata* x *C. torelliana*, 3 são progênies de *C. citriodora* x *C. torelliana*, 2 progênie de *C. torelliana* x *C. variegata*, 2 progênies de *C. torelliana* x *C. citriodora*, 2 progênies de *C. torelliana* x *C. henryi* e 2 progênies de espécies puras, sendo *C. citriodora* e *C. torelliana*, totalizando 16 progênies de *Corymbia* presentes no ranking (Tabela 4).

Os melhores materiais genéticos para Belo Oriente foram as testemunhas clonais de *E. urophylla* x *E. grandis* com nova média de até $44,17 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$. Materiais de *Corymbia* neste site ocuparam posições superiores no ranking, com as progênies 15 (*C. torelliana* x *C. citriodora*) e 16 (*C. torelliana* x *C. variegata*) apresentando médias de $39,68$ e $36,80 \text{ m}^3$.

ha⁻¹.ano⁻¹, respectivamente, acima de diversos materiais clonais utilizados como testemunha. Para este site, também foi observado a presença as progênes 11 e 23 de *C. torelliana* como espécie pura que compuseram os 25 melhores materiais para este local.

Rio Pardo - RS

Foram selecionados os 25 materiais genéticos com base no IMAvol (m³.ha⁻¹.ano⁻¹) em ordem decrescente, das quais 6 são clones comerciais utilizados como testemunhas, 5 são progênes híbridas oriundas do cruzamento de *C. variegata* x *C. torelliana*, 5 são progênes de *C. citriodora* x *C. torelliana*, 5 progênes de *C. torelliana* x *C. citriodora*, 2 progênes de *C. torelliana* x *C. henryi* e 2 progênes de espécies puras, sendo *C. citriodora* e *C. torelliana*, totalizando 19 progênes de *Corymbia* presentes no ranking (Tabela 5).

Os melhor material genético para Rio Pardo foi a testemunha clonais de *E. urophylla* x *E. camaldulensis* com nova média de até 25,57 m³.ha⁻¹.ano⁻¹. Materiais de *Corymbia* neste site ocuparam posições superiores no ranking, com as progênes 36 (*C. torelliana* x *C. citriodora*) e 56 (*C. torelliana*) apresentando médias de 22,02 e 19,76 m³.ha⁻¹.ano⁻¹, respectivamente. Para este site a progênie 36 superou duas testemunhas comerciais, ocupando a 5ª posição no ranking.

A relevância de materiais *Corymbia* em posições superiores no ranqueamento, permitem que a seleção precoce dentro das famílias seja assertiva no desenvolvimento de clones que possam eventualmente superar as demais testemunhas, acelerando o programa de melhoramento genético (ASSIS, 1996).

Tabela 3 – Ranking das 25 primeiras famílias de teste de progênes instalado em Inocência/MS na empresa Arauco, com base no IMAvol (m³/ha/ano) aos 12 meses de idade, classificadas em ordem decrescente.

Ordem	Progênie	Híbrido	g	Nova Média	Sobrevivência (%)
1	100	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	9,63	16,02	97,7
2	18	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	8,13	15,27	97,7
3	20	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	7,83	14,92	97,7
4	103	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	7,48	14,66	97,7
5	25	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	7,20	14,45	97,7
6	102	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	6,91	14,26	97,7
7	101	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	5,79	13,96	97,7
8	19	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	3,95	13,51	97,1
9	89	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	2,98	13,05	97,7
10	99	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	2,18	12,60	97,7
11	16	<i>C. torelliana</i> x <i>C. variegata</i>	2,14	12,23	97,7
12	4	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	1,94	11,91	97,0
13	94	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	1,87	11,63	97,7
14	97	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	1,69	11,37	97,7
15	53	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	1,59	11,15	97,7
16	88	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	1,16	10,92	96,8
17	81	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	1,09	10,72	97,7
18	7	<i>C. citriodora</i>	1,07	10,54	97,7
19	80	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	0,90	10,37	97,7
20	56	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	0,89	10,22	97,7
21	90	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	0,84	10,07	97,7
22	95	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	0,82	9,94	97,7
23	85	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	0,78	9,82	97,7
24	8	<i>C. torelliana</i>	0,76	9,71	97,7
25	86	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	0,76	9,61	97,2

Tabela 4 – Ranking das primeiras 25 famílias de teste de progênie instalado em Belo Oriente/MG na empresa Cenibra, com base no IMAvol (m³/ha/ano) aos 16 meses de idade, classificadas em ordem decrescente.

Ordem	Progênie	Híbrido	g	Nova Média	Sobrevivência (%)
1	20	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	23,42	44,17	88,2
2	110	<i>E. urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i>	21,85	43,38	86,5
3	18	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	16,21	41,24	88,2
4	15	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	14,26	39,68	87,9
5	132	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	10,31	37,96	88,2
6	16	<i>C. torelliana</i> x <i>C. variegata</i>	10,24	36,80	83,4
7	109	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	9,77	35,90	86,4
8	25	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	9,13	35,15	88,2
9	133	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	8,49	34,49	88,2
10	19	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	8,46	33,97	85,1
11	107	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	7,77	33,47	81,8
12	131	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	7,75	33,06	88,2
13	130	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	6,22	32,59	88,2
14	12	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	4,70	32,08	85,7
15	23	<i>C. torelliana</i>	4,04	31,59	81,2
16	9	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	3,88	31,16	84,9
17	104	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	3,69	30,76	81,1
18	37	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	3,05	30,38	83,9
19	17	<i>C. torelliana</i> x <i>C. henryi</i>	2,84	30,02	86,1
20	2	<i>C. torelliana</i> x <i>C. variegata</i>	2,83	29,70	82,0
21	124	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	2,48	29,39	86,8
22	121	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	2,40	29,10	87,1
23	33	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	2,19	28,84	88,2
24	13	<i>C. torelliana</i> x <i>C. henryi</i>	2,07	28,59	86,9
25	11	<i>C. torelliana</i>	1,09	28,32	83,8

Tabela 5 – Ranking das primeiras 25 famílias de teste de progênes instalado em Rio Pardo/RS na empresa CMPC, com base no IMAvol (m³/ha/ano) aos 24 meses de idade, classificadas em ordem decrescente.

Ordem	Progênie	Híbrido	g	Nova Média	Sobrevivência (%)
1	32	<i>E. urophylla</i> x <i>E. camaldulensis</i>	15,79	25,57	90,6
2	28	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	12,85	24,10	91,4
3	30	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	12,36	23,45	89,4
4	31	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	11,11	22,81	89,5
5	36	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	9,10	22,02	91,4
6	59	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	6,98	21,15	87,5
7	29	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	6,13	20,40	85,1
8	56	<i>C. torelliana</i>	5,47	19,76	88,6
9	23	<i>C. torelliana</i> x <i>C. henryi</i>	4,51	19,15	91,4
10	58	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	3,80	18,59	88,4
11	42	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	2,29	18,00	88,9
12	10	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	1,54	17,44	86,9
13	22	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	0,84	16,92	86,1
14	17	<i>C. torelliana</i> x <i>C. henryi</i>	0,75	16,46	91,1
15	45	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	0,64	16,06	89,0
16	16	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	0,62	15,71	85,9
17	35	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	0,57	15,39	91,4
18	40	<i>C. torelliana</i> x <i>C. henryi</i>	0,50	15,11	87,8
19	5	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	0,39	14,85	87,6
20	43	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	0,34	14,61	85,4
21	12	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	0,25	14,39	84,8
22	38	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	0,02	14,18	85,6
23	41	<i>C. torelliana</i> x <i>C. variegata</i>	-0,01	13,99	91,4
24	6	<i>C. citriodora</i>	-0,09	13,81	87,7
25	54	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	-0,55	13,63	88,9

Análise da Interação Genótipos x Ambientes

Teste da Razão de Verossimilhança

Conforme apresentado na Tabela 6, os resultados do Teste da Razão de Verossimilhança (LRT), conduzido com base na distribuição qui-quadrado (X^2), indicam significância estatística para todas as características avaliadas (ALT, DAP, VOL e IMAvol) considerando os três locais experimentais de forma conjunta, evidenciando a presença de variabilidade genética apta a exploração entre as progênies em um programa de melhoramento.

Segundo Santos et al. (2015), essa variabilidade observada é essencial, pois permite inferir que há potencial para sucesso na seleção a partir de todas as características avaliadas. Além disso, justifica a prática de seleção de indivíduos superiores, com possibilidade de ganhos genéticos nas progênies selecionadas (HENRIQUES et al., 2016).

Tabela 6 – Análise de Deviance e Teste da Razão de Verossimilhança (LRT) para altura da árvore (ALT), diâmetro à 1,30 m do solo (DAP), volume (VOL) e incremento médio anual (IMAvol), gerado por meio da máxima verossimilhança restrita (REML) para 39 progênies híbridas de *Corymbia* para as três áreas experimentais em conjunto.

Variável	Modelo	Análise conjunta para os três locais	
		Deviance	LRT
ALT	reduzido	2439.31	-
	completo	2391.94	47.37*
DAP	reduzido	1925.72	-
	completo	1863.16	62.56*
VOL	reduzido	-9201.92	-
	completo	-9301.59	-99.67*
IMAvol	reduzido	5472.28	-
	completo	5364.09	-108.19*

LRT – Teste da Razão de verossimilhança entre o modelo completo, reduzido e efeito genético ao nível de 1% (*) de significância baseado no teste χ^2 com 1 grau de liberdade para ALT, DAP, VOL e IMAvol.

As estimativas dos componentes de variância para os híbridos interespecíficos de *Corymbia* indicam variações consideráveis entre as características avaliadas nos diferentes locais e idades dos testes de progênies. A variância genotípica σ^2_g e a variância da interação genótipos x ambientes σ^2_{int} foram relativamente elevadas para DAP, altura e volume, refletindo a influência genética e a interação com o ambiente sobre essas características (Tabela 7). A variância residual σ^2_e apresentou valores elevados,

particularmente para volume e IMAvol, sugerindo uma forte influência de fatores ambientais não controlados. A herdabilidade no sentido amplo h^2_{mg} variou entre 0,19 e 0,25, indicando uma contribuição genética moderada à expressão fenotípica das características, enquanto a herdabilidade da média dos genótipos h^2_g foi alta (0,71 para todas as características), favorecendo a seleção indireta via médias genotípicas. A acurácia Ac_{gen} também foi elevada (0,84), garantindo maior confiabilidade na seleção dos genótipos superiores. Esses resultados destacam o potencial de seleção para melhoramento genético em *Corymbia*, particularmente para caracteres de crescimento, apesar da influência ambiental observada. A correlação genotípica entre os ambientes (r_{gloc}) apresentou valores moderados para as características analisadas, variando de 0,55 a 0,58, conforme descrito por Resende e Duarte (2007). Segundo Santos et al. (2015), correlações reduzidas entre ambientes indicam a presença de interação genótipos x ambientes do tipo complexa, o que evidencia a necessidade de selecionar clones específicos para cada condição ambiental, visando otimizar os ganhos genéticos.

A magnitude moderada dos valores de r_{gloc} indica que, embora a interação genótipos x ambientes esteja presente, seu efeito não é suficientemente expressivo para comprometer a seleção de materiais com desempenho consistente em diferentes condições ambientais. No entanto, a ocorrência dessa interação pode levar a alterações na hierarquização dos genótipos entre os ambientes, tornando fundamental a consideração da adaptabilidade e da estabilidade no processo seletivo. Além disso, a influência dessa interação sobre os ganhos genéticos reforça a necessidade de adotar estratégias de seleção que equilibrem a identificação de clones com ampla adaptabilidade e estabilidade, sem desconsiderar a seleção de materiais com maior responsividade a condições ambientais específicas (RESENDE, 2007).

Das 113 famílias analisadas, foram selecionadas as 56 melhores considerando os múltiplos ambientes (Tabela 8). Os 4 clones de *E. urophylla* x *E. grandis* utilizados como testemunhas apresentaram os maiores valores de média preditas de até 24,40 m³/ha/ano. Híbridos *Corymbia* começam a fazer parte do ranking a partir da 5^a e 6^a posição, para as famílias 15 (*C. torelliana* x *C. citriodora*) e 16 (*C. torelliana* x *C. variegata*), com médias de 19,75 e 19,06 m³/ha/ano, respectivamente, valores muito próximos da 4^a posição da testemunha 20,70 m³/ha/ano para *E. urophylla* x *E. grandis*. Essas famílias em posições superiores no ranking sugerem que, apesar de não apresentarem IMAvol superior ao das testemunhas, possuem alto potencial de seleção dentro de famílias pois carregam o apenas valor genético aditivo (ODA et al., 1989; COSTA et al., 2007).

A família 16 (*C. torelliana* x *C. variegata*) foi classificada em 6^a colocação na análise de interação genótipos x ambientes (GxE) e esteve entre as 25 famílias mais bem classificadas

nos três locais testados na análise individual, indicando boa plasticidade fenotípica. Essa característica sugere que a família possui alta capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais, mantendo bom desempenho produtivo independentemente do local de cultivo.

A família 16 (*C. torelliana* x *C. variegata*) foi ranqueada em 6ª colocação no ranking na análise GxE, e presente entre as 25 mais bem ranqueadas para os 3 sites quando considerada a análise individual, o que sugere que a família apresenta boa plasticidade pois demonstra boa produtividade nas diferentes condições climáticas. O município de Inocência/MS e Belo Oriente/MG são marcados por secas entre abril e setembro e por precipitações entre outubro e março, diferentemente de Rio Pardo que apresenta regime chuvoso ao longo de todo ano, entretanto com incidência de geadas no inverno. O fato da família 16 ter mantido boa produtividade em todos os ambientes analisados reforça sua resistência a condições climáticas adversas, tanto em períodos de estiagem quanto em temperaturas mais baixas. Dessa forma, esse material genético demonstra potencial para uso em plantios comerciais diversificados.

De acordo com Souza et al. (2020), para maximizar a produtividade e a estabilidade do crescimento em *Corymbia*, é necessário selecionar genótipos que apresentem boa adaptabilidade e alta performance em diferentes ambientes. Sendo assim, visto que as estimativas e predições de ganhos possibilitaram a identificação da família 16 ranqueada nos 3 sites. O mesmo ocorre com a família 17 (*C. torelliana* x *C. henryi*), sendo ranqueada individualmente nos sítios Belo Oriente e Rio Pardo.

Tabela 7 – Estimativas de componentes de variância e parâmetros genéticos de híbridos interespecíficos de *Corymbia* para as características DAP, altura, volume, IMAvol e sobrevivência na análise genótipos x ambientes de testes de progênies implantados nos municípios de Inocência/MS (Local 1), Belo Oriente/MG (Local 2) e Rio Pardo/RS (Local 3) aos 12, 16 e 24 meses de idade, respectivamente.

CP	DAP	Altura	Volume	IMAvol
σ^2_g	0,66	0,49	0,00	14,43
σ^2_{int}	0,47	0,36	0,00	11,33
σ^2_e	2,37	1,44	0,00	31,60
σ^2_f	3,49	2,29	0,00	57,36
h^2_g	0,19	0,21	0,24	0,25
h^2_{mg}	0,71	0,71	0,71	0,71
Ac_{gen}	0,84	0,84	0,84	0,84
r_{gloc}	0,58	0,58	0,55	0,56
$CV_{gi}\%$	11,22	10,89	32,02	31,94
μ	7,23	6,43	0,01	11,89

σ^2_g : é a variância genotípica; σ^2_{int} : variância da interação genótipos x ambientes; σ^2_e : é a variância residual; σ^2_f : variância fenotípica individual; h^2_g : herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo, ou seja, dos efeitos genotípicos totais; h^2_{mg} : herdabilidade da média de genótipo, assumindo sobrevivência completa; Ac_{gen} : acurácia da seleção de genótipos, assumindo sobrevivência completa; r_{gloc} : correlação genotípica entre o desempenho nos vários ambientes; $CV_{gi}\%$: coeficiente de variação genotípica; μ : média geral do experimento para cada característica.

Tabela 8 – Ranking a nível de famílias de *Corymbia* em testes de progênes, considerando a interação genótipos x ambientes em três áreas distintas (Inocência/MS, Belo Oriente/MG e Rio Pardo/RS), classificados em ordem decrescente de acordo com IMAvol (m³/ha/ano).

Ordem	Genótipo	Híbridos	g	u+g	Nova Média	u+g+gem
1	20	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	12,51	24,40	24,40	27,68
2	18	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	9,02	20,91	22,66	23,27
3	25	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	7,99	19,88	21,73	21,98
4	19	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	5,70	17,59	20,70	19,08
5	15	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	4,09	15,98	19,75	17,05
6	16	<i>C. torelliana</i> x <i>C. variegata</i>	3,73	15,62	19,06	16,59
7	12	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	2,65	14,54	18,42	15,23
8	17	<i>C. torelliana</i> x <i>C. henryi</i>	2,59	14,49	17,93	15,16
9	53	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	1,17	13,06	17,39	13,36
10	56	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	0,76	12,65	16,91	12,85
11	13	<i>C. torelliana</i> x <i>C. henryi</i>	0,69	12,58	16,52	12,76
12	54	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	0,56	12,45	16,18	12,60
13	3	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	0,36	12,25	15,88	12,35
14	6	<i>C. citriodora</i>	0,34	12,23	15,62	12,32
15	34	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	0,26	12,15	15,39	12,21
16	52	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	0,22	12,11	15,18	12,16
17	49	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	0,21	12,10	15,00	12,16
18	55	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	0,08	11,97	14,83	11,99
19	43	<i>C. citriodora</i>	0,05	11,94	14,68	11,95
20	41	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	-0,05	11,84	14,54	11,83
21	45	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	-0,07	11,82	14,41	11,81
22	5	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	-0,08	11,81	14,29	11,79
23	9	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	-0,09	11,80	14,18	11,77

Tabela 8 – Cont.: Ranking a nível de famílias de *Corymbia* em testes de progênes, considerando a interação genótipos x ambientes em três áreas distintas (Inocência/MS, Belo Oriente/MG e Rio Pardo/RS), classificados em ordem decrescente de acordo com IMAvol (m³/ha/ano).

Ordem	Genótipo	Híbridos	g	u+g	Nova Média	u+g+gem
24	48	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	-0,09	11,80	14,08	11,77
25	35	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	-0,19	11,70	13,99	11,65
26	37	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	-0,19	11,70	13,90	11,65
27	33	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	-0,23	11,66	13,82	11,61
28	11	<i>C. torelliana</i>	-0,24	11,66	13,74	11,59
29	2	<i>C. citriodora</i> x <i>C. variegata</i>	-0,29	11,60	13,67	11,53
30	47	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	-0,40	11,49	13,59	11,39
31	50	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	-0,42	11,47	13,52	11,36
32	46	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	-0,56	11,33	13,46	11,18
33	39	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	-0,65	11,24	13,39	11,07
34	38	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	-0,72	11,18	13,32	10,99
35	40	<i>C. torelliana</i> x <i>C. variegata</i>	-0,75	11,14	13,26	10,94
36	10	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	-0,79	11,10	13,20	10,89
37	42	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	-0,91	10,98	13,14	10,74
38	51	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	-1,00	10,89	13,08	10,63
39	14	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	-1,06	10,83	13,02	10,55
40	44	<i>C. torelliana</i>	-1,13	10,76	12,97	10,46
41	23	<i>C. torelliana</i>	-1,19	10,70	12,91	10,39
42	7	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	-1,21	10,68	12,86	10,37
43	28	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	-1,31	10,58	12,81	10,24
44	22	<i>C. torelliana</i>	-1,43	10,46	12,75	10,08
45	4	<i>C. citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>	-1,44	10,46	12,70	10,08

Tabela 8 – Cont.: Ranking a nível de famílias de *Corymbia* em testes de progênes, considerando a interação genótipos x ambientes em três áreas distintas (Inocência/MS, Belo Oriente/MG e Rio Pardo/RS), classificados em ordem decrescente de acordo com IMAvol (m³/ha/ano).

Ordem	Genótipo	Híbridos	g	u+g	Nova Média	u+g+gem
46	31	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	-2,03	9,86	12,64	9,33
47	26	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	-2,35	9,54	12,57	8,93
48	36	<i>C. variegata</i> x <i>C. torelliana</i>	-2,63	9,26	12,50	8,57
49	8	<i>C. torelliana</i>	-2,85	9,04	12,43	8,30
50	1	<i>C. citriodora</i>	-2,94	8,95	12,36	8,18
51	29	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	-3,14	8,75	12,29	7,93
52	30	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	-3,69	8,21	12,22	7,24
53	32	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	-3,71	8,18	12,14	7,21
54	24	<i>C. torelliana</i>	-3,97	7,92	12,06	6,89
55	27	<i>C. torelliana</i> x <i>C. citriodora</i>	-4,31	7,58	11,98	6,45
56	21	<i>C. torelliana</i>	-4,88	7,01	11,89	5,73

Sendo que: **g** é efeito genotípico predito; **u + g** é a média genotípica e **u + g + gem** é o valor genotípico médio nos vários ambientes.

AVALIAÇÃO PAR A PAR DOS AMBIENTES

Inocência/MS (Arauco) e Belo Oriente/MG (Cenibra)

Tabela 9 – Análise de Deviance e Teste da Razão de Verossimilhança (LRT) para altura da árvore (ALT), diâmetro à 1,30 m do solo (DAP), volume (VOL) e incremento médio anual (IMAvol), gerado por meio da máxima verossimilhança restrita (REML) para 39 progênies híbridas de *Corymbia* para as três áreas experimentais em conjunto.

Variável	Modelo	Análise conjunta para os três locais	
		Deviance	LRT
ALT	reduzido	1821.39	-
	completo	1807.81	-13.58*
DAP	reduzido	1402.81	-
	completo	1378.58	-24.23*
VOL	reduzido	-4326.31	-
	completo	-4367.32	41.04*
IMAvol	reduzido	3555.15	-
	completo	3540.91	-14.24*

LRT – Teste da Razão de verossimilhança entre o modelo completo, reduzido e efeito genético ao nível de 1% (*) de significância baseado no teste χ^2 com 1 grau de liberdade para ALT, DAP, VOL e IMAvol.

Inocência/MS (Arauco) e Rio Pardo/RS (CMPC)

Tabela 10 – Análise de Deviance e Teste da Razão de Verossimilhança (LRT) para altura da árvore (ALT), diâmetro à 1,30 m do solo (DAP), volume (VOL) e incremento médio anual (IMAvol), gerado por meio da máxima verossimilhança restrita (REML) para 39 progênies híbridas de *Corymbia* para as três áreas experimentais em conjunto.

Variável	Modelo	Análise conjunta para os três locais	
		Deviance	LRT
ALT	reduzido	1525.47	-
	completo	1487.89	-37.58*
DAP	reduzido	1236.98	-
	completo	1188.48	-48.50*
VOL	reduzido	-4385.00	-
	completo	-4436.66	51.66*
IMAvol	reduzido	3953.62	-
	completo	3852.94	-100.68*

LRT – Teste da Razão de verossimilhança entre o modelo completo, reduzido e efeito genético ao nível de 1% (*) de significância baseado no teste χ^2 com 1 grau de liberdade para ALT, DAP, VOL e IMAvol.

Belo Oriente/MG (Cenibra) e Rio Pardo/RS (CMPC)

Tabela 11 – Análise de Deviance e Teste da Razão de Verossimilhança (LRT) para altura da árvore (ALT), diâmetro à 1,30 m do solo (DAP), volume (VOL) e incremento médio anual (IMAvol), gerado por meio da máxima verossimilhança restrita (REML) para 39 progênies híbridas de *Corymbia* para as três áreas experimentais em conjunto.

Variável	Modelo	Análise conjunta para os três locais	
		Deviance	LRT
ALT	reduzido	1486.71	-
	completo	1460.10	-24.61*
DAP	reduzido	1183.38	-
	completo	1154.83	-28.55*
VOL	reduzido	-4581.15	-
	completo	-4593.57	12.42*
IMAvol	reduzido	3232.82	-
	completo	3192.18	-40.64*

LRT – Teste da Razão de verossimilhança entre o modelo completo, reduzido e efeito genético ao nível de 1% (*) de significância baseado no teste χ^2 com 1 grau de liberdade para ALT, DAP, VOL e IMAvol.

O teste da razão de verossimilhança (LRT) revelou efeitos genéticos significativos ($p < 0,01$) para todas as características avaliadas, incluindo altura da árvore (ALT), diâmetro à altura do peito (DAP), volume (VOL) e incremento médio anual em volume (IMAvol), nas análises conjuntas par a par entre os ambientes. Esses resultados indicam a presença de variabilidade genética substancial entre as progênies híbridas avaliadas, sugerindo elevado potencial para ganhos por meio da seleção genética.

Tabela 12 – Correlação genotípica (r_{gloc}) em análise par a par dos ambientes.

Ambientes	Inocência/MS	Belo Oriente/MG	Rio Pardo/RS
Inocência/MS	1,0	0,78	0,44
Belo Oriente/MG		1,0	0,65
Rio Pardo/RS			1,0

A magnitude da interação genótipos x ambientes foi adicionalmente avaliada por meio das correlações genotípicas entre ambientes. As correlações estimadas variaram de 0,44 a 0,78, indicando diferentes níveis de mudança no ranqueamento dos genótipos entre os locais avaliados.

A maior correlação genotípica foi observada entre Inocência/MS e Belo Oriente/MG ($r_{gloc} = 0,78$), sugerindo desempenho genotípico relativamente estável entre esses ambientes e indicando que uma estratégia de seleção conjunta pode ser adotada para esses locais.

Em contraste, a correlação entre Inocência/MS e Rio Pardo/RS foi consideravelmente

menor ($r_{\text{gloc}} = 0,44$), indicando interação genótipos x ambientes mais pronunciada e maior probabilidade de alteração no ranqueamento dos genótipos entre esses ambientes. Esse resultado sugere que estratégias de seleção específicas por ambiente podem resultar em maiores ganhos genéticos.

A correlação entre Belo Oriente/MG e Rio Pardo/RS foi intermediária ($r_{\text{gloc}} = 0,65$), indicando interação moderada e estabilidade parcial do desempenho dos genótipos entre esses ambientes.

De forma geral, os resultados indicam que, embora alguns ambientes apresentem similaridade suficiente para permitir seleção conjunta, a presença de interação genótipo × ambiente moderada a elevada ressalta a importância da avaliação em múltiplos ambientes nos programas de melhoramento genético de *Corymbia* híbrido, visando maximizar a eficiência da seleção e a adaptação dos genótipos a diferentes condições ambientais.

CONCLUSÃO

Os resultados das estimativas de variância e parâmetros genéticos para os híbridos interespecíficos de *Corymbia* indicam que há um forte controle genético sobre características produtivas, especialmente para o incremento médio anual em volume (IMAvol). A variância fenotípica foi mais elevada em Belo Oriente, sugerindo uma maior expressão fenotípica da produtividade nesse ambiente. Da mesma forma, a variância genotípica também foi superior nesse local, reforçando o potencial genético das progênies avaliadas. A herdabilidade no sentido restrito e a herdabilidade da média de progênies apresentaram valores elevados para os três locais, com destaque para Belo Oriente e Rio Pardo. Esses resultados indicam que a variação genética aditiva é o principal fator determinante para a expressão dessas características, o que implica em uma alta previsibilidade dos ganhos genéticos por seleção. Adicionalmente, a elevada acurácia observada confirma que a seleção das progênies superiores será altamente eficaz, aumentando a confiabilidade dos programas de melhoramento genético para a espécie.

Considerando a análise GxE, observa-se que os híbridos interespecíficos de *Corymbia* apresentam um potencial significativo para melhoramento genético, especialmente para caracteres de crescimento. A herdabilidade moderada das características fenotípicas indica que a seleção pode ser eficaz, sobretudo quando baseada na média dos genótipos, dada a alta herdabilidade média. As famílias selecionadas apresentaram desempenho competitivo em relação aos clones comerciais de *E. urophylla* x *E. grandis*, destacando-se a família 16 (C.

torelliana x *C. variegata*), que demonstrou boa produtividade e ampla adaptabilidade aos diferentes ambientes testados. A elevada plasticidade fenotípica dessa família sugere sua adequação para plantios comerciais diversificados, uma vez que manteve um crescimento estável em diferentes condições edafoclimáticas. A presença consistente da família 17 (*C. torelliana* x *C. henryi*) entre os genótipos melhores classificados em Belo Oriente e Rio Pardo também sugere um potencial genético significativo desse cruzamento para ambientes específicos. Existem poucas famílias híbridas com *C. henryi* em programas de melhoramento ao redor do mundo e esses resultados sugerem que essa espécie pode ser uma das espécies prioritárias na realização de híbridos entre as mais de 120 espécies do gênero *Corymbia*.

De forma geral, os resultados evidenciam variabilidade genética significativa entre as progênes avaliadas e indicam a presença de interação genótipos x ambientes de magnitude variável entre os pares de locais. A maior correlação genotípica entre Inocência e Belo Oriente sugere maior estabilidade do desempenho dos genótipos, enquanto a menor correlação entre Inocência e Rio Pardo indica maior possibilidade de mudança no ranqueamento entre ambientes. Esses resultados reforçam a importância da avaliação em múltiplos ambientes para orientar estratégias de seleção mais eficientes no programa de melhoramento de *Corymbia* híbrido.

Por fim, de acordo com a correlação genotípica mediana da interação GxE, é possível desenvolver uma abordagem geral de melhoramento para os três sites envolvendo a família 16, e para dois sites envolvendo a família 17. Para os demais materiais ranqueados, é indicado o melhoramento de famílias específicas para cada site.

A identificação de famílias superiores em mais de um local viabiliza o seu resgate e clonagem para formação de pomares de cruzamentos controlados ou pomar de semente por mudas formados pelo teste de progênie desbastado (corte de indivíduos inferiores). Garantindo um tamanho efetivo populacional de 200 (N_e), as matrizes superiores irão cruzar entre si e no próximo ciclo reprodutivo é possível coletar sementes híbridas entre as diferentes famílias, permitindo o avanço para a segunda geração de melhoramento.

Recomenda-se também a clonagem dos melhores indivíduos dentro das famílias avaliadas feitas de forma precoce a partir dessa análise e a posterior instalação de testes clonais para se capturar também o efeito genético de dominância. Esse material quando clonado, poderá superar as testemunhas clonais de *Eucalyptus* utilizadas nesse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS

- ASSIS, T. F.; RESENDE, M. D. V.; DIAS, L. A. S. (2005). Protoginia artificialmente induzida: uma nova técnica de polinização controlada em *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, 29(3), 381-389.
- BRAWNER, J. T.; LEE, D. J.; HARDNER, C. M.; DIETERS, M. J. (2011). Relationships between early growth and Quambalaria shoot blight tolerance in *Corymbia citriodora* progeny trials established in Queensland, Australia. **Tree Genetics & Genomes**, 7(4), 759–772.
- COSTA, R. B.; RESENDE, M. D. V.; ALMEIDA, A. (2007). Estimativas de parâmetros genéticos e ganhos por seleção em progênies de *Eucalyptus*. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 2(1), 69-74.
- FALCONER, D. S. (1996). **Introduction to Quantitative Genetics**. 4th ed. Longman, London.
- FREITAS, M. L. M.; SOUZA, B. M.; AGUIAR, A. V.; GEZAN, S.; ZANATTO, B.; ZULIAN, D. F.; LOPES, M. T. G.; LONGUI, E. L.; GUERRINI, I. A. (2019). Reproductive biology effect on heritability of complex traits in *Corymbia citriodora* Hook. In: **Eucalypt Genetics: Fundamental and Applied Research in a Post-Genome Era**, Hobart. Abstracts. University of Tasmania, pp. 42.
- GEZAN, S. A.; FREITAS, M. L. M.; ZANATTO, B.; GUERRINI, I. A. (2020). Genetic parameters and genotype-by-environment interactions in *Corymbia* progeny trials. **Forest Ecology and Management**, 472, 118237.
- HUNG, T. D.; BRAWNER, J. T.; LEE, D. J.; MEDER, R.; DIETERS, M. J. (2016). Genetic variation in growth and wood-quality traits of *Corymbia citriodora* subsp. *variegata* across three sites in south-east Queensland, Australia. **Southern Forests**, 78(3), 225–239.
- ODA, S.; RESENDE, M. D. V.; SOUZA, F. R. (1989). Avaliação genética em *Eucalyptus* usando o modelo linear misto. **Revista Árvore**, 13(1), 55-63.
- RESENDE, M. D. V. (2002). Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes. Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**.
- RESENDE, M. D. V. (2006). Software Selegen-REML/BLUP: Sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos. Colombo: **Embrapa Florestas**, 67 p.
- RESENDE, M. D. V. de. Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético. Colombo: **Embrapa Florestas**, 2007. 561 p.
- RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. (2007). Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 37(3), 182-194.
- REZENDE, G. D. S. P.; RESENDE, M. D. V.; LAVIOLA, B. G.; RODRIGUES, E. V. (2014). Estimativas de parâmetros genéticos e seleção de clones de eucalipto pelo método MHPRVG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 49(5), 344-352.

SANTOS, G. A.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, L. D.; HIGA, A.; ASSIS, T. F. Interação genótipos x ambientes para produtividade de clones de *Eucalyptus* no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, v. 39, n. 1, p. 81-91, 2015.

SOUZA, B. M. de; GUERRINI, I. A.; ZANATTO, B.; FREITAS, M. L. M.; AGUIAR, A. V.; GEZAN, S. A. (2020). Genotype-by-environment interaction in *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson progeny test in Luiz Antonio, Brazil. **Forest Ecology and Management**, 460, 1-8.

SEÇÃO 4

CONSIDERAÇÕES GERAIS

CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que a propagação clonal e o melhoramento genético de *Corymbia* são influenciados por uma interação complexa entre fatores genéticos e ambientais. A produtividade de miniestacas apresentou alta estabilidade genética, tornando-se um critério confiável para a seleção de clones superiores, enquanto a sobrevivência e o enraizamento foram mais impactados por fatores ambientais. O cruzamento *C. citriodora* x *C. torelliana* mostrou-se mais eficiente na produção de miniestacas, enquanto *C. variegata* x *C. torelliana* apresentou maior capacidade de enraizamento.

A análise dos rankings de clones mostrou que a predominância de *C. torelliana* como parental materno favorece a propagação vegetativa, garantindo maior sucesso na clonagem e na sobrevivência das miniestacas. Adicionalmente, a acurácia da seleção foi elevada para produtividade e moderada para sobrevivência e enraizamento, indicando que melhorias no manejo das miniestufas e controle ambiental podem otimizar a eficiência da propagação clonal.

Dessa forma, a propagação clonal de *Corymbia* e seu melhoramento genético dependem de uma abordagem integrada, que combina a seleção de genótipos superiores com práticas de manejo adequadas. O uso de estratégias como controle rigoroso das condições ambientais, otimização da técnica de miniestaquia e seleção criteriosa de genótipos mais produtivos e adaptáveis pode maximizar a eficiência da clonagem.

No geral, espécies e clones de *Corymbia* são avaliados dentro do setor florestal como de difícil enraizamento, no entanto esse trabalho demonstrou que existe controle genético e variabilidade do enraizamento adventício dentro desse gênero e que existem combinações híbridas e clones que possuem boa propensão ao enraizamento o que pode permitir o uso da sua silvicultura clonal em grande escala.

A elevada herdabilidade estimada para *IMAvol* e demais características de crescimento sugere que a seleção de genótipos superiores pode proporcionar ganhos expressivos para o melhoramento de *Corymbia*, tornando possível a produção de híbridos altamente produtivos e adaptáveis. Além disso, os testes de progênie evidenciaram a influência da interação genótipos x ambientes (*GxE*) nos caracteres de crescimento, ressaltando a necessidade de estratégias de seleção que considerem a plasticidade dos genótipos em diferentes condições edafoclimáticas. Dessa forma, torna-se fundamental a adoção de estratégias de seleção e recomendação baseadas em zonas de melhoramento, permitindo a identificação de genótipos mais produtivos e estáveis dentro de ambientes semelhantes, bem como daqueles com maior plasticidade fenotípica para

uso em múltiplas condições.

Assim, este estudo contribui para o avanço do melhoramento genético de *Corymbia* ao indicar que o sucesso da propagação clonal e o ganho genético dependem de uma abordagem integrada, que combine a seleção de genótipos superiores, o manejo adequado da miniestaquia e a definição de zonas de melhoramento. O potencial de seleção de clones dentro das famílias híbridas avaliadas sugere que, no futuro, clones de *Corymbia* poderão apresentar produtividades semelhantes ou até superiores aos principais clones de *Eucalyptus* utilizados atualmente no Brasil, desde que sua recomendação seja orientada por critérios de adaptação ambiental e estabilidade produtiva.