

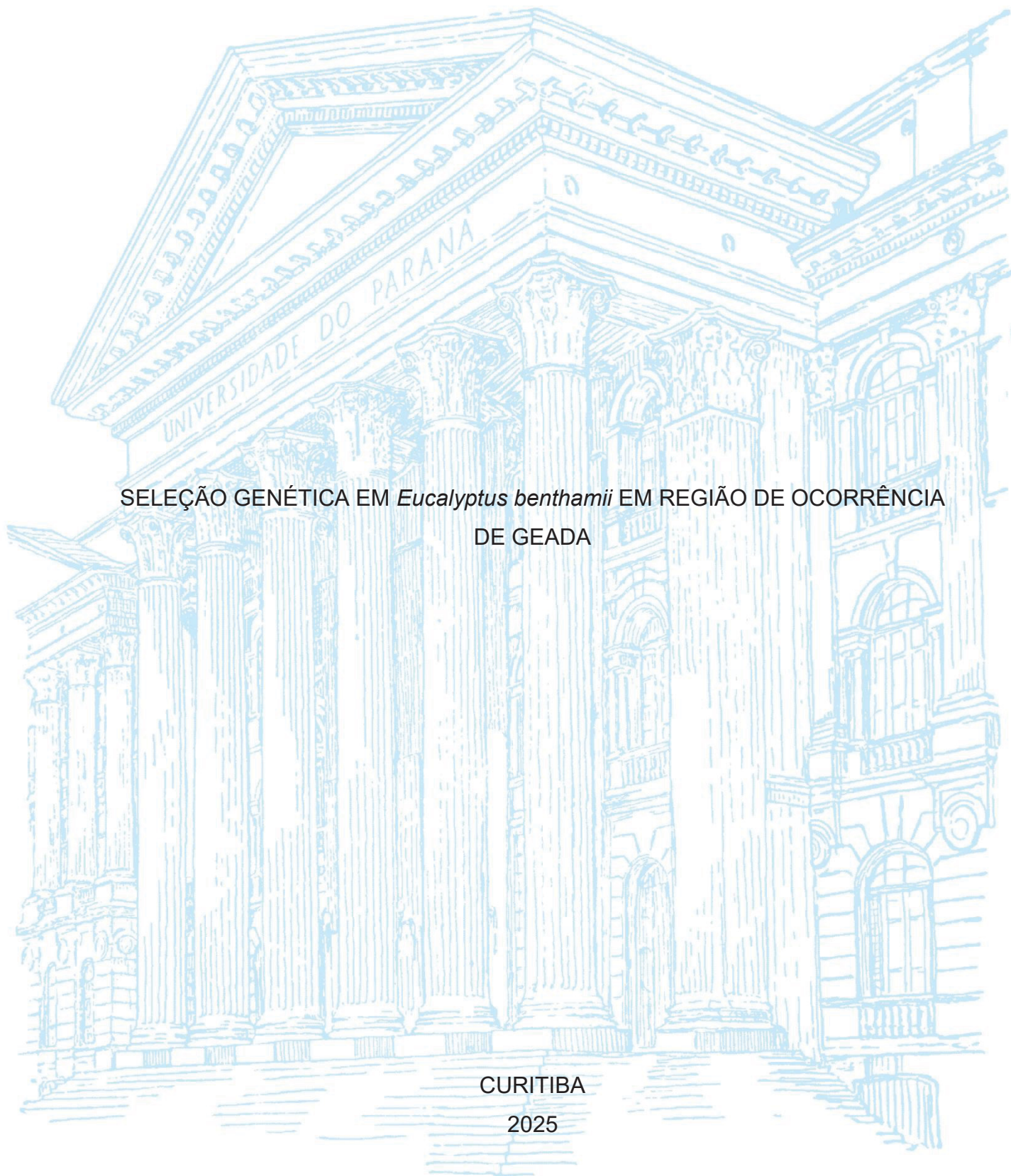
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SAMANTHA LAMPERTI DE OLIVEIRA

SELEÇÃO GENÉTICA EM *Eucalyptus benthamii* EM REGIÃO DE OCORRÊNCIA  
DE GEADA

CURITIBA

2025



SAMANTHA LAMPERTI DE OLIVEIRA

SELEÇÃO GENÉTICA EM *Eucalyptus benthamii* EM REGIÃO DE OCORRÊNCIA  
DE GEADA

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gestão Florestal, do curso de Pós-Graduação – MBA em Gestão Florestal, Departamento de Economia Rural e Extensão, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Dr.<sup>a</sup> Regiane Abjaud Estopa

CURITIBA

2025

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por estar presente em todos os momentos e por guiar cada passo da minha vida com sabedoria e amor.

Ao curso de MBA em Gestão Florestal, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, e a todos os professores e colegas, pelos ensinamentos e pelas trocas enriquecedoras ao longo da jornada.

À empresa Klabin S.A., pelo apoio e pela disponibilização das informações e recursos que tornaram possível a realização deste trabalho.

À minha orientadora, Dra. Regiane Abjaud Estopa, pelo apoio, incentivo, acolhimento e confiança, além dos valiosos ensinamentos.

Ao Wagner de Oliveira Pinto Costa, pela parceria, apoio e incentivo em todos os momentos desta trajetória.

À minha família e aos amigos que estiveram ao meu lado durante toda esta caminhada, agradeço o apoio, carinho e motivação. Sem vocês, nada disso seria possível.

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho genético de progênies de *Eucalyptus benthamii* visando à seleção de indivíduos superiores para programas de melhoramento genético e clonagem. A espécie apresenta grande relevância para o setor florestal na região Sul do Brasil, devido à sua resistência a geadas, rápido crescimento e potencial de uso industrial, sobretudo em regiões de clima frio, onde outras espécies de eucalipto não se adaptam e em muitos casos nem sobrevivem. Para o estudo, foram avaliadas 88 progênies de meios-irmãos, implantadas em Otacílio Costa (SC) em 2021, em delineamento de blocos ao acaso e uma planta por parcela repetida 20 vezes. Aos três anos de idade, foram mensurados caracteres de crescimento como diâmetro à altura do peito (DAP), altura total e estimado o volume de madeira, sendo os dados analisados pelo software SELEGEN REML/BLUP. Os resultados demonstram bom desempenho aos três anos, com sobrevivência de 75% e médias de DAP de 12,3 cm, altura de 15,5 metros e volume individual de 0,101 m<sup>3</sup>/árvore. As herdabilidades variaram de medianas a altas para DAP ( $h^2a=0,41$ ;  $h^2mp=0,70$ ), para Altura ( $h^2a=0,31$ ;  $h^2mp=0,63$ ) e para Volume individual ( $h^2a=0,36$ ;  $h^2mp=0,67$ ). A acurácia da predição foi considerada satisfatória, sobretudo para DAP (0,83) e volume (0,82), confirmando a confiabilidade dos parâmetros genéticos estimados. Foram avaliadas três estratégias: A = Seleção baseada no Valor Genético Aditivo Predito (PSM), com ganho genético de 30% para 140 melhores indivíduos e tamanho efetivo populacional  $N_e=68,7$ ; B = Seleção visando maior ganho genético e base genética mais estreita, com ganho genético de 53% para os 20 melhores indivíduos e tamanho efetivo populacional  $N_e=14,6$ ; C = A clonagem de indivíduos superiores, como estratégia fim de linha, para recomendação de clones para plantios operacionais, com ganho genético de 106% para 10 melhores indivíduos e tamanho efetivo populacional  $N_e=8,6$ . Conclui-se que o *Eucalyptus benthamii* apresenta elevado potencial genético para programas de clonagem e formação de pomares, apesar da baixa variabilidade genética, possibilitando ganhos imediatos e sustentáveis em produtividade. A metodologia REML/BLUP mostrou-se eficiente para estimar parâmetros genéticos e orientar estratégias de seleção, permitindo não apenas a identificação de indivíduos superiores, mas também a conservação da variabilidade genética. Dessa forma, o estudo contribui para o avanço do melhoramento da espécie, fortalecendo sua base genética e garantindo maior produtividade e adaptação para os plantios florestais da região Sul do Brasil.

Palavras-chave: *Eucalyptus benthamii*. Melhoramento genético. Progênies. REML/BLUP. Ganho genético.

## ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the genetic performance of *Eucalyptus benthamii* progenies, with the objective of selecting superior individuals for genetic improvement and cloning programs. The species holds great importance for the forestry sector in southern Brazil due to its frost resistance, rapid growth, and industrial potential, especially in cold climate regions where other *Eucalyptus* species do not adapt and, in many cases, fail to survive. For this study, 88 open-pollinated progenies were evaluated, established in Otacílio Costa (SC) in 2021, in a randomized complete block design with one plant per plot and 20 replications. At three years of age, growth traits such as diameter at breast height (DBH), total height, and estimated wood volume were measured, and data were analyzed using the SELEGEN REML/BLUP software. The results showed good performance at three years, with 75% survival and mean values of 12.3 cm for DBH, 15.5 m for height, and 0.101 m<sup>3</sup>/tree for individual volume. Heritability estimates ranged from moderate to high for DBH ( $h^2_a=0.41$ ;  $h^2_{mp}=0.70$ ), height ( $h^2_a=0.31$ ;  $h^2_{mp}=0.63$ ), and individual volume ( $h^2_a=0.36$ ;  $h^2_{mp}=0.67$ ). Prediction accuracy was considered satisfactory, especially for DBH (0.83) and volume (0.82), confirming the reliability of the estimated genetic parameters. Three selection strategies were evaluated: A = Selection based on the Predicted Additive Genetic Value (PSM), with a genetic gain of 30% for the 140 best individuals and an effective population size  $N_e=68.7$ ; B = Selection aiming for higher genetic gain with a narrower genetic base, showing a 53% gain for the 20 best individuals and  $N_e=14.6$ ; C = Cloning of superior individuals as a final-line strategy for the recommendation of clones for operational plantations, with a 106% genetic gain for the 10 best individuals and  $N_e=8.6$ . It is concluded that *Eucalyptus benthamii* presents high genetic potential for cloning programs and seed orchard establishment, despite its low genetic variability, allowing for immediate and sustainable gains in productivity. The REML/BLUP methodology proved efficient in estimating genetic parameters and guiding selection strategies, enabling not only the identification of superior individuals but also the conservation of genetic variability. Thus, this study contributes to the advancement of genetic improvement of the species, strengthening its genetic base and ensuring greater productivity and adaptability for forest plantations in southern Brazil.

Keywords: *Eucalyptus benthamii*. Genetic improvement. Progenies. REML/BLUP. Genetic gain.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** – Distribuição geográfica do *Eucalyptus benthamii*: círculos representam as áreas de ocorrência da espécie; círculos pretos ainda existem indivíduos; áreas hachuradas indicam a distribuição da espécie antes da ação antrópica..... 10
- Figura 2** – Áreas aptas ao cultivo de *Eucalyptus benthamii* por aptidão climática no Brasil. .... 11
- Figura 3** – Localização da área experimental em relação ao município de Otacílio Costa, SC..... 18

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Parâmetros genéticos da população de *Eucalyptus benthamii* para o caractere diâmetro à altura do peito (DAP), altura e volume individual..23
- Tabela 2** – Estimativas de ganho genético para o caractere de volume individual com casca dos 20 melhores indivíduos .....30
- Tabela 3** – Estimativas de ganho genético para o caractere de volume individual dos 10 melhores indivíduos .....31

## LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1** – Relação entre ganho genético e diversidade efetiva nas diferentes estratégias de seleção .....32

## SIGLAS

BLUP	Best Linear Unbiased Predictor
DAP	Diâmetro a Altura do Peito
REML	Restricted Maximum Likelihood
STP	Single-Tree Plot

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	8
1.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	10
1.2.1 Eucalyptus benthamii Maiden & Cambage .....	10
1.2.2 Melhoramento genético no Brasil .....	13
1.2.2.1 Pomares e a clonagem .....	15
1.3 OBJETIVOS .....	16
1.3.1 Geral .....	16
1.3.2 Específicos .....	16
1.4 JUSTIFICATIVA .....	17
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>17</b>
2.1 LOCAL E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	17
2.2 ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS GENÉTICOS PARA OS CARACTERES DE CRESCIMENTO .....	19
<b>3 RESULTADO E DISCUSSÃO</b> .....	<b>22</b>
3.1 ANÁLISE INDIVIDUAL .....	22
3.1.1 Sobrevivência da progênie .....	22
3.1.2 Análise individual para diâmetro à altura do peito (DAP cm) .....	22
3.1.3 Análise individual para altura das plantas (ALT m) .....	25
3.1.4 Análise individual para volume individual (VOL m <sup>3</sup> /árvore) .....	26
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>34</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O setor florestal possui grande importância para a sociedade brasileira, gerando impactos positivos em termos econômicos, sociais e ambientais (FONSECA et al., 2010; COSTA, 2014; EHLERS e ARRUDA, 2014).

Dentre os gêneros plantados no Brasil, as espécies do gênero *Eucalyptus* têm sido muito utilizadas nos projetos de reflorestamento. Isso se deve a algumas de suas características mais marcantes, como crescimento rápido e alta produtividade, boa capacidade de adaptação e ao potencial econômico de utilização da sua madeira, principalmente para a produção de celulose e papel (SILVA, 2008).

Em 2023, a região Sul do país detinha 18% do total de área plantada com o gênero, estimada em 7,8 milhões de hectares. Os levantamentos indicavam 616.976 hectares de floresta plantados no estado do Rio Grande do Sul, 326.134 hectares em Santa Catarina e 438.721 hectares no Paraná (IBÁ, 2024).

Apesar da grande variedade de espécies de eucalipto introduzidas no Brasil, poucas se adaptam a regiões muito frias e com ocorrência de geadas severas, realidade encontrada nos Estados do Sul do Brasil.

A principal espécie de eucalipto cultivada nesta região no passado era o *Eucalyptus viminalis* Labill., mas deixou de ser cultivada sobretudo por apresentar baixa produtividade de madeira e acentuada grã espiralada (PALUDZYSZYN FILHO et al., 2006). Posteriormente, os plantios passaram a incluir também o *Eucalyptus dunnii* Maiden, avaliado como uma espécie de bom crescimento e tolerante ao frio. Entretanto, nos últimos anos, o interesse dos silvicultores voltou-se para o *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage no Sul, devido às suas características marcantes de alto potencial de crescimento e resistência à geada (SANTOS et al., 2012).

O *Eucalyptus benthamii* tem se mostrado uma espécie promissora para formar plantios florestais nesta região, onde a produtividade média chega a 43 m<sup>3</sup>/ha/ano (EMBRAPA FLORESTAS, 2025).

Sua maior resistência ao frio e boa adaptação e crescimento volumétrico a tornam uma espécie importante e valiosa para locais com inverno rigoroso e ocorrência das geadas.

Além do *E. benthamii*, outra espécie muito plantada na região Sul do Brasil é o *Eucalyptus dunnii* Maiden. A espécie apresenta alto potencial de produção volumétrica em áreas onde o clima é temperado, com potencial de produção podendo chegar até 50 m<sup>3</sup>/ha/ano de madeira (FRIGOTTO et al., 2020). A espécie mantém mais de 90% de sobrevivência, evidenciando sua alta resistência ao frio (temperaturas mínimas entre -7,9°C e -5°C), inclusive na fase juvenil (FAO, 1981; HIGA et al., 1997; MUJIU et al., 2003). Já o *E. benthamii* se destaca por tolerar e ser mais resiliente a estas faixas de temperaturas.

O *E. dunnii* é considerado tolerante ao frio, pois sente os efeitos de geadas severas que causam danos em seus tecidos foliares e vasculares. Apesar disso, se plantada apenas em áreas mais altas do reveleto, onde não ocorre a formação de geadas intensas, é capaz de se recuperar e atingir boas produtividades (SILVA et al., 2012). Estudos de campo apontam que, apesar de danos visíveis após geadas, as plantas retomam o desenvolvimento em termos de crescimento (FRIGOTTO et al., 2020)

Frente à crescente demanda pela matéria-prima florestal e à necessidade de genótipos resistentes a condições adversas do ambiente, a inclusão da espécie *E. benthamii* e a seleção de indivíduos superiores em programas de melhoramento genético são fundamentais para o aumento da produtividade e qualidade das florestas.

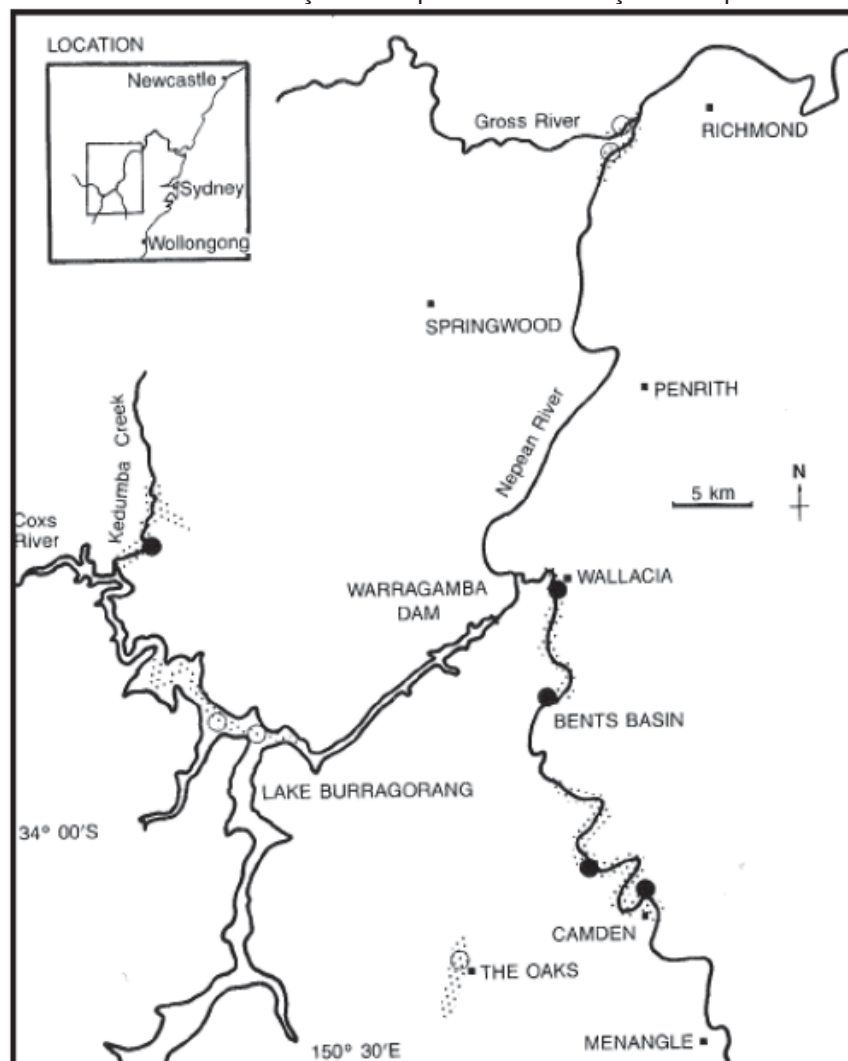
Entre as estratégias utilizadas nos programas de melhoramento, a seleção recorrente intrapopulacional com o melhoramento da espécie pura a partir da avaliação de testes de progênies de diferentes procedências, aliados ao uso de metodologias estatísticas modernas, como os modelos lineares mistos (REML/BLUP), permitem avaliar o potencial genético de diferentes famílias e estimar parâmetros genéticos com maior precisão. Isso propicia identificar famílias e indivíduos com elevado desempenho, que poderão compor futuros pomares para o melhoramento da espécie bem como a seleção de clones para plantios operacionais em larga escala.

## 1.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 1.2.1 *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cabbage

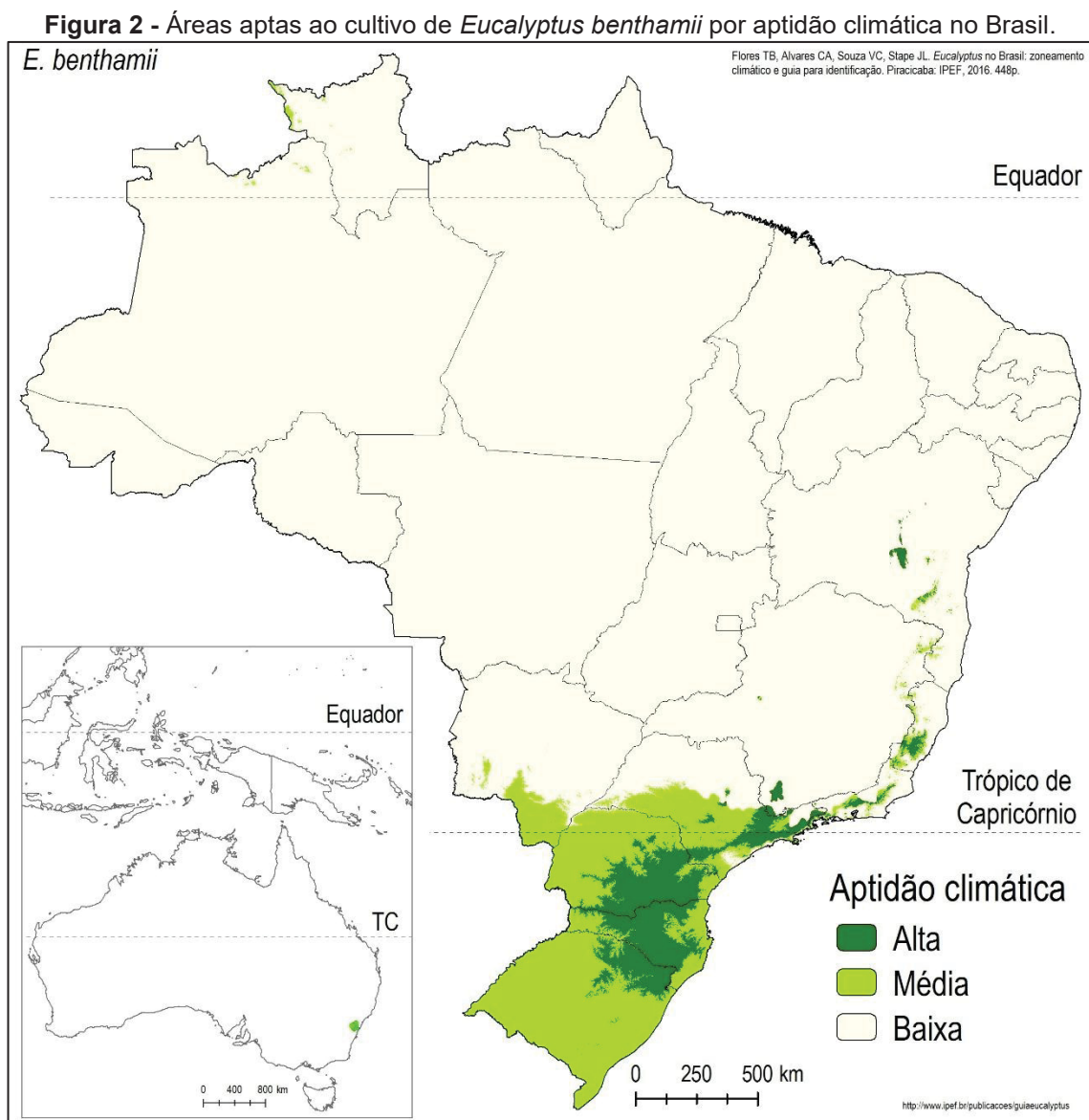
O *Eucalyptus benthamii* é uma espécie de ocorrência restrita, distribuída em áreas ao oeste da cidade de Sydney, na Austrália, nas planícies ao longo do Rio Nepean e seus afluentes (HIGA e PEREIRA, 2003; BUTCHER et al., 2005) (Figura 1). Em sua área de ocorrência natural, a espécie é considerada ameaçada de extinção, o que dificulta a disponibilidade e aquisição de material genético suficiente e, conseqüentemente, a condução de um programa de melhoramento (LEIGH et al., 1981; HIGA e PEREIRA, 2003).

**Figura 1** - Distribuição geográfica do *Eucalyptus benthamii*: círculos brancos representam as áreas de ocorrência da espécie; círculos pretos representam onde ainda existem indivíduos; áreas hachuradas indicam a distribuição da espécie antes da ação antrópica.



Fonte: Adaptado de Costa (2014).

Como cita Floriani et al. (2013), a ocorrência de geadas é um dos principais fatores climáticos que limitam a expansão dos plantios comerciais do gênero *Eucalyptus* na região Sul do Brasil. Porém, com os trabalhos de melhoramento genético e manejo de silvicultura, desenvolvidos ao longo dos últimos 20 anos, atualmente é possível plantar clones de *E. benthamii* e *E. dunnii*, com produtividades maiores que a média nacional de eucalipto no Brasil, que segundo o IBÁ (2024) é de 33 m<sup>3</sup>/ha/ano. No Brasil, a espécie *E. benthamii* é indicada para plantios em regiões com altitudes que variam de 800 m a 1.400 m, normalmente propensas a geadas de até -6 °C (SANTOS et al., 2020), realidade encontrada na região Sul do país (Figura 2).



Fonte: Adaptada de Flores et al. (2016).

O *E. benthamii* possui grande importância para plantio na região Sul do Brasil devido às suas características de alta tolerância ao frio, boa adaptação, rápido crescimento volumétrico, boa forma de fuste e alta homogeneidade do talhão (GRAÇA et al., 1999; COSTA et al., 2016; SANTOS et al., 2020). Essas características fazem com que a espécie se destaque em comparação a outros eucaliptos utilizados na região. De acordo com a Embrapa Florestas (2025), enquanto a produtividade média de espécies alternativas para a região varia de 30 a 35,3 m<sup>3</sup>/ha/ano, a produtividade de *E. benthamii* chega a 43 m<sup>3</sup>/ha/ano.

Fora da Austrália, existem relatos do cultivo da espécie no Chile, Uruguai (KJAER et al., 2004), África do Sul e China (PALUDZYSZYN FILHO et al., 2006).

A maior tolerância do *E. benthamii* ao congelamento está correlacionada ao acúmulo precoce de açúcares solúveis e compostos fenólicos, que atuam como osmólitos e antioxidantes durante a aclimação (OBERSCHELP et al., 2022).

Butnor et al. (2019) em estudo laboratorial analisando o crescimento, a fotossíntese e a tolerância ao frio do *E. benthamii* plantado na região do Piedmont, na Carolina do Norte, concluíram que a espécie obtém resultados de tolerância ao frio próximos ao *Pinus taeda*, conífera resistente e adaptada ao frio. O mesmo estudo indica que *E. benthamii* apresenta uma temperatura letal para 50% das plantas (LT<sub>50</sub>) de -13,4°C para folhas e -14,3°C para caules. Floriani et al. (2013) em seu estudo laboratorial comparando a temperatura letal (LT<sub>50</sub>) para *E. benthamii*, *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna* concluíram que o *E. benthamii* apresentou a menor LT<sub>50</sub> dentre as espécies (-5,08 °C), mesmo sem rustificação das mudas, o que indica que a tolerância ao frio nesta espécie pode ser uma característica controlada geneticamente e pouco influenciada pelo ambiente. Mujiu et al. (2003) e Hall et al. (2019), em seus estudos nos Estados Unidos e na China, concluíram que a espécie demonstrou tolerância significativa ao frio e crescimento promissor em regiões que apresentam mínimas absolutas que variam de -6 a -10°C.

Sua madeira apresenta cerne de cor marrom avermelhada e albúrnio amarelo rosado (NISGOSKI et al., 1998) e é considerada de média massa específica básica (0,460 g.cm<sup>-3</sup>) (FLORES et al., 2016). Possui uso potencial para a produção de lenha, papel e celulose (ALVES et al., 2011), painéis (CUNHA et al., 2014), biomassa (LIMA et al., 2011), extração de óleos e uso ornamental (FLORES et al., 2016). Isso torna a espécie estratégica para suprir demandas energéticas e industriais na região Sul do Brasil.

### 1.2.2 Melhoramento genético no Brasil

No Brasil, os programas de melhoramento genético com *Eucalyptus* começaram em 1941, mas apenas devido à Lei de Incentivos Fiscais, implantada em 1966, a seleção de árvores superiores se tornou abundante a partir deste ano (LEÃO, 2000; CASTRO et al., 2016).

Estes programas assumem papel importante no setor florestal, pois propiciam obter genótipos superiores, principalmente para clonagem e plantio por sementes. No país, o melhoramento é conduzido em sua maioria por indústrias de celulose, além de instituições como EMBRAPA, IPEF, SIF e universidades (FONSECA et al., 2010). O programa de melhoramento genético de *E. benthamii* conduzido pela EMBRAPA foi iniciado no ano de 1988, com a implantação de um campo experimental de 0,5 ha em Colombo, no Paraná (Latitude 25°19'16"S, Longitude 49°09'31"O e Altitude 941 m) (SANTOS et al., 2020).

Costa (2014) destaca que o melhoramento genético do eucalipto no Brasil foi essencial para os avanços da cultura, no que se refere à produtividade, melhorias na qualidade da madeira e melhor adaptação da espécie a condições de estresses bióticos e abióticos. Para alcançar esses avanços é necessário um planejamento adequado para se obter estimativas de parâmetros genéticos robustas, de modo a minimizar possíveis erros na seleção dos melhores indivíduos que servirão como genitores nas próximas gerações (ROCHA et al., 2007; ZIMBACK et al., 2011; MORAES et al., 2014).

Diversas ferramentas vêm sendo empregadas para possibilitar essas melhorias, como os métodos de seleção, técnicas de experimentação, tecnologias computacionais avançadas e recursos biotecnológicos (COSTA, 2014).

O procedimento mais recomendado para avaliação genética quando o objetivo é a seleção de famílias para plantios comerciais via semente ou clonagem, segundo Fonseca et al. (2010), é o REML/BLUP, também denominado metodologia de modelos mistos.

No Brasil, os métodos de seleção utilizados no melhoramento de eucalipto evoluíram da seleção massal (fenotípica) e da seleção entre e dentro de progênies (KAGEYAMA e VENCOVSKY, 1983) para a metodologia de modelos lineares mistos (RESENDE et al., 1993; RESENDE et al., 1996), através do procedimento BLUP (RESENDE e HIGA, 1994; RESENDE e FERNANDES, 1999). Essa evolução na

metodologia garante maior precisão na identificação de genótipos superiores dentro dos programas de melhoramento de espécies como o *E. benthamii*, contribuindo para o avanço também na formação de pomares clonais e de sementes.

A formação de pomares clonais baseia-se na clonagem de indivíduos superiores que são identificados por meio de análises genéticas (como BLUP individual). A clonagem (enxertia) permite a multiplicação vegetativa em larga escala de genótipos com características desejáveis (XAVIER e SILVA, 2010). É importante, contudo, equilibrar o número de clones selecionados para assegurar a sustentabilidade do pomar, visto que um número limitado pode reduzir a diversidade genética, aumentando a vulnerabilidade a pragas e doenças.

Já por outro lado, a formação de pomares de sementes baseia-se na seleção de famílias ou progênes superiores. Entretanto, a seleção baseada em médias familiares pode resultar em ganhos genéticos mais lentos, uma vez que não se aproveitam os indivíduos excepcionais dentro de cada família, como acontece na formação de pomares clonais. Porém, um número maior de indivíduos é selecionado para garantir um maior tamanho efetivo, com maior variabilidade na população, garantindo mais combinações gênicas adaptativas para diferentes condições edafoclimáticas, permitindo maior resiliência a mudanças climáticas ou a novas pragas e doenças (FONSECA et al., 2010; ZARUMA, 2020).

A seleção precoce em espécies do gênero *Eucalyptus* tem se mostrado uma estratégia muito promissora quando o assunto é acelerar o ganho genético e reduzir o tempo necessário para o melhoramento. Essa técnica consiste em identificar indivíduos ainda jovens e com desempenho superior em características de interesse, como crescimento e adaptação e resistência a estresses bióticos e abióticos (RESENDE, 2002; FERRARI et al., 2016; MORAES et al., 2021).

Diversos estudos têm demonstrado a viabilidade dessa abordagem, especialmente quando em associação com métodos estatísticos, delineamentos experimentais robustos e correlações genéticas consistentes entre idades juvenis e adultas (EMBRAPA, 2014; SILVA et al., 2018; SOUZA et al., 2016). Silva et al. (2018) relatam em seus estudos sobre seleção precoce de genitores e árvores em testes de progênes de *Eucalyptus* que verificaram que a seleção precoce é eficiente tanto para escolha de genitores quanto de indivíduos clonáveis. Souza et al. (2016) também confirmam a eficiência dessa estratégia em estudos realizados em testes clonais,

apontando que a seleção pode ser feita com boa precisão a partir dos dois anos de idade, especialmente para o caráter DAP.

No entanto, a técnica pode apresentar algumas limitações, como menor precisão na predição de caracteres que são menos correlacionados entre idades (volume total ou a resistência a pragas) e a influência de fatores ambientais nas fases iniciais de desenvolvimento (MORAES et al., 2021; RESENDE et al., 2010).

O tamanho efetivo populacional ( $N_e$ ) adequado garante a obtenção de ganhos genéticos de forma mais segura, diminuindo o risco de perda de alelos favoráveis de uma população (RESENDE, 1995). Também determina o equilíbrio entre o ganho genético esperado e a manutenção da variabilidade genética ao longo das gerações (NOGUEIRA et al., 2018).

De acordo com Resende (2002), o tamanho efetivo mínimo recomendado é de 30 a 50 indivíduos, o que garante variabilidade genética suficiente para manter o progresso genético ao longo de vários ciclos de seleção, evitando acúmulo de endogamia. Mistro et al. (2019) indicam que valores de  $N_e$  acima de 50 já são suficientes para equilibrar o ganho genético esperado e a manutenção da diversidade. Ainda, segundo Ziegler (2022), em programas de melhoramento é comum estabelecer intensidade de seleção de 10% no curto prazo e 50% no longo prazo.

Nesse contexto, a seleção de árvores superiores, com características desejáveis, a partir de testes de progênies representa uma etapa fundamental dentro de um programa de melhoramento florestal.

#### 1.2.2.1 Pomares e a clonagem

Os Pomares de Sementes por Mudas (PSM) surgem da transformação de um teste de progênies submetido a desbastes seletivos, a partir da seleção de árvores superiores com características de interesse (RESENDE et al., 2001; FREITAS et al., 2007). O objetivo é produzir sementes com elevada qualidade genética, mantendo variabilidade suficiente para futuras seleções.

A utilização da enxertia na formação de pomares de *Eucalyptus* também é uma prática consolidada, especialmente para a produção de sementes melhoradas e clonagem de genótipos superiores. Esta técnica permite a obtenção de indivíduos na fase reprodutiva mais cedo e indução de floração precoce, colaborando com a

formação de pomares clonais para produção de sementes melhoradas (CASTRO et al., 2022; ROCHA et al., 2023).

A formação de Pomares de Sementes Clonal (PSC) baseia-se na seleção inicial de indivíduos superiores com base no desempenho médio de suas progênes (PIRES et al., 2011). A partir do teste de progênes, os indivíduos que foram superiores para certo número de características desejáveis são multiplicados vegetativamente e arrançados a modo de formar o pomar (PIRES et al., 2011).

A clonagem, por sua vez, refere-se às técnicas de propagação vegetativa (estacas, enxertia ou cultura de tecidos) possibilitando a multiplicação de indivíduos geneticamente idênticos. Essa prática é essencial para a formação de pomares clonais e o estabelecimento de plantios homogêneos e de alto desempenho, a partir da fixação imediata de genótipos superiores (RESENDE et al., 2001; PIRES et al., 2011).

Além da seleção de progênes para o avanço de gerações, é esperado em um programa de melhoramento a seleção de indivíduos para a clonagem. Assis e Mafia (2007) destacam que a clonagem permite “a transferência da variância genética total”, resultando em máximos ganhos em produtividade volumétrica, qualidade da madeira e resistência a estresses bióticos e abióticos, além de uniformidade no material propagado.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Geral

Avaliar testes de progênes de *Eucalyptus benthamii* visando à seleção de indivíduos superiores para posterior clonagem e uso em programas de melhoramento genético.

#### 1.3.2 Específicos

- Realizar análise estatística dos dados de crescimento (DAP, altura, volume) coletados em testes de progênes.
- Estimar parâmetros genéticos como herdabilidade, ganho genético e variância entre progênes.

- Identificar as progênies mais promissoras para composição de pomares e os melhores indivíduos para clonagem.

#### 1.4 JUSTIFICATIVA

A espécie *Eucalyptus benthamii* se destaca como alternativa para o reflorestamento em regiões de clima mais frio, por ser mais tolerante a geadas severas, além de apresentar bom desempenho silvicultural e qualidade da madeira adequada para o processo de celulose e papel.

Nesse contexto, o desenvolvimento de projetos que avaliem testes de progênies é essencial para identificar indivíduos superiores que possam ser utilizados em programas de melhoramento genético e clonagem, contribuindo diretamente para o avanço na produtividade, qualidade e adaptação das espécies cultivadas, além da sustentabilidade do setor. Assim, este projeto justifica-se pela necessidade de fortalecer a base genética da espécie e fornecer subsídios técnicos e científicos para a seleção de clones de alta produtividade para maior competitividade florestal da região Sul do Brasil.

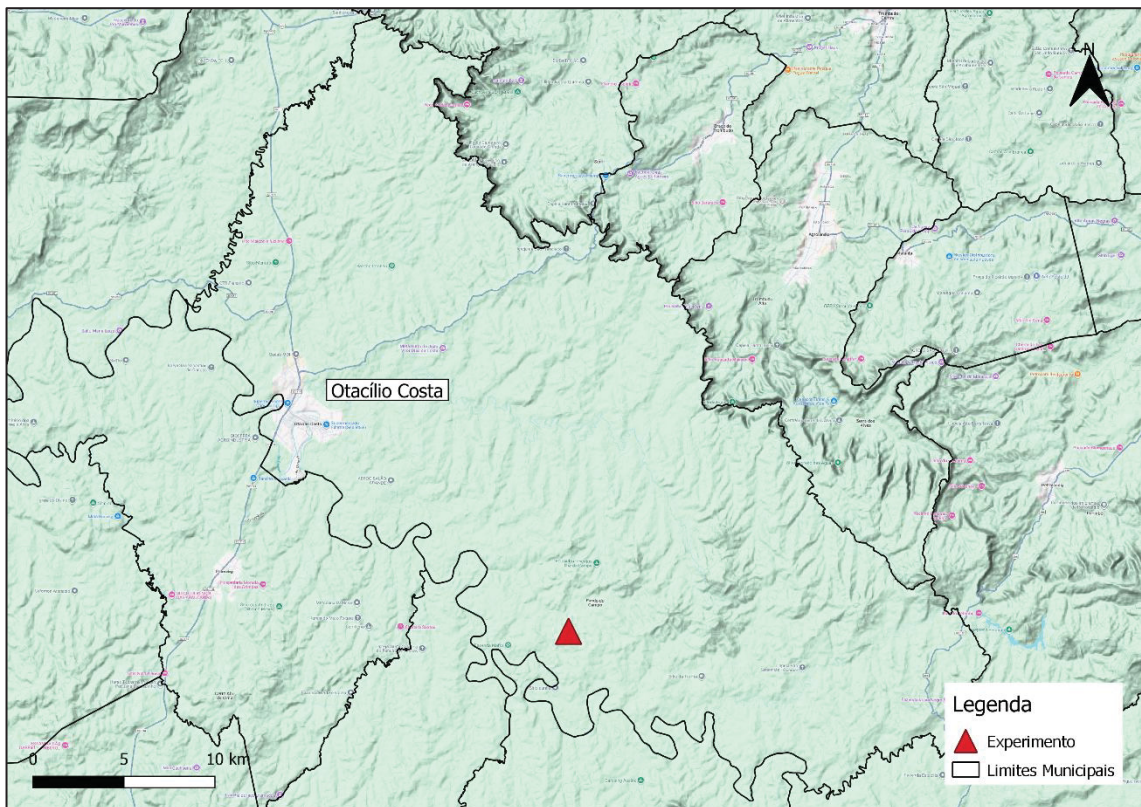
## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 LOCAL E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O material genético utilizado neste estudo corresponde a 88 progênies de polinização aberta de *Eucalyptus benthamii*, originadas de sementes colhidas em Pomar de Sementes Clonal (PSC) isolado por plantios de *Pinus taeda*, situado no Estado de Santa Catarina, na região da Serra Catarinense.

O teste de progênies de *E. benthamii* utilizado neste estudo pertence à empresa Klabin S.A. e está localizado em Otacílio Costa, Santa Catarina (lat. 27°36'31.25"S; long. 49°58'1.09"O), com altitude de 874 metros acima do nível do mar (Figura 3).

**Figura 3** - Localização da área experimental em relação ao município de Otacílio Costa, SC.



Fonte: A autora (2025).

O município de Otacílio Costa, localizado no planalto serrano de Santa Catarina, apresenta clima mesotérmico úmido (Cfb segundo Köppen), com verões amenos e temperatura média anual em torno de 15,9 °C (OTACÍLIO COSTA, 2025). A altitude média da sede municipal é de aproximadamente 884 metros acima do nível do mar (CÂMARA MUNICIPAL DE OTACÍLIO COSTA, 2025).

A pluviosidade média anual varia entre 1.300 e 1.600 milímetros, característica das regiões serranas do Estado (EPAGRI, 2020; UTFPR, 2017).

Em relação ao solo, Otacílio Costa apresenta predominância de Cambissolo Húmico Alumínico, classificado conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). Esse tipo de solo é considerado pouco profundo, com horizonte B incipiente, coloração que varia de bruno escuro a bruno avermelhado, alta pedregosidade e baixa fertilidade natural (ALVARES et al., 2014; MAGRO, 2012). A área de estudo, de acordo com o mapeamento de solos da empresa, apresenta solo tipo Cambissolo Húmico com textura argilosa.

O teste foi implantado em dezembro de 2021, com espaçamento entre plantas de 2,5 x 2,5 metros.

O delineamento experimental dos testes foi em STP (Single Tree Plot), composto por 88 tratamentos distribuídos de forma aleatória, repetidos 20 vezes.

Aos 3 anos após a implantação do experimento, foram realizadas as mensurações dos caracteres diâmetro à altura do peito (DAP cm) e altura total (ALT m) e foi calculado o volume das plantas (VOL m<sup>3</sup>) por meio da expressão:

$$\text{VOLUME} = \exp(-9,46081+1,92690*\ln(\text{DAP})+0,79453*\ln(\text{ALT}))$$

## 2.2 ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS GENÉTICOS PARA OS CARACTERES DE CRESCIMENTO

As análises estatísticas foram realizadas por meio do software SELEGEN REML/BLUP (RESENDE, 2007). Por meio do método REML (Máxima Verossimilhança Restrita) é possível estimar os parâmetros genéticos, já a partir do BLUP (Melhor Predição Linear Não Viesada) são estimados médias genotípicas e os valores genéticos aditivos e genotípicos individuais.

Para este trabalho os dados foram avaliados considerando que as progênes são de meios-irmãos, com delineamento de blocos ao acaso, com uma planta por parcela, sendo utilizado o modelo misto (modelo 19):

$$y = Xr + Za + e$$

onde:

y = vetor de dados;

r = vetor dos efeitos de repetição;

a = vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais;

e = vetor do efeito dos erros ou resíduos;

X, Z: matrizes de incidências para os referidos efeitos.

As expressões que serviram como base para a estimativa dos parâmetros genéticos foram:

a) Herdabilidade individual no sentido restrito, ou seja, dos efeitos aditivos:

$$\hat{h}_a^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_f^2}$$

Refere-se à herdabilidade dos efeitos aditivos, importante para seleção individual, porque a resposta à seleção depende apenas dos efeitos aditivos.

b) Herdabilidade no sentido amplo:

$$H^2 = \frac{V_g}{V_f}$$

Considera todos os efeitos genéticos (aditivos + dominância + epistasia).

c) Herdabilidade da média de progênie, assumindo sobrevivência completa:

$$\hat{h}_{mp}^2 = \frac{0,25 \sigma_a^2}{0,25 \sigma_a^2 + \frac{\sigma_c^2}{r} + \frac{0,75 \sigma_a^2 + \sigma_e^2}{nr}}$$

Indica a herdabilidade estimada considerando a média das progênies, assumindo que todas sobrevivem. É usada para avaliar a confiabilidade da seleção de famílias.

d) Acurácia da seleção de progênie, assumindo sobrevivência completa:

$$\hat{r}_{aa} = \sqrt{\hat{h}_{mp}^2}$$

Representa a confiabilidade ou precisão com que se pode prever o valor genético da progênie a partir da média observada.

e) Herdabilidade aditiva dentro de progênie:

$$\hat{h}_{ad}^2 = \frac{0,75 \sigma_a^2}{0,75 \sigma_a^2 + \sigma_e^2}$$

Indica a proporção da variação genética aditiva dentro das progênies, útil para selecionar indivíduos dentro da mesma família.

f) Coeficiente de variação genética aditiva individual:

$$CV_{gi}(\%) = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_a^2}}{\bar{m}} \times 100;$$

Coeficiente que expressa a variabilidade relativa em porcentagem.

g) Coeficiente de variação genética entre progênies:

$$CV_{gp} = \frac{\sqrt{V_f}}{\bar{X}} \times 100$$

Coeficiente que expressa a variabilidade relativa em porcentagem, ou usando apenas a variação entre famílias.

h) Coeficiente de variação residual (DBC-Uma planta por parcela)

$$c\hat{v}_e(\%) = \frac{\sqrt{0,75 \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2}}{\bar{x}} \cdot 100$$

i) Coeficiente de variação relativa:

$$CV_r = \frac{CV_g}{CV_e},$$

Onde: CVg pode ser CVgi ou CVgp, dependendo do contexto.

### 3 RESULTADO E DISCUSSÃO

#### 3.1 ANÁLISE INDIVIDUAL

##### 3.1.1 Sobrevivência da progênie

A sobrevivência do presente experimento foi de 75% aos três anos de idade. Júnior e Lengowski (2017) obtiveram a taxa de 90% de sobrevivência em seu estudo com *E. benthamii* implantado em Canoinhas (SC). O trabalho de Costa (2014) avaliou progênies de *E. benthamii* também aos três anos de idade, resultando em uma sobrevivência de 82,4% em experimentos implantadas em Telêmaco Borba (PR).

Já Silva (2008), em seu estudo com progênies de *E. benthamii* aos três anos e meio instaladas em locais diferentes de Santa Catarina, obteve um valor médio de sobrevivência de 73,2%. Higa e Carvalho (1990) observaram na região de Dois Vizinhos (PR) sobrevivência de 70% para a espécie de *E. benthamii*, valor abaixo do observado no presente trabalho.

##### 3.1.2 Análise individual para diâmetro à altura do peito (DAP cm)

Observou-se que, neste trabalho, o DAP das progênies apresentou média de 12,31 cm aos três anos de idade. Costa (2014) em seus estudos observou média de 10,04 cm aos três anos de idade para progênies de *E. benthamii*. Em estudo publicado por Silva (2008), observou-se média de 8,74 cm para progênies de *E. benthamii* também em Santa Catarina, por volta dos três anos e meio de idade. Cappa et al. (2010) observaram média de DAP de 8,66 cm para progênies de *Eucalyptus viminalis* na Argentina, aos três anos de idade. Moraes et al. (2015) em seus estudos com *E. dunnii* aos três anos de idade observaram médias de 11,53 cm e 13,19 cm em dois locais diferentes de Santa Catarina. O desempenho das progênies avaliadas neste estudo foi superior ao observado em outros trabalhos com *E. benthamii* e até comparável ao de outras espécies de eucalipto utilizadas em regiões de clima semelhante. Isso indica bom crescimento e adaptação das progênies às condições locais.

Na Tabela 1 são apresentados os dados da estimativa dos parâmetros genéticos para o caractere diâmetro à altura do peito (DAP).

**Tabela 1** - Parâmetros genéticos da população de *Eucalyptus benthamii* para o caractere diâmetro à altura do peito (DAP), altura e volume individual

Característica/parâmetro	DAP (cm)	Altura (m)	Volume individual (m <sup>3</sup> )
Média (u)	12,31	15,56	0,101
CVe%	27,36	23,06	55,06
<b>CVgi%</b>	18,63	13,49	34,94
<b>CVgp%</b>	9,31	6,74	17,47
<b>CVr</b>	0,34	0,29	0,32
h <sup>2</sup> a	0,41	0,31	0,36
h <sup>2</sup> mp	0,70	0,63	0,67
h <sup>2</sup> ad	0,35	0,26	0,30
Acprog	0,83	0,79	0,82

CVe%: coeficiente de variação ambiental/residual; CVgi%: coeficiente de variação genética aditiva individual; CVgp%: coeficiente de variação genética entre progênies; h<sup>2</sup>a = h<sup>2</sup>: herdabilidade individual no sentido restrito; CVr = CVg/CVe = coeficiente de variação relativa; h<sup>2</sup>mp: herdabilidade da média de progênie; h<sup>2</sup>ad: herdabilidade aditiva dentro de progênie; Acprog: acurácia da seleção de progênie.

Fonte: A autora (2025).

O Coeficiente de Variação experimental (CVe%) para o caráter DAP resultou em 27,36%, valor considerado relativamente alto, o que mostra que o ambiente teve influência considerável e o que também explica o baixo coeficiente de variação relativa (Tabela 1). Segundo Gomes (2000), considera-se que CVe menor que 10% têm baixa influência ambiental e, portanto, boa precisão, bem como CVe maior que 20% representam baixa precisão experimental, devida à alta influência do ambiente. Outro fator que pode ter contribuído para a maior variação experimental foi a sobrevivência do experimento de 75%. A mortalidade em um experimento significa a perda de plantas, o que afeta diretamente a competição entre as plantas e causa desuniformidade do crescimento, visto que influencia de forma diferente os indivíduos que compõem as parcelas. Essa diferença aumenta a variação dos resultados, tornando-os menos confiáveis e menos precisos. O trabalho de Costa (2014) avaliando progênies de *E. benthamii* resultou em uma média de CVe% de 11,69%, sendo a média de sobrevivência aos três anos de 82,4%.

A classificação das herdabilidades deste estudo foi baseada em Resende (1995), que considera que valores de herdabilidade de 0,01 até 0,15 são considerados baixos, de 0,15 até 0,50 são considerados medianos e valores superiores a 0,50 são

considerados altos. Segundo Costa (2014), quanto maiores os valores de herdabilidade, menor a influência do ambiente sobre o caráter.

A herdabilidade individual no sentido restrito ( $h^2_a$ ) foi considerada mediana, apresentando 0,41, o que indica que aproximadamente 41% da variação fenotípica observada é de origem genética aditiva, demonstrando um nível moderado a alto de controle genético para o DAP. Silva (2008) observou valores inferiores de herdabilidade individual em progênies de *E. benthamii* com três anos e meio de idade, avaliados em Santa Catarina, onde este parâmetro variou de 0,13 a 0,31. Costa (2014) observou média de 0,15 para progênies de *E. benthamii* com três anos de idade, valor bem abaixo do encontrado no presente trabalho.

O valor encontrado para a herdabilidade média de progênies ( $h^2_{mp}$ ) foi classificado como alto, em que este parâmetro foi de 0,70, o que mostra que a seleção entre progênies é bem eficiente, evidenciando alta confiabilidade na avaliação genotípica das famílias. No trabalho realizado por Costa (2014), o valor encontrado foi de 0,49 aos três anos de idade para progênies de *E. benthamii*. Já Silva (2008) observou valores variando de 0,43 a 0,66 em seu estudo com progênies de *E. benthamii*, valores inferiores aos encontrados no presente trabalho.

A herdabilidade aditiva dentro das progênies ( $h^2_{ad}$ ) apresentou valor de 0,35, considerado mediano. Este resultado sugere ganhos possíveis na seleção dentro de famílias, sendo viável compor pomares/sementes e avançar geração. Silva (2008), avaliando progênies de *E. benthamii*, observou valores variando de 0,10 a 0,28. No trabalho realizado por Costa (2014), o valor médio encontrado foi de 0,12 aos três anos de idade para progênies de *E. benthamii*. Para ambos os estudos, os valores encontrados foram menores que os do presente trabalho.

Com relação à acurácia ( $Ac_{prog}$ ) da seleção de progênies (correlação entre o valor genético verdadeiro e o predito) para a variável DAP resultou em 0,83 ( $\approx 83\%$ ), o que significa alta confiabilidade e relação entre o valor predito e o real. Segundo a classificação de Resende (2007), o ideal é que os valores da acurácia sejam superiores a 50%, pois altos valores indicam uma boa precisão na seleção dos genótipos. Costa (2014) encontrou valor de acurácia de 77% trabalhando com *E. benthamii* aos três anos de idade. Silva (2008) avaliou progênies de *E. benthamii* e observou valor de 82%.

Os valores encontrados estão dentro do ideal para o caráter DAP, o que indica que a seleção baseada neste caráter será realizada com precisão.

### 3.1.3 Análise individual para altura das plantas (ALT m)

Observou-se, neste trabalho, que para as progênies a altura apresentou média de 15,56 metros aos três anos de idade. Costa (2014) encontrou média inferior para progênies de *E. benthamii* de mesma idade, em que a média foi de 10,75 metros. Também, Callister et al. (2011) encontraram média muito inferior à do presente trabalho para progênies de *Eucalyptus globulus* com três anos de idade, em East Esperance (Austrália), onde a média foi de 8,1 metros de altura. Em outro trabalho, Cappa et al. (2010), avaliando progênies de *E. viminalis*, encontraram em um dos locais na Argentina média de 8,78 metros de altura, muito inferior à média do presente trabalho. Moraes et al. (2015) em seus estudos com *E. dunnii* aos três anos de idade observaram médias de 13,26 e 13,93 metros de altura em dois locais diferentes de Santa Catarina. Este valor observado indica que as progênies avaliadas neste trabalho apresentaram excelente desempenho em altura, com valor superior aos observados em outros trabalhos tanto com *E. benthamii* quanto com outras espécies do gênero.

Na Tabela 1 são apresentados os dados da estimativa dos parâmetros genéticos para o caractere altura total.

Com relação ao Coeficiente de Variação experimental (C<sub>Ve</sub>%) para o caráter altura, obteve-se o resultado de 23,06%, considerado alto, o que mostra influência ambiental moderada sobre o caráter. A sobrevivência do experimento de 75% pode ter contribuído para a maior variação experimental. A perda de plantas afeta diretamente a competição e causa desuniformidade, o que influencia de forma diferente os indivíduos que compõem as parcelas. Essa diferença aumenta a variação dos resultados, tornando-os menos confiáveis e menos precisos. Costa (2014) encontrou valor médio de 11,74% trabalhando com *E. benthamii* aos três anos de idade, sendo a média de sobrevivência aos três anos de 82,4%.

A herdabilidade individual no sentido restrito ( $h^2_a$ ) para o caráter altura foi considerada mediana, sendo 0,31, valor inferior ao encontrado para o DAP neste mesmo trabalho. Este valor indica que aproximadamente 31% da variação fenotípica para a altura total é explicada por diferenças genéticas aditivas entre os indivíduos. Costa (2014) obteve média observada de 0,18 para *E. benthamii* aos três anos de idade. Callister et al. (2013) encontraram valores variando de 0,01 a 0,24 para o

caráter altura aos três anos e meio de idade, para progênies de *Eucalyptus globulus*. Já Luo et al. (2006), avaliando progênies de *Eucalyptus pellita* na China, observaram valores superiores de herdabilidade individual, onde aos dois anos a estimativa foi de 0,31, valor igual ao do presente trabalho.

O valor encontrado para a herdabilidade média de progênies ( $h^2_{mp}$ ) foi classificado como mediano, sendo 0,63 ( $\approx 63\%$ ), o que indica que a seleção entre progênies (famílias) é mais promissora do que a seleção individual. No trabalho realizado por Costa (2014), o valor encontrado foi de 0,59 aos três anos de idade para progênies de *E. benthamii*.

Já a herdabilidade aditiva dentro de progênies ( $h^2_{ad}$ ) apresentou valor de 0,26, considerado mediano, o que indica que ainda existe variação genética aproveitável dentro das famílias e possibilita ganhos adicionais com a seleção individual dentro das melhores progênies. Para esta mesma idade, Costa (2014) encontrou valor médio de 0,16 aos três anos de idade para progênies de *E. benthamii*.

Com relação à Acurácia (Acprog) para o caráter altura, o valor encontrado de 0,79 ( $\approx 79\%$ ) foi considerado alto, segundo Resende (2007), que foi citado anteriormente. O valor também foi inferior ao valor encontrado para o caráter DAP. Isso significa que as diferenças genéticas estimadas entre as progênies refletem, de forma bastante fiel, as diferenças genéticas reais. Costa (2014) encontrou valor médio ligeiramente menor (0,76) para o parâmetro altura trabalhando com *E. benthamii* aos três anos de idade.

#### 3.1.4 Análise individual para volume individual (VOL m<sup>3</sup>/árvore)

Observou-se, neste trabalho, que o volume individual apresentou média de 0,101 m<sup>3</sup>/árvore aos três anos de idade. Este valor se mostra superior ao encontrado por Costa (2014) para *E. benthamii* de mesma idade, que apresentou média de 0,056 m<sup>3</sup>/árvore. A maior média de volume individual encontrada no presente trabalho, em comparação à Costa (2014) pode ser explicada pelo maior grau de melhoramento dessa população, visto que as progênies são procedentes de um Pomar de Sementes Clonal de segunda geração. Estopa (2017), em seu estudo com progênies de *E. benthamii* aos três anos de idade implantados também em Otacílio Costa, encontrou valor médio de 0,09 m<sup>3</sup>/árvore.

As progênies avaliadas apresentaram elevado desempenho volumétrico, com média de 0,101 m<sup>3</sup> por árvore aos três anos de idade, valor superior aos observados em outros estudos com *E. benthamii*.

Na Tabela 1 são apresentados os dados da estimativa dos parâmetros genéticos para o caractere volume individual.

O Coeficiente de Variação experimental (CVe%) para o caráter Volume resultou em 55,06%, valor muito superior ao encontrado por Costa (2014), que obteve a média de 26,89%, e por Freitas et al. (2009), que obtiveram médias que variaram de 21,66% a 30,11%. A sobrevivência do experimento de 75% pode ter contribuído para a maior variação experimental. A perda de plantas afeta diretamente a competição e causa desuniformidade, o que influencia de forma diferente os indivíduos que compõem as parcelas. Essa diferença aumenta a variação dos resultados, tornando-os menos confiáveis e menos precisos. Costa (2014) encontrou valor médio de 26,89% trabalhando com *E. benthamii* aos três anos de idade, sendo a média de sobrevivência aos três anos de 82,4%. Costa et al. (2016) observaram CVe de 30,2% e 78,1% de sobrevivência das progênies em seus estudos com *E. benthamii* aos sete anos de idade.

A herdabilidade individual no sentido restrito ( $h^2a$ ) para o caráter Volume foi considerada mediana, sendo que aos três anos de idade a média observada foi de 0,36, valor inferior ao encontrado para o caractere DAP e superior ao caractere Altura neste mesmo trabalho. Esse valor indica que existe variabilidade genética útil, mas ainda com forte influência ambiental. Costa (2014) e Estopa (2017), ao trabalharem com *E. benthamii* aos três anos de idade, observaram valores médios de  $h^2a$  inferiores ao observado neste trabalho, sendo 0,13 e 0,21, respectivamente. Costa et al. (2016) observaram valor médio de 0,11 em seu estudo com *E. benthamii* aos sete anos de idade em Telêmaco Borba (PR). Marcó e White (2002), avaliando progênies de *E. grandis* e *E. dunnii* aos três anos de idade, encontraram valores semelhantes aos encontrados neste trabalho, sendo 0,23 e 0,26 respectivamente.

O valor encontrado para a herdabilidade média de progênies ( $h^2mp$ ) foi classificado como alto, com valor para este parâmetro de 0,67. Este valor indica que a seleção entre progênies pode gerar ganhos de alta magnitude. O valor é superior ao encontrado por Estopa (2017) ao trabalhar com *E. benthamii* aos três anos de idade (0,59) e por Costa (2014) também trabalhando com *E. benthamii* aos três anos de idade (0,57). Costa et al. (2016) em seu estudo com *E. benthamii* aos sete anos de

idade encontraram valor de  $h^2_{mp}$  semelhante, porém inferior ao do presente trabalho, sendo 0,61.

Já a herdabilidade aditiva dentro de progênies ( $h^2_{ad}$ ) apresentou valor de 0,30. Isso indica que existe expressiva variação genética dentro das famílias, permitindo ganhos adicionais por meio da seleção individual dentro das melhores progênies. Este valor se mostra superior ao encontrado por Costa (2014), que observou o valor médio de 0,11, e por Estopa (2017), que foi 0,21, ambos para progênies de *E. benthamii*.

Com relação à Acurácia (Acprog) para o caráter Volume, o valor encontrado foi de 0,82 ( $\approx 82\%$ ). O valor foi superior ao encontrado por Costa (2014) e por Estopa (2017), que foi de 0,78 e 0,77 respectivamente, em seus estudos com progênies de *E. benthamii* aos três anos de idade. Costa et al. (2016) também verificaram valor de acurácia menor trabalhando com *E. benthamii* aos sete anos de idade (0,77).

O coeficiente de variação genética individual para volume individual foi de 34,94% e é considerado moderado, sendo que para altura e DAP apresentaram valores bem mais baixos (Tabela 1). Isso indica variabilidade genética suficiente nesta população, o que favorece a seleção de indivíduos superiores. Já o coeficiente de variação entre progênies foi baixo para todos os caracteres. Os valores dos coeficientes de variação relativa também foram baixos para os três caracteres, indicando uma alta influência do ambiente. Valores semelhantes foram encontrados na literatura para eucalipto (MIRANDA et al., 2015; HENRIQUES et al., 2017).

O DAP foi o caráter indicado neste trabalho para realizar a seleção, devido à maior facilidade e precisão na sua mensuração, minimizando os erros, além da menor influência ambiental, mesmo resultado foi encontrado por de Costa (2014). Porém, as discussões foram baseadas em volume, visto que na prática a empresa tem usado o caráter volume, por representar a interação do DAP e da altura e refletir características silviculturais, bem como o efeito dos danos da geada na altura. De qualquer forma, existe alta correlação entre estes caracteres variando de 0,95 a 0,98 para três e sete anos, em materiais genéticos de mesma procedência desse estudo de Costa (2014).

### 3.2 Seleção de potenciais genitores e clones

As estratégias de seleção foram analisadas com base na variável volume individual, levando em conta o objetivo de se obter ganhos genéticos nesta variável, buscando aumentar a produtividade. O conjunto de dados analisado contém 1.381 árvores vivas e a média geral para a variável volume foi 0,101.

Para ser feita a seleção de indivíduos com base no Valor Genético Aditivo Predito, foi utilizada a intensidade de seleção mais branda de 10% da população de plantas, ou seja, foram selecionados os 140 melhores indivíduos.

A nova média da população após seleção dos 140 melhores indivíduos aumentou para 0,1419. Esse aumento corresponde ao ganho genético de 30% sobre a média inicial (0,101). Esse resultado mostra que a seleção dos 140 melhores indivíduos é eficaz para aumentar a média da população para volume, mantendo um número adequado de indivíduos para a conservação da população.

Desta forma, o tamanho efetivo populacional ficou em  $N_e=68,7$ , que é considerado elevado, o que demonstra boa manutenção da variabilidade genética entre os indivíduos selecionados.

De acordo com Resende (2002), o tamanho efetivo mínimo recomendado é de 30 a 50 indivíduos e, segundo Mistro et al. (2019), valores de  $N_e$  acima de 50 já são suficientes para equilibrar o ganho genético esperado e a manutenção da diversidade. O  $N_e=68,7$ , superior ao recomendado pela literatura, garante um maior tamanho efetivo da população, assegurando a conservação da variabilidade genética entre famílias, o que também permite maior resiliência a mudanças climáticas ou a novas pragas e doenças.

Paralelo à estratégia de melhoramento com viés forte em conservação, pode-se garantir maiores ganhos, por meio da clonagem dos melhores genitores (enxertia) selecionando com alta intensidade de seleção os 20 melhores clones para compor um Pomar Clonal de sementes com baixo tamanho efetivo e alto ganho genético, conforme apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2** - Estimativas de ganho genético para o caractere de volume individual com casca dos 20 melhores indivíduos

Ordem	Família	a	u+a	Ganho	Nova Média	N <sub>e</sub>	D
1	449	0,0737	0,175	0,0737	0,175	1	0,0312
2	498	0,0684	0,1697	0,0711	0,1723	2	0,0361
3	487	0,0664	0,1677	0,0695	0,1708	3	0,0359
4	512	0,0634	0,1647	0,068	0,1693	4	0,0257
5	511	0,0627	0,164	0,0669	0,1682	5	0,0354
6	449	0,0613	0,1625	0,066	0,1673	5,4962	0,0229
7	516	0,0606	0,1618	0,0652	0,1665	6,4972	0,0284
8	416	0,0596	0,1609	0,0645	0,1658	7,4979	0,021
9	510	0,0596	0,1609	0,064	0,1652	8,4984	0,0264
10	449	0,0588	0,1601	0,0635	0,1647	8,6022	0,0213
11	535	0,058	0,1592	0,063	0,1642	9,5947	0,0193
12	512	0,0569	0,1581	0,0625	0,1637	10,1947	0,0213
13	535	0,0567	0,158	0,062	0,1633	10,8112	0,0185
14	530	0,0562	0,1575	0,0616	0,1629	11,7914	0,0213
15	530	0,054	0,1552	0,0611	0,1624	12,4138	0,0198
16	416	0,0535	0,1547	0,0606	0,1619	13,0464	0,0169
17	535	0,0534	0,1546	0,0602	0,1615	13,3368	0,0162
18	449	0,0534	0,1546	0,0598	0,1611	13,3516	0,0176
19	530	0,0531	0,1543	0,0595	0,1607	13,7248	0,0192
20	526	0,053	0,1543	0,0591	0,1604	14,6569	0,0253

a: efeito genético aditivo; u+a: valor genético aditivo (soma da média geral (u) e do efeito aditivo (a)); N<sub>e</sub>: tamanho efetivo populacional; d: efeito de dominância.  
 Fonte: A autora (2025).

Ao analisar os 20 melhores indivíduos para avanço de geração considerando os melhores valores genéticos aditivos, inclusive com sobreposição de gerações, o ganho genético alcança 53% e o tamanho efetivo populacional N<sub>e</sub>=14,6. Isso sugere que a seleção dos 20 melhores indivíduos ainda preserva uma razoável diversidade, porém não suficiente para garantir a conservação da espécie de forma segura, mas traz ganhos genéticos bem consideráveis para o programa de melhoramento. De acordo com Resende (2002), o tamanho efetivo mínimo recomendado é de 30 a 50

indivíduos, o que garante variabilidade genética suficiente para manter o progresso genético ao longo de vários ciclos de seleção, evitando acúmulo de endogamia.

Também, observa-se que as famílias 449, 530 e 535 estão entre as mais recorrentes entre os 20 primeiros indivíduos, o que indica seu elevado potencial genético e importância para a manutenção e o avanço da base genética do programa.

Por outro lado, pensando no melhoramento fim de linha, para recomendação de clones mais produtivos para plantio operacional. Os 10 melhores indivíduos foram selecionados com base no valor genotípico predito de volume individual, para serem potenciais clones (Tabela 3).

**Tabela 3** - Estimativas de ganho genético para o caractere de volume individual dos 10 melhores indivíduos

Ordem	Família	a	u+a	Ganho	Nova Média	$N_e$	d	u+a+d
1	449	0,0737	0,175	0,0737	0,175	1	0,0312	0,21
2	498	0,0684	0,1697	0,0711	0,1723	2	0,0361	0,21
3	487	0,0664	0,1677	0,0695	0,1708	3	0,0359	0,20
4	512	0,0634	0,1647	0,068	0,1693	4	0,0257	0,19
5	511	0,0627	0,164	0,0669	0,1682	5	0,0354	0,20
6	449	0,0613	0,1625	0,066	0,1673	5,4962	0,0229	0,19
7	516	0,0606	0,1618	0,0652	0,1665	6,4972	0,0284	0,19
8	416	0,0596	0,1609	0,0645	0,1658	7,4979	0,021	0,18
9	510	0,0596	0,1609	0,064	0,1652	8,4984	0,0264	0,19
10	449	0,0588	0,1601	0,0635	0,1647	8,6022	0,0213	0,18

*a: efeito genético aditivo; u+a: valor genético aditivo (soma da média geral (u) e do efeito aditivo (a));  $N_e$ : tamanho efetivo populacional; d: efeito de dominância; u+a+d: valor genotípico (média geral + efeito aditivo + dominância).*

Fonte: A autora (2025).

O ranking revelou que o indivíduo de maior desempenho, pertencente à Família 449, apresentou Valor Genotípico de 0,21 (média geral + efeito aditivo + dominância), representando um ganho de volume de 106% sobre a média da população (0,101).

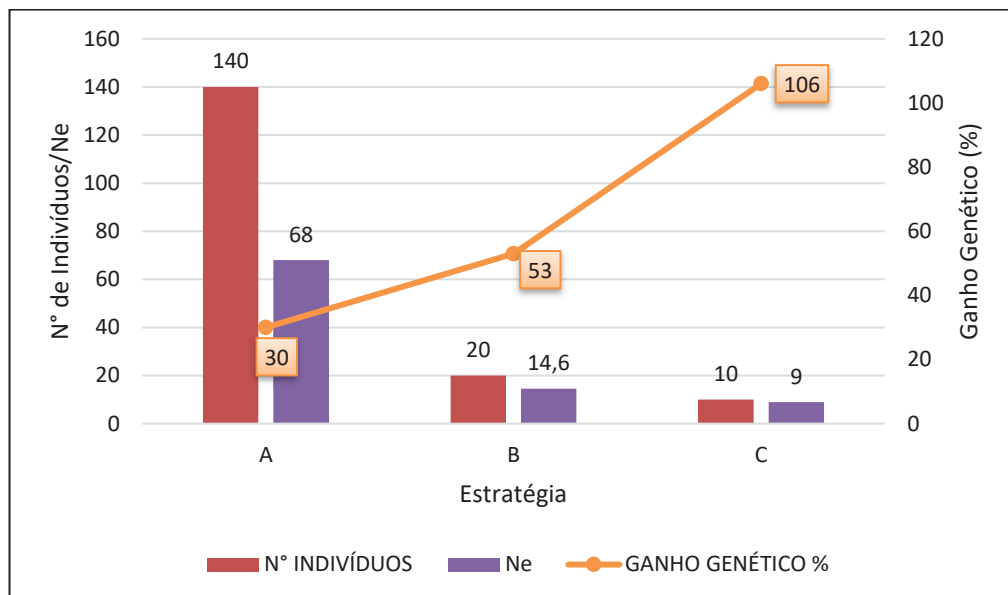
Essa análise indica que a seleção de clones para seguir em testes clonais e futuras recomendações pode trazer ganhos de 81% a 106% em relação à média da

população ( $vol=0,101$ ). O tamanho efetivo populacional  $N_e=8,6$  é considerado baixo, mas nesse caso o objetivo seria somente o ganho genético.

A recorrência da família 449 entre os indivíduos de maior desempenho demonstra a presença de combinações genéticas favoráveis nessa família, destacando-a como fonte prioritária para obtenção de clones de alta produtividade.

Com diferentes intensidades de seleção e objetivo do programa de melhoramento, podemos verificar os resultados obtidos com as diferentes estratégias de seleção (Gráfico 1).

**Gráfico 1** - Relação entre ganho genético e diversidade efetiva nas diferentes estratégias de seleção



Estratégia A: Valor Genético Aditivo Predito ( $u+a$ ); B: Avanço de Geração com Enxertia; C: Valor Genotípico ( $u+a+d$ ).

Fonte: A autora (2025).

De forma geral, as três estratégias refletem diferentes formas de exploração do potencial genético dentro do programa de melhoramento de *Eucalyptus benthamii*.

Enquanto a seleção genética aditiva sustenta o avanço de gerações e promove o melhoramento por sementes (PSM) com ampla base genética e/ou com base genética mais estreita (PSC), a seleção genotípica visa a recomendação de clones com ganhos imediatos e alta produtividade.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A espécie *Eucalyptus benthamii* apresentou um elevado potencial de crescimento na região de Otacílio Costa (SC), apresentando médias superiores para volume de madeira em comparação à literatura. Isso reforça a posição da espécie como uma alternativa de alto valor para plantios em regiões frias e com ocorrência de geadas no Sul do Brasil;
- Os resultados obtidos ao se analisar os 140, 20 e 10 melhores indivíduos com base no caractere de volume individual resultou em ganhos genéticos significativos de 30% a 106% e permitiu a identificação e a fixação de indivíduos de alto valor genético, além de garantir a conservação da variabilidade genética necessária para o progresso genético nas futuras gerações;
- A metodologia REML/BLUP mostrou-se eficiente para estimar parâmetros genéticos e orientar estratégias de seleção, permitindo não apenas a identificação de indivíduos superiores, mas também a conservação da variabilidade genética entre famílias;
- O ambiente teve forte influência sobre o teste de progênies, porém as herdabilidades e acurácias experimentais foram de média a alta, o que indica que os efeitos genéticos foram bem estimados e podem resultar em ganhos genéticos significativos com a seleção de indivíduos dentro de progênies.

## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Área de estudo no município de Otacílio Costa, SC: solo classificado como Cambissolo Húmico Alumínico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, UDESC, 2014.
- ALVES, I. C. N.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; SILVA, H. D. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de celulose Kraft. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 167-174, 2011.
- ASSIS, T. F. de; MAFIA, R. G. **Hibridação e clonagem em eucalipto**. Viçosa, MG: SIF – Sociedade de Investigações Florestais, 2007. 65 p.
- BUTCHER, P.A.; SKINNER, A.K.; GARDINER, C.A. Increased inbreeding and interspecies gene flow in remnant populations of the rare *Eucalyptus benthamii*. **Conservation Genetics**, v.6, p.213–226, 2005.
- BUTNOR, J. R.; JOHNSEN, K. H.; ANDERSON, P. H.; HALL, K. B.; HALMAN, J. M.; HAWLEY, G. J.; MAIER, C. A.; SCHABERG, P. G. Growth, photosynthesis, and cold tolerance of *Eucalyptus benthamii* planted in the Piedmont of North Carolina. **Forest Science**, v. 65, n. 1, p. 59–67, 2019. DOI: 10.1093/forsci/fxy030.
- CALLISTER, A.N., ENGLAND, N., COLLINS, S. Genetic analysis of *Eucalyptus globulus* diameter straightness, branch size, and forking in Western Australia. **Canadian Journal of Forest Research**, v.41, p.1333-1343, 2011.
- CALLISTER, A.N., ENGLAND, N., COLLINS, S. Predicted genetic gain and realized gain in stand volume of *Eucalyptus globulus*. **Tree Genetics and Genomes**, v.9, p.361-375, 2013.
- CÂMARA MUNICIPAL DE OTACÍLIO COSTA. **Informações institucionais do município**. 2025. Disponível em: <https://www.camaraotaciliocosta.sc.gov.br/imprensa/institucional/0/1/0/24>. Acesso em: 11 out. 2025.
- CAPPA, E. P., PATHAUER, P. S. LOPEZ, G. A. Provenance variation and genetic parameters of *Eucalyptus viminalis* in Argentina. **Tree Genetics and Genomes**, v.6, p.981–994, 2010.
- CASTRO, C. A. O.; RESENDE, R. T.; BHERING, L. L.; CRUZ, C. D. Brief history of Eucalyptus breeding in Brasil under perspective of biometric advances. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n.9, p.1585-1593, 2016.
- CASTRO, A. L. F.; SILVA, J. P.; SOUZA, C. M.; LIMA, R. T. Top grafting to accelerate self-pollination in *Eucalyptus* breeding. **ResearchGate**, 2022.
- COSTA, R. M. L. da. **Variabilidade genética e seleção de progênies de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage**. 2014. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Botucatu.

COSTA, R. M. L.; ESTOPA, R. A.; BIERNASKI, F. A.; MORI, E. S. Predição de ganhos genéticos em progênies de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage por diferentes métodos de seleção. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 109, p. 105-113, 2016.

CUNHA, A. B.; LONGO, B. L.; RODRIGUES, A. A.; BREHMER, D. R. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 102, p. 259-267, 2014.

EHLERS, T.; ARRUDA, G. O. S. F. de. Utilização do pó de basalto em substratos para mudas de *Eucalyptus grandis*. **Floresta Ambient.**, Seropédica, v. 21, n. 1, p.37-44, Mar.2014.

EMBRAPA. Desempenho silvicultural e seleção precoce de clones de híbridos de *Eucalyptus*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 5, p. 384–392, 2014.

EMBRAPA FLORESTAS. ***Eucalyptus benthamii* gera impacto econômico de R\$ 6 milhões anuais no Sul do Brasil**. Notícias – Embrapa Florestas, Colombo, 8 jul. 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/florestas/busca-de-noticias/-/noticia/101738134/eucalyptus-benthamii-gera-impacto-economico-de-r-6-milhoes-anuais-no-sul-do-brasil>. Acesso em: 22 jul. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA – EPAGRI. **Diagnóstico socioeconômico da região de Lages**. 2020. Disponível em: [https://docweb.epagri.sc.gov.br/website\\_cepapublicacoes/diagnostico/LAGES.pdf](https://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepapublicacoes/diagnostico/LAGES.pdf). Acesso em: 11 out. 2025.

ESTOPA, R. A. **Fenotipagem via NIR e predição genômica em *Eucalyptus benthamii***. 2017. Tese (Doutorado em Ciências – Área de Concentração em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 2017.

ESTOPA, R. A.; MILAGRES, F. R.; OLIVEIRA, R. A.; HEIN, P. R. G. NIR spectroscopic models for phenotyping wood traits in breeding programs of *Eucalyptus benthamii*. **CERNE**, Lavras, v. 23, n. 3, p. 367-375, 2017. DOI: 10.1590/01047760201723032319.

FERRARI, M. P.; VENCOSKY, R.; RESENDE, M. D. V. Seleção precoce em espécies florestais: conceitos, aplicabilidade e limitações. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 111, p. 553–564, 2016.

FLORES, T. B.; ALVARES, C. A.; SOUZA, V. C.; STAPE, J. L. ***Eucalyptus* no Brasil: zoneamento climático e guia para identificação**. Piracicaba: IPEF, 2016. 448 p.

FLORIANI, M. M. P.; STEFFENS, C. A.; CHAVES, D. M.; AMARANTE, C. V. T.; PIKART, T. G.; RIBEIRO, M. S. Relação entre concentrações foliares de carboidratos solúveis totais e tolerância ao frio em diferentes espécies de *Eucalyptus*

spp. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 165-174, jan./mar. 2013. DOI: 10.5902/198050988474.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. (1981). **El eucalipto en la repoblacion forestal** (723 p.). Roma.

FREITAS, M. L. M.; SEBBENN, A. M.; KAGEYAMA, P. Y. Produção e manejo de pomares de sementes. **Revista do Instituto Florestal**, v. 19, n. 2, p. 15–24, 2007.

FREITAS, R. G., VASCONCELOS, E. S., CRUZ, C. D., ROSADO, A. M., ROCHA, R. B., TAKAMI, L. K. Predição de ganhos genéticos em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urograndis* cultivadas em diferentes ambientes e submetidas a diferentes procedimentos de seleção. **Revista Árvore**, v. 33, n.2, p.25–263, 2009.

FRIGOTTO, T.; NAVROSKI, M. C.; AGUIAR, N. S. de; FELIPPE, D.; BORSOI, G. A.; PEREIRA, M. de O.; LOVATEL, Q. C. Desempenho de espécies e procedências de *Eucalyptus* no Planalto Norte Catarinense, Brasil. **Scientia Forestalis**, Colombo, v. 48, n. 127, e3273, 2020.

FONSECA, S.M.; RESENDE, M. D. V.; ALFENAS, A. C.; GUIMARAES, L. M. S.; ASSIS, T. F.; GRATTAPAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético do Eucalyptus**. Viçosa: Editora UFV, 200p, 2010.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 14 ed. Piracicaba: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. 477 p.

GRAÇA, M.E.C.; SHIMIZU, J.Y.; TAVARES, F.R. (1999) Capacidade De Rebrotas E De Enraizamento de *Eucalyptus benthamii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 39, p.135-138.

HALL, K. B.; STAPE, J. L.; BULLOCK, B. P.; FREDERICK, D.; WRIGHT, J.; SCOLFORO, H. F.; COOK, R. A growth and yield model for *Eucalyptus benthamii* in the Southeastern United States. **Forest Science**, [s. l.], v. 65, n. 6, p. 770–782, nov. 2019.

HENRIQUES, E. P., MORAES, C., SEBBENN, A. M., TOMAZELLO FILHO, M., MORAES, M.; MORI, E. S. Estimativa de parâmetros genéticos para caracteres silviculturais e densidade do lenho em teste de progênies de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 113, p. 119-128, 2017.

HIGA, A. R.; CARVALHO, P. E. R. de. **Sobrevivência e crescimento de doze espécies de eucalipto em Dois Vizinhos, Paraná**. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO 6, 1990, Campos do Jordão. Anais. São Paulo: SBS, 1990. p.459-461. Publicado em Silvicultura, v.3, n.42, 1990.

HIGA, R. C. V., HIGA, A. R., TREVISAN, R., & SOUZA, M. V. R. (1997). **Comportamento de vinte espécies de Eucalyptus em área de ocorrência de geadas na região Sul do Brasil**. In Anais da Conferência IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos (Vol. 1, pp. 106-110). Colombo: EMBRAPA-CNPQ.

HIGA, R. C. V.; PEREIRA, J. C. D. Usos potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. Colombo: Embrapa Florestas, **Comunicado Técnico no. 100**, 2003, 4p.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório 2024**. Brasília, DF, 2024. 96 p.

JÚNIOR, E. A. B.; LENGOWSKI, E. C. Crescimento e sobrevivência de quatro espécies de *Eucalyptus* spp. em Canoinhas – SC. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 29, n. 1, 2017.

KAGEYAMA P. Y.; VENCOVSKY R. **Variação genética em progênes de uma população de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden**. IPEF, Piracicaba, 24: 9-26, 1983.

KJAER, E.; AMARAL, W.; YANCHUCK, A.; GRAUDAL, L. Strategies for conservation of forest genetic resources. In: FAO, FLD, IPGRI (Ed.). **Forest genetic resources conservation and management**. Rome: International Plant Genetic Resources Institute. 2004. p. 5-24.

LEIGH, J.; BRIGGS, J.; HARTLEY, W. Rare or threatened Australian Plants. Special Publication 7. **Australian National Parks & Wildlife Service**, Canberra, 1981.

LEÃO, R. M. **A floresta e o homem**. Editora da Universidade de São Paulo: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000. 448 p.

LIMA, E. A.; SILVA, H. D.; LAVORANTI, O. J. Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 65, p. 09-17, 2011.

LUO, J., ARNOLD, R.J., AKEN, K. Genetic variation in growth and typhoon resistance in *Eucalyptus pellita* in south-western China. **Australian Forestry**, v.69, n.1, p.38–47, 2006.

MAGRO, G. S. **Descrição do solo Cambissolo Háplico Alítico Úmbrico na Fazenda Gropp, Otacilio Costa – SC**. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2012.

MARCÓ, M., WHITE, T.L. Genetic parameter estimates and genetic gains for *Eucalyptus grandis* and *E. dunnii* in Argentina. **Forest Genetics**, v.9, n.3, p.205-215, 2002.

MIRANDA, A. C.; MORAES, M. L. T. de; SILVA, P. H. M. da; SEBBENN, A. M. Ganhos genéticos na seleção pelo método do índice multi-efeitos em progênes polinização livre de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Scientia Forestalis**, v.43, p.203-209, 2015.

MISTRO, J. C.; RESENDE, M. D. V.; LIMA, B. M. Effective population size and expected genetic gain in *Eucalyptus* breeding programs. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 19, n. 3, p. 327–336, 2019.

- MUJIU, L., ARNOL, R. J., BOHAI, L., & MINSHENG, Y. (2003). **Selection of cold-tolerant eucalypts for Hunan province**. In J. W. Turnbull (Ed.), *Eucalypts in Asia: Proceedings of an International Conference Held in Zhanjiang, Guangdong, People's Republic of China* (ACIAR Proceedings, No. 111, pp. 107-116). Canberra: ACIAR.
- MORAES, C. B.; BRIZOLLA, T. F.; TEIXEIRA, L. G.; ZIMBACK, L.; TAMBARUSSI, E. V.; CHAVES, R.; MORAES, M. L. T.; MORI, E. S. Estimativas dos parâmetros genéticos para seleção de árvores de *Eucalyptus*. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 104, p. 623-629, 2014.
- MORAES, C. B.; CARVALHO, E. V.; ZIMBACK, L.; LUZ, O. S. L.; PIERONI, G. B.; MORI, E. S. Variabilidade genética em progênies de meios-irmãos de eucalyptos para tolerância ao frio. **Revista Árvore**, Botucatu, v. ?, n. ?, p. ?-?, 2015.
- MORAES, M. L. T.; STAPE, J. L.; LIMA, B. M.; ALMEIDA, A. C.; XAVIER, A. Seleção precoce para tolerância à seca e produtividade em progênies de *Eucalyptus* spp. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 45, e4504, 2021.
- NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. I. B.; KLOCK, U. Caracterização anatômica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 6776, 1998.
- NOGUEIRA, T. A. P.; VENCOSKY, R.; BARRIGA, P. Estimativa de parâmetros genéticos em progênies de eucalypto: seleção considerando tamanho efetivo e ganho genético. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 46, n. 120, p. 687–697, 2018.
- OBERSCHELP, G. P. J.; MORALES, L. L.; MONTECCHIARINI, M. L.; HARRAND, L.; PODESTÁ, F. E.; MARGARIT, E. Harder, better, faster, stronger: Frost tolerance of *Eucalyptus benthamii* under cold acclimation. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 186, p. 64–75, 2022. DOI: 10.1016/j.plaphy.2022.06.022.
- OTACÍLIO COSTA. **Prefeitura Municipal de Otacílio Costa**. 2025. Disponível em: <https://otaciliocosta.sc.gov.br/pagina-1957/>. Acesso em: 11 out. 2025.
- PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T.; FERREIRA, C. A. **Eucalyptos indicados para plantio no Estado do Paraná**. Documentos, Colombo, n. 129, 2006. 45 p.
- PEREIRA, G. S. **Caracterização de solos em áreas experimentais de Otacílio Costa, SC**. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014.
- PIRES, I. E.; RESENDE, M. D.; SILVA, R. L.; RESENDE JR., M. F. R. **Genética florestal**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2011.
- RESENDE, M. D. V.; HIGA, A. R.; LAVORANTI, O. J. **Predição de valores genéticos no melhoramento de *Eucalyptus* – melhor predição linear**. In: Congresso Florestal Panamericano, 1.; Congresso Florestal Brasileiro, 7., 1993, Curitiba. Floresta para o Desenvolvimento: Política, Ambiente, Tecnologia e Mercado: anais. São Paulo: SBS; [S.I.]: SBEF, 144-147, 1993.

RESENDE, M. D. V.; HIGA, A. R. Maximização da eficiência da seleção em testes de progênies de *Eucalyptus* através da utilização de todos os efeitos do modelo matemático. **Boletim de Pesquisa Florestal 28/29**: 37-55, 1994.

RESENDE, M. D. V. Delineamento de experimentos de seleção para maximização da acurácia seletiva e do progresso genético. **Revista Árvore**, v. 19, n. 4, p. 479-500, 1995.

RESENDE, M. D. V.; PRATES, D. F.; JESUS, A.; YAMADA, C. K. Estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML) e melhor predição linear não viciada (BLUP) em Pinus. **Boletim de Pesquisa Florestal 32/33**: 18-45, 1996.

RESENDE, M. D. V.; FERNANDES, J. S. C. Procedimento BLUP individual para delineamentos experimentais aplicados ao melhoramento florestal. **Revista de Matemática e Estatística 17**: 89-107, 1999.

RESENDE, M. D. V.; FERNANDES, J. S. C.; HIGA, A. R. **Melhoramento genético de espécies florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2001.

RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002.

RESENDE, M. D. V. **Seleção-REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 359p.

RESENDE, M. D. V.; DIAS, L. A. S.; SILVA, F. A.; PEREIRA, A. V.; LOPES, P. S. Influência da competição intergenotípica em testes de progênies de *Eucalyptus*: implicações na seleção precoce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 12, p. 1415–1422, 2010.

ROCHA, F. S.; PEREIRA, M. A.; COSTA, L. R.; ALMEIDA, B. H. **Boletim sobre a produção de sementes melhoradas de *Eucalyptus***. Serviço de Inspeção Florestal (SIF), 2023.

ROCHA, M. G. B.; PIRES, I. E.; ROCHA, R. B.; XAVIER, A.; CRUZ, C. D. Seleção de genitores de *Eucalyptus grandis* e de *Eucalyptus urophylla* para a produção de híbridos interespecíficos utilizando REML/BLUP e informação de divergência genética. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 977-987, 2007.

SANTOS, G. A.; VAGAES, T. C.; ASSIS, T. F.; QUEVEDO, F. F. **Interação ambiente x material genético, com ênfase nas espécies de difícil florescimento de *Eucalyptus* subtropicais**. In: Workshop de Manejo de Pomares de Polinização Controlada, 2012, Lençóis Paulista. Anais... Lençóis Paulista: IPEF, 2012. p. 19 – 22.

SANTOS, P. E. T.; FILHO, E. P.; MAGALHÃES, W. L. E.; BEN, T. J.; MOREIRA, S. (2020). Melhoramento genético de eucaliptos subtropicais: contribuições para a

espécie *Eucalyptus benthamii*. Colombo: Embrapa Florestas. **Documentos 347**. 85 pp.

SILVA, L. D. **Melhoramento genético de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage visando a produção de madeira serrada em áreas de ocorrência de geadas severas**. 2008. 256 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Florestal, Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SILVA, L. D.; HIGA, A. R.; SANTOS, G. A. Dos. **Silvicultura e melhoramento genético de *Eucalyptus benthamii***. Curitiba: Curitiba Fupef, 2012.

SILVA, P. H. M.; RESENDE, M. D. V.; LIMA, B. M.; TAKAHASHI, E. K.; MORAES, M. L. T.; MORAES, M. L. T.; VENCOVSKY, R. Seleção precoce de genitores e árvores em testes de progênies de *Eucalyptus*. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 18, n. 1, p. 45–54, 2018.

SOUZA, J. C. A. V.; ROSADO, A. M.; PEREIRA, A. A.; ARAÚJO, E. F.; CRUZ, C. D. Viabilidade da seleção precoce em testes clonais de *Eucalyptus* spp. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 3, p. 883–893, 2016.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ – UTFPR. **Estudo climático e ambiental da região serrana catarinense**. 2017. Disponível em: [https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10981/1/DV\\_COENF\\_2017\\_2\\_02.pdf](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10981/1/DV_COENF_2017_2_02.pdf). Acesso em: 11 out. 2025.

XAVIER, A.; SILVA, R. L. da. Evolução da silvicultura clonal de *Eucalyptus* no Brasil. **Agronomía Costarricense**, v. 34, n. 1, p. 93–98, 2010.

ZARUMA, D.U.G. **Pomar de sementes por mudas em *Eucalyptus camaldulensis* e *Hymenaea stigonocarpa*: uma opção para o melhoramento e a conservação genética em espécies arbóreas exóticas e nativas**. 2020. 130 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2020.

ZIEGLER, A. C. F. Classifying coefficients of genetic variation and heritability for *Eucalyptus* spp. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 2022.

ZIMBACK, L.; MORI, E. S.; BRIZOLLA, T. F.; CHAVES, R. Correlações entre caracteres silviculturais durante o crescimento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 57-67, 2011.