

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE MESTRADO**

**MODELOS MISTOS NA SELEÇÃO DE PROGÊNIES E  
CLONES POTENCIAIS DE *Eucalyptus* NA BAHIA**

**ISABELLA SANTOS OLIVEIRA**

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA**

**JULHO - 2019**

**MODELOS MISTOS NA SELEÇÃO DE PROGÊNIES E CLONES  
POTENCIAIS DE *Eucalyptus* NA BAHIA**

**ISABELLA SANTOS OLIVEIRA**

Engenheira Florestal

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2017

Dissertação apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Agrárias (Área de Concentração: Fitotecnia).

**Orientador:** Prof. Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo

**Coorientador:** Prof. Dr. Ricardo Franco da Cunha Moreira

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA**

**JULHO – 2019**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Oliveira Isabella Santos

Modelos mistos na seleção de progênies e clones potenciais de *Eucalyptus* na Bahia. – Cruz das Almas, BA, 2019.  
113 f. il.; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo.  
Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Franco Cunha Moreira

Dissertação (Ciências Agrárias)- Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2019.

1. Eucalipto. 2. Melhoramento genético vegetal. I. Amorim, Dr. Edson Perito. II. Ferreira, Cláudia Fortes. III Haddad, Fernando. IV. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia V. Título.

CDD: 633 883 766

Ficha catalográfica elaborada por Lucidalva R. G. Pinheiro- Bibliotecária CRB51161 – Embrapa Mandioca e Fruticultura

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE MESTRADO**

**MODELOS MISTOS NA SELEÇÃO DE PROGÊNIES E CLONES  
POTENCIAIS DE *Eucalyptus* NA BAHIA**

**COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE  
ISABELLA SANTOS OLIVEIRA**

Realizada em 30 de Julho de 2019

Prof. Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo  
Instituição Embrapa Mandioca e Fruticultura  
Examinador Interno (Orientador)

Dra. Daiane Sampaio Almeida  
Inspetora CREA - BA  
Examinador Externo

Profa. Dra. Franceli da Silva  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB  
Examinador Interno

## DEDICATÓRIA

Ao meu querido avô Nelson José de Oliveira (*In memoriam*) por ter me ajudado a descobrir o maravilhoso mundo da leitura e por acreditar que eu lutaria para conquistar meus sonhos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por tudo que Ele tem feito na minha vida, pelas oportunidades concedidas e grandes vitórias alcançadas.

Ao meu pai Iran José de Oliveira, minha mãe Maria José dos Santos Oliveira, minhas irmãs Emanuella Santos Oliveira e Julliana Santos Oliveira, por todas orações, apoio, confiança, cuidados, e principalmente pelo amor, e por fim, mas não menos importante, a minha cadelinha Mel que esteve literalmente ao meu lado durante toda elaboração deste trabalho.

A Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, aos professores Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo e Dr. Ricardo Franco Cunha Moreira pela orientação e apoio, aos demais professores da Pós-Graduação em Ciências Agrárias pelo aprendizado. Aos participantes das bancas de qualificação e defesa Dra. Daiane Almeida, Dra. Viviane Borges, Dr. Carlos Dórea, e Dra. Franceli Silva pela disponibilidade, atenção, e contribuições na construção deste trabalho.

A BRACELL BAHIA especialmente aos setores de Planejamento Florestal e SETEC pela oportunidade de realização das pesquisas e suporte na construção deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pela bolsa concedida no período inicial do mestrado.

Aos meus amigos Jamynne Albernaz, Leandro Silva, Alana Campos e Hernandes Castro pelo apoio durante a pós-graduação. Agradeço a todos que de alguma forma me ajudaram durante este importante período da minha vida.

Gratidão!

**SUMÁRIO****Página****RESUMO****ABSTRACT****INTRODUÇÃO GERAL ..... 1****REFERENCIAL TEÓRICO.....2****ARTIGO 1****MODELOS MISTOS REML/BLUP NA SELEÇÃO DE PROGÊNIES DE MEIO-IRMÃOS DE *Eucalyptus urophylla* NA BAHIA..... 30****ARTIGO 2****MODELOS MISTOS REML/BLUP NA SELEÇÃO DE CLONES DE *Eucalyptus* spp. NA BAHIA ..... 69****CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 100**

## LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1. Número médio de indivíduos (n), altura total média (H) e diâmetro à altura do peito médio (DAP) de progênies de <i>Eucalyptus urophylla</i> avaliados aos 36 meses de idade na área experimental de Crisópolis – Ba. Cruz das Almas – Ba, 2019. ....	37
Tabela 2. Número médio de indivíduos (n), altura total média (H) e diâmetro à altura do peito médio (DAP) de progênies de <i>Eucalyptus urophylla</i> avaliados aos 36 meses de idade na área experimental Jandaíra – Bahia. Cruz das Almas – Ba, 2019. ....	38
Tabela 3. Informações de clima, precipitação e solo das áreas experimentais. Cruz das Almas - Ba, 2019. ....	39
Tabela 4. Número médio de progênies (n), altura total média (H), diâmetro à altura do peito médio (DAP) e sobrevivência (%) em teste de progênies de <i>Eucalyptus urophylla</i> em Crisópolis – Ba e Jandaíra – Ba avaliados aos 36 meses de idade. Cruz das Almas - Ba, 2019....	43
Tabela 5. Estimativa de coeficientes de variação em testes de progênies de <i>Eucalyptus urophylla</i> aos três anos de idade nos municípios de Crisópolis e Jandaíra - Ba. Cruz das Almas - Ba, 2019. ....	51
Tabela 6. Estimativa de parâmetros genéticos em testes de progênies de <i>Eucalyptus urophylla</i> aos três anos de idade nos municípios de Crisópolis e Jandaíra - Ba. Cruz das Almas - Ba, 2019. ....	54
Tabela 7. Componentes de variância em testes de progênies de <i>Eucalyptus urophylla</i> aos três anos de idade nos municípios de Crisópolis e Jandaíra - Ba. Cruz das Almas - Ba, 2019. ....	56
Tabela 8. Progênies selecionadas, ganhos genéticos, tamanho efetivo populacional e as novas médias (valor genético aditivo predito mais a média original) em função dos valores genotípicos preditos para a variável DAP em testes de progênies de <i>Eucalyptus urophylla</i> aos três anos de idade nos municípios de Crisópolis e Jandaíra - Ba. Cruz das Almas - Ba, 2019. ....	57
Tabela 9. Parâmetros genéticos estimados com base no diâmetro à altura do peito (DAP) para testes de progênies de <i>Eucalyptus urophylla</i> aos três anos de idade nos municípios de Crisópolis e Jandaíra - Análise conjunta- Ba. Cruz das Almas - Ba, 2019. ....	59
Tabela 10. Progênies selecionadas em função dos valores genotípicos preditos para variável diâmetro à altura do peito (DAP) em testes de progênies de <i>Eucalyptus urophylla</i> aos três anos de idade nos municípios de Crisópolis e Jandaíra - Análise conjunta- Ba. Cruz das Almas - Ba, 2019. ....	61
Tabela 11. Número médio de indivíduos (n), altura total média (H) e diâmetro à altura do peito médio (DAP) de clones de <i>Eucalyptus</i> avaliados aos 5 anos de idade em Crisópolis-Ba. ....	75
Tabela 12. Número médio de indivíduos (n), altura total média (H) e diâmetro à altura do peito médio (DAP) de clones de <i>Eucalyptus</i> avaliados aos 5 anos de idade em Jandaíra - Ba. ....	77

Tabela 13. Informações de clima, precipitação e solo das áreas experimentais. Cruz das Almas - Ba, 2019. ....	78
Tabela 14. Número médio de clones ( $n$ ), altura total média (H), diâmetro à altura do peito médio (DAP) e sobrevivência (%) de <i>Eucalyptus</i> spp. avaliados aos cinco anos de idade em Crisópolis e Jandaíra - Ba. Cruz das Almas, 2019. ....	82
Tabela 15. Componentes de variância em testes clonais de <i>Eucalyptus</i> spp. aos cinco anos de idade nos municípios de Crisópolis e Jandaíra - Ba. Cruz das Almas - Ba, 2019. ....	87
Tabela 16. Estimativa de coeficientes de variação em testes clonais de <i>Eucalyptus</i> spp. aos cinco anos de idade nos municípios de Crisópolis e Jandaíra - Ba. Cruz das Almas - Ba, 2019. ....	88
Tabela 17. Estimativa de parâmetros genéticos em testes clonais de <i>Eucalyptus</i> aos cinco anos de idade nos municípios de Crisópolis e Jandaíra - Ba. Cruz das Almas - Ba, 2019. ....	90
Tabela 18. Clones selecionados, ganhos genéticos, tamanho efetivo populacional e as novas médias (valor genético aditivo predito mais a média original) em função dos valores genotípicos preditos para a variável DAP em testes clonais de <i>Eucalyptus</i> spp. aos cinco anos de idade nos municípios de Crisópolis e Jandaíra - Ba. Cruz das Almas - Ba, 2019. ....	92

## LISTA DE FIGURAS

Página

- Figura 1. Dados de média de precipitação pluviométrica (Prec mm) temperatura máxima (T<sub>máx</sub> °C), temperatura mínima (T<sub>min</sub> °C) e temperatura média (T<sub>med</sub> °C) no período de 2010 a 2013 para testes de progênies de *Eucalyptus urophylla*. a) Crisópolis - Ba; b) Jandaíra - Ba. Cruz das Almas – Ba, 2019. .... 40
- Figura 2. Boxplots comparando o desenvolvimento dos testes de progênies de *Eucalyptus urophylla* em função dos dois locais, Crisópolis-Ba e Jandaíra – Ba, para caracteres de crescimento. Cruz das Almas-Ba, 2019. .... 49
- Figura 3. Desempenho dos testes de progênies de *Eucalyptus urophylla* em função dos dois locais, Crisópolis-Ba e Jandaíra – Ba para as características volume com casca e diâmetro à altura do peito (DAP). Cruz das Almas - Ba, 2019. .... 50
- Figura 4. Dados de média de precipitação pluviométrica (Prec mm) temperatura máxima (T<sub>máx</sub> °C), temperatura mínima (T<sub>min</sub> °C) e temperatura média (T<sub>med</sub> °C) no período de 2010 a 2015 para testes clonais de *Eucalyptus* spp. a) Crisópolis - Ba; b) Jandaíra - Ba. Cruz das Almas – Ba, 2019. .... 79
- Figura 5. Boxplots comparando o desenvolvimento dos testes clonais de *Eucalyptus* spp. em função de dois locais, Crisópolis-Ba e Jandaíra – Ba, para caracteres de crescimento. Cruz das Almas, 2019. .... 87

## **MODELOS MISTOS NA SELEÇÃO DE PROGÊNIES E CLONES POTENCIAIS DE *Eucalyptus* NA BAHIA**

Autora: Isabella Santos Oliveira

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo

Co-orientador: Prof. Dr. Ricardo Franco Cunha Moreira

**RESUMO:** O gênero *Eucalyptus* é o mais utilizado em reflorestamento no Brasil devido o rápido crescimento, alta diversidade genética e infinitas possibilidades de utilização como matéria-prima. A vasta demanda por madeira reflete em expansão das áreas cultivadas deste gênero no norte e nordeste do Brasil, tornando crucial a correta seleção de indivíduos promissores à estas regiões. A predição de valores genéticos via modelos mistos com o método de Máxima Verossimilhança Restrita/ Melhor Predição Linear Não – Viciada (REML/BLUP) é considerado o mais adequado na seleção de progênies e clones de espécies florestais, na medida em que considera dados desbalanceados, comuns em testes de campo. O objetivo desta pesquisa foi selecionar genótipos potenciais tendo como base a estimativa de variabilidade e parâmetros genéticos em testes de progênies de *Eucalyptus urophylla* e clonais de *Eucalyptus* spp., instalados conforme regime hídrico, em Crisópolis (região de baixa precipitação, <1.000 mm anuais) e Jandaíra (região de alta precipitação, >1.200 mm anuais), estado da Bahia, por meio de modelos mistos REML/BLUP. As estimativas de variância e parâmetros genéticos foram obtidas aos três anos de idade nos testes de progênies e aos cinco anos de idade nos testes clonais para diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (ALT) e volume total com casca (VOL). Os testes de progênies foram conduzidos em delineamento em blocos incompletos (látice) no arranjo 7x7, sendo 49 progênies de meio-irmãos de *Eucalyptus urophylla* em cada local. Os testes clonais foram conduzidos em delineamento de blocos casualizados com 4 repetições, 30 árvores por parcela, sendo testados 51 clones de *Eucalyptus* spp. em Crisópolis e 24 em Jandaíra. O método de modelos mistos REML/BLUP permitiu identificar variabilidade genética, e selecionar progênies adaptadas às condições edafoclimáticas de baixa e alta precipitação. A variabilidade genética para ALT e DAP em Crisópolis e Jandaíra

foram significativos nos testes de progênies e clonais, entretanto para VOL não houve valor significativo pelo teste da razão de verossimilhança para Jandaíra nos testes de progênie e nas duas áreas nos testes clonais. Os valores de herdabilidade média entre progênies (55% para os testes de progênies e 71% para os testes clonais) indicam elevado controle genético na expressão dos caracteres analisados. Com base na característica DAP foram selecionadas na análise conjunta as progênies 27, 36, 37, 30, 28, 29, 39, 31, 48, 34, 32, 45, 41, 46 e 40, que poderão ser utilizados em reflorestamentos e aproveitados em programas de melhoramento genético. Destas as progênies 31, 45 não são indicadas para as regiões de baixa precipitação e solos mais arenosos, e as progênies 34, 32, 41, 46 e 40 não são as que apresentam melhor desempenho nas regiões de alta precipitação podendo ser utilizadas as progênies 13, 9, 24, 47, 21, 43 e 16. Os melhores clones com base no DAP foram 12, 9, 11, 13 e 16, comuns para as regiões de baixa e alta precipitação. Os genótipos 7, 14, 2, 17, 1, 6, 5, 24, 22, 18, 21, 10, 23, 4 e 20 não são recomendados para regiões de baixa precipitação e solos mais arenosos, nestes locais os genótipos 48, 29, 38, 50, 49, 46, 40, 42, 43, 8, 39, 37, 19, 34 e 29 poderão ser utilizados em reflorestamentos e aproveitados em programas de melhoramento genético.

**PALAVRAS – CHAVE:** Eucalipto, melhoramento genético, parâmetros genéticos

## **MIXED MODELS IN SELECTION OF PROGENES AND POTENTIAL CLONES OF *Eucalyptus* IN BAHIA**

Author: Isabella Santos Oliveira

Adviser: Prof. Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo

Co-Adviser: Prof. Dr. Ricardo Franco Cunha Moreira

**ABSTRACT:** The genus *Eucalyptus* is the most used in reforestation in Brazil due to its rapid growth, high genetic diversity and infinite possibilities of use as raw material. The vast demand for wood reflects the expansion of cultivated areas of this genus in northern and northeastern Brazil, making the correct selection of promising individuals to these regions crucial. Prediction of genetic values via mixed models with the Restricted Maximum Likelihood / Best Linear Unbiased Prediction (REML / BLUP) method is considered to be the most appropriate in the selection of progenies and clones of forest species, as it considers unbalanced data, common in field testing. The objective of this research was to select potential genotypes based on the estimation of variability and genetic parameters in tests of *Eucalyptus urophylla* progenies and *Eucalyptus* spp. in Crisópolis (region of low precipitation, <1,000 mm per year) and Jandaíra (region of high precipitation, > 1,200 mm per year), state of Bahia, using mixed REML / BLUP models. Estimates of variance and genetic parameters were obtained at the age of three in the progeny tests and at the age of five in the clonal tests for diameter at breast height (DBH), total height (ALT) and total volume (VOL). The progeny tests were conducted in an incomplete block design (lattice) in the 7x7 arrangement, with 49 half-sibling progenies of *Eucalyptus urophylla* in each site. The clonal tests were conducted in a randomized block design with 4 replications, 30 trees per plot, and 51 clones of *Eucalyptus* spp. in Crisópolis and 24 in Jandaíra. The REML / BLUP mixed model method allowed to identify genetic variability and to select progenies adapted to low and high precipitation edbhhoclimatic conditions. Genetic variability for ALT and DBH in Crisópolis and Jandaíra were significant in the progeny and clonal tests, however for VOL there was no significant value by the likelihood ratio test for Jandaíra in the progeny tests and in the two areas in the clonal tests. The average progeny heritability values (55% for progeny tests and 71% for clonal tests) indicate high

genetic control in the expression of the analyzed characters. Based on the DBH characteristic, progenies 27, 36, 37, 30, 28, 29, 39, 31, 48, 34, 32, 45, 41, 46 and 40 were selected in the joint analysis, which can be used in reforestation and breeding programs. Of these progenies 31, 45 are not indicated for the regions of low rainfall and more sandy soils, and progenies 34, 32, 41, 46 and 40 are not the ones that present the best performance in the regions of high precipitation, can be used as progenies 13, 9, 24, 47, 21, 43 and 16. The best clones were 12, 9, 11, 13 and 16, common for low and high rainfall regions. Genotypes 7, 14, 2, 17, 1, 6, 5, 24, 22, 18, 21, 10, 23, 4 and 20 are not recommended for regions with low rainfall and more sandy soils, where genotypes 48, 29, 38, 50, 49, 46, 40, 42, 43, 8, 39, 37, 19, 34 and 29 may be used in reforestation and used in breeding programs.

**KEY WORDS:** *Eucalyptus*, genetic improvement, genetic parameters

## INTRODUÇÃO GERAL

As florestas plantadas do Brasil representam uma área de 7,84 milhões de hectares, correspondente a 91% de toda madeira produzida para abastecimento das indústrias de laminados, painéis de madeira, celulose, papel, biorredutor e bens de consumo (construção civil, indústrias gráficas, moveleira, química, têxtil, farmacêutica) tendo consolidada sua posição no mercado mundial da *commodity* ocupando o segundo lugar no ranking mundial de produção de celulose (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, IBÁ 2018). Em 2016 segundo o Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF, 2018) o volume produzido pela silvicultura no Brasil foi de 226.606.576m<sup>3</sup>, cerca de 5 vezes maior à extração em florestas nativas (40.761.537m<sup>3</sup>).

Das espécies utilizadas nos reflorestamentos, destacam-se as do gênero *Eucalyptus* que no Brasil ocupam uma área de 5,7 milhões de hectares (BRANDANI et al., 2017; IBA 2018). O investimento no gênero observado nos últimos anos deve-se ao alto potencial de crescimento e adaptabilidade ao clima e solo brasileiro com o menor ciclo de rotação do mundo (BRISOLAL e DEMARCO, 2011; SOARES et al. 2017). O gênero ainda se destaca como alternativa promissora à extração em florestas nativas contribuindo para economia verde, estimando-se 1,7 bilhão de toneladas de CO<sub>2</sub>eq estocados em 2017 (IBÁ, 2018).

O nordeste do Brasil possui recente expansão em áreas produtivas de *Eucalyptus* em razão do aumento da demanda de madeira decorrente da criação de novas unidades de produção de papel, celulose e biorredutor (IBÁ, 2017), sendo conhecida como região MATOPIBA ou MAPITOBA, compreendem os estados Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia e que possuem limitações hídricas e nutricionais (MIRANDA et al., 2014). Considerando a elevada plasticidade fenotípica do gênero e que o desempenho em crescimento volumétrico e em qualidade é influenciado pela interação genótipo x ambiente (KONZEN et al., 2017) se faz importante estudos de estimativas de parâmetros genéticos que possibilitem a seleção de genótipos superiores para essas novas demandas do setor florestal brasileiro são imprescindíveis.

A produtividade florestal está diretamente relacionada aos estresses bióticos e abióticos em que o povoamento está inserido (SILVA et al., 2018), sendo

correspondente aos fatores de adaptabilidade dos genótipos as condições edafoclimáticas, ao melhoramento genético e ao manejo silvicultural apropriado (STAPE et al., 2010; GONÇALVES et al., 2017).

À água apresenta-se como um dos principais fatores limitantes de produtividade nos trópicos (STAPE et al., 2010; BINKLEY et al., 2017) interferindo em crescimento volumétrico e qualidade da madeira (CASTRO et al., 2018). Desta forma, estudos para seleção de materiais genéticos considerando o regime hídrico são necessários para possibilitar o direcionamento da produção madeireira em volume e qualidade adequados ao atendimento da demanda do mercado.

Em programas de melhoramento genético do eucalipto é constante a busca por métodos eficientes de seleção identificando genótipos com as características de interesse de acordo com aplicação (densidade, volume de madeira, volume de casca, quantidade de extrativos, entre outras) (ALVES et al., 2018). Segundo Resende (2016) uma das técnicas atuais de seleção envolve a metodologia de modelo misto a partir dos estimadores de máxima verossimilhança residual (REML) e a melhor predição linear não-viesada (BLUP).

O presente trabalho teve como objetivo selecionar genótipos potenciais tendo como base a estimativa de variabilidade e parâmetros genéticos em testes de progênies de *Eucalyptus urophylla* e clonais de *Eucalyptus* spp., instalados conforme regime hídrico em Crisópolis (região de baixa precipitação, <1.000 mm anuais) e Jandaíra (região de alta precipitação, >1.200 mm anuais), estado da Bahia, por meio de modelos mistos REML/BLUP.

## REFERENCIAL TEÓRICO

Como o enfoque principal da pesquisa é analisar a utilização de modelos mistos na seleção de progênies e genitores de *Eucalyptus*, ratificou-se a compreensão desta metodologia em conjunto com aspectos de interesse quanto às pesquisas já desenvolvidas em melhoramento genético de *Eucalyptus* a partir dos cinco itens a seguir:

## 1- Eucaliptocultura no Brasil

O gênero *Eucalyptus*, pertence à divisão Angiospermae, classe dicotiledônea, ordem Myrtales, família Myrtaceae (ASSIS e RESENDE, 2011) e apresenta mais de 600 denominações diferentes incluindo espécies e variedades (HIGA et al., 2000; RAPASSI et al., 2008; BERTI et al., 2011). Ocorre naturalmente na Austrália, Indonésia e Papua Nova Guiné, nas latitudes entre 13° e 43° e altitudes até 4.000 m no nível do mar, áreas de precipitações elevadas (superior a 1.200 mm anuais) até 300 mm anuais (FAO, 2000).

O gênero apresenta-se como de grande importância comercial no mundo (BOOTH et al., 2015) e no Brasil as espécies mais utilizadas para reflorestamento são *E. viminalis*, *E. benthamii*, *E. badjensis*, *E. dunnii*, *E. deanei*, *E. camaldulensis*, *E. citriodora*, *E. grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla*, *E. pilularis*, *E. robusta* (CASTRO, 2018).

Este gênero tem capacidade de adaptação à diversos climas e solos, desde regiões pantanosas até regiões de seca, solos de baixa e alta fertilidade, extrapolando as regiões de origem, devido a grande variabilidade genética (ELDRIDGE et al., 1993; ASSIS, 1996; HIGA et al., 2000; BERTI et al., 2011).

Devido a interação genótipo x ambiente, às espécies podem apresentar características diferentes em cada ambiente, devendo-se considerar a sua análise nos programas de melhoramento genético uma vez que podem resultar em diferentes classificações de genótipos para os locais em estudo (QUIQUIN et al., 2001; GEZAN et al., 2017). Desta forma, avaliar as espécies e procedências quanto às características de interesse considerando as respostas ao ambiente constitui-se como de grande importância em um programa de melhoramento genético.

As espécies do gênero *Eucalyptus* estão entre as de maior capacidade de produção em volume de madeira por unidade de área em um ciclo relativamente curto em relação às demais culturas florestais (BERTI et al., 2011). Com multiplicidade de usos, o gênero apresenta espécies adequadas para produção de celulose, papel, carvão, tábuas, chapas de fibras, aglomerados, postes, estruturas para construção civil, dormentes, biorredutor, lenha, óleos essenciais, e móveis (SCARPINELLA, 2002; IWARIRI et al., 2013; SOARES et al., 2015; BALLESTEROS et al., 2017) sendo o gênero mais propagado no mundo e não

obstante no Brasil que conforme dados do IBÁ (2018), dentre os 7,84 milhões de hectares de florestas plantadas, responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais 6,2% do PIB Industrial do país, cerca de 5,7 milhões de hectares são ocupados por plantios de eucalipto.

A eucaliptocultura no Brasil iniciou com o plantio das primeiras mudas no Rio Grande do Sul em 1868 por Frederico de Albuquerque, a partir das espécies *E. globulus*, *E. amygdalina* e *E. polyanthemo*, seguido pelo plantio em larga escala em 1909 em São Paulo pela Cia Paulista de Estradas de Ferro para produção de dormentes (GARCIA e MORA, 2000; WILCKEN et al., 2010). Hoje, o Brasil possui a maior coleção *ex-situ* de germoplasma de eucaliptos do mundo com incrementos em qualidade da floresta de forma quantitativa e qualitativa (PINTO-JÚNIOR et al., 2013).

O interesse científico neste gênero foi introduzido no Brasil no século XX com o engenheiro agrônomo Edmundo Navarro de Andrade, considerado o pai da eucaliptocultura no Brasil que desenvolveu os primeiros trabalhos experimentais do gênero e criou em 1916 no Horto Florestal de Rio Claro, o Museu do Eucalipto, único do gênero no mundo (FOEKEL, 2007). Na década de 60, foram desenvolvidas pesquisas no gênero impulsionadas pela implantação da Lei de Incentivos Fiscais (PEREIRA et al., 1997; LEÃO, 2000) e a seleção de árvores superiores com base nas características genéticas foi intensificada viabilizando o aumento das áreas de florestas plantadas (CASTRO et al., 2016). A partir de 1968 com a criação do IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais as pesquisas nas áreas de melhoramento genético e silvicultura serviram de base para que o setor florestal brasileiro alcançasse níveis significativos de produtividade nos plantios comerciais, com pesquisas voltadas a seleção clonal (GARCIA e MORA, 2000).

Em 1979 a empresa Aracruz estabeleceu a primeira plantação clonal de eucalipto no Brasil (GARCIA e MORA, 2000). Em 2015 a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) aprovou pela primeira vez no mundo a liberação comercial do eucalipto transgênico solicitada pela FuturaGene Brasil Tecnologia Ltda, empresa de biotecnologia da Suzano Papel e Celulose. A espécie, *Eucalyptus spp* L., possui um gene da planta *Arabidopsis thaliana*, e conforme

estudos da empresa o clone geneticamente modificado apresentou um acréscimo de 20% de produtividade em relação aos demais clones comerciais da empresa.

As florestas de eucalipto do Brasil quando comparado com outros países de produção apresentam excelentes níveis de produtividade ( $\text{m}^3/\text{ha}/\text{ano}$ ) e o menor ciclo de crescimento do mundo (BRACELPA, 2010). Na década de 80 a produtividade média do gênero era de  $24 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$  após décadas de pesquisas e incentivo ao desenvolvimento de técnicas de silvicultura, manejo (adubação, mecanização, controle de pragas e doenças) e melhoramento florestal (CAIXETA et al., 2003; ASSIS, 2014) a produtividade média nacional é de  $35,7 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  (IBÁ, 2018) em ciclos de corte entre cinco a sete anos (GOMIDE et al., 2005; IBÁ, 2018).

O interesse pela utilização da cultura do eucalipto como matéria-prima tem aumentado significativamente no Brasil com incremento considerável em número e montante de investimentos no setor, isto se deve, entre outros fatores, as restrições ao uso de madeira proveniente de florestas tropicais e a necessidade de diversificação das atividades nas indústrias de base florestal (CARRIJO et al., 2008; AGUIAR et al., 2010; ASSIS, 2014).

O solo e climas favoráveis para o cultivo (SOUZA et al., 2011), potencial para uso na silvicultura clonal em larga escala permitindo a geração de matérias-primas mais homogêneas e em quantidade e qualidade para melhor atender aos usos específicos e grande variabilidade inter e intra-específica do gênero com ampla aplicação nos mais diversos fins tecnológicos também são incentivadores do uso da cultura (ROSADO et al., 2012).

Pesquisas e desenvolvimento de técnicas biotecnológicas objetivando a análise e seleção de progênies e genitores potenciais são imprescindíveis para contribuir para maior produção de madeira por unidade de área, das espécies utilizadas no amplo comércio.

## **2 - Melhoramento genético do *Eucalyptus* spp. no Brasil**

O gênero *Eucalyptus* possui diversas aplicações como na serraria, energia, painéis de madeira, madeira reconstituída, papel e celulose (SANTOS et al., 2012). Devido ao aumento da demanda em madeira para processos, há a

necessidade da constante melhoria na qualidade aliada a um aumento em produtividade dos povoamentos florestais das espécies deste gênero (IBÁ, 2018). Desta forma, o melhoramento genético é um aliado na seleção de híbridos potenciais para geração de produtos específicos, sendo considerada uma das atividades mais importantes para a silvicultura (FONSECA et al., 2010a).

O gênero *Eucalyptus*, segundo Berti et al., (2011), possui diferenças entre e dentre espécies quanto às características de crescimento e qualidade de madeira, que permitem a seleção de materiais genéticos potenciais para as características desejáveis. O gênero ainda apresenta ampla plasticidade em relação à adaptação às características de solo, clima, regime pluviométrico que aliado ao rápido crescimento, vigor e ao grande número de procedências existentes permitem a seleção daquela mais adequada à região (GONÇALEZ et al., 2007).

O melhoramento genético de uma espécie depende do acerto na escolha dos melhores genótipos que serão os genitores das futuras gerações, com base nos princípios básicos de genética e estatística (CRUZ e CARNEIRO, 2003; MORAES et al., 2015). A escolha de espécies para determinada finalidade deve ser realizada a partir da análise do potencial de desenvolvimento das características florestais e industriais nas diversas regiões do país (BERTI et al., 2011; ASSIS, 2014).

O melhoramento florestal no Brasil desenvolveu-se a partir da década de 60, com avanços em pesquisas quanto à definição de espécies, procedências adaptadas aos ambientes de cultivo, adequação ao produto final, métodos de propagação, hibridação e silvicultura clonal possibilitando programar os cruzamentos a partir da indução floral em genitores enxertados e conduzidos em casas de vegetação (ROCHA et al., 2007). A seleção de clones com características silviculturais e tecnológicas têm sido o principal objetivo de estudo nos programas de melhoramento do gênero do país (NUNES et al., 2016).

No histórico do melhoramento genético do eucalipto no Brasil, houve a transição de plantios seminais para plantios clonais, com a intensificação atualmente, em estudos de análise de genótipos superiores adaptados a diferentes regiões do Brasil (FONSECA et al., 2010b). Esta seleção é baseada na eleição de genitores sendo os cruzamentos realizados dentro do programa de Seleção

Recorrente Recíproca (SRR) entre populações divergentes assim como a partir da Seleção Recorrente Intrapopulacional e Seleção Recorrente Intrapopulacional em População Sintética (SRIPS) (ASSIS e RESENDE, 2011).

Estimam-se que no período de 1970 a 2008 estima-se que devido o melhoramento genético do gênero os ganhos em produtividade foram de 5,7% ao ano (CASTRO et al., 2018), neste período ocorreu a intensificação de testes de progênies e SRI, tendo avanços desde 1990 devido os programas intensivos de hibridação e em 2000 a partir dos programas de SRR (KAGEYAMA e VENCONVSKY, 1983; ASSIS e RESENDE, 2011). Entretanto, os dados do IBÁ (2017) trazem ganhos genéticos no período de 2008 a 2014 no Brasil de apenas 0,3%. Isto pode ser explicado devido à perda natural em ganhos genéticos com a seleção, à interação genótipo/ambiente e déficit hídrico localizado em novas áreas de plantio de empresas de base florestal (NASCIMENTO, 2016; FENG et al., 2018).

Nos últimos anos observa-se expansão da área plantada deste gênero para outras regiões do Brasil, como a região Nordeste, devido incentivos governamentais e instalação de empresas de base florestal. Segundo Ibá (2018) dentre os 5,7 milhões de hectares plantados no Brasil com o gênero *Eucalyptus*, o Nordeste detêm cerca de 15% da área com 834 mil hectares de plantio.

Esta região possui temperatura mais elevada em relação às regiões Sudeste e Sul do Brasil e maior intensidade de déficit hídrico, principais agentes climáticos ligados ao estresse fisiológico que se relacionam com a redução da produtividade primária líquida das florestas tropicais (CLARK et al., 2013). Estas características devem ser analisadas quando na seleção de progênies adaptadas às condições de solo e clima, e que permitam a manutenção e elevação da produtividade do povoamento (ASSIS e MAFIA, 2007).

Paula et al. (2011) indicam que a expansão em área de plantio do gênero promove um dos grandes desafios dos melhoristas: Seleção de genótipos produtivos e adaptados as condições exógenas limitantes, como períodos de estiagem e temperaturas elevadas ou casos de geadas. Os autores ainda relatam que apesar das condições de longos períodos de estiagem, associada às altas temperaturas que intensificam o déficit hídrico, fator mais limitante ao crescimento do eucalipto, a ampla base genética e diversificação das espécies no Brasil, permite a utilização de espécies não comuns na hibridação interespecífica.

Reis e Paludzyszyn Filho (2011) e Pupin et al., (2015) reforçam a necessidade de pesquisas em melhoramento genético de genótipos de eucalipto adaptados a regiões de expansão, considerando o regime hídrico e características nutricionais do solo com incrementos em produtividade.

### **3- Componentes de variância genética**

O sucesso de um programa de melhoramento genético depende da quantidade de variação genética existente em uma população e do valor relativo desta variação em relação ao valor fenotípico total, sendo, portanto a variação genética a matéria-prima em programas de melhoramento genético a partir do qual seleciona-se materiais superiores geneticamente (VENCOVSKY, 1987; BERTI et al., 2011).

As etapas iniciais de um programa de melhoramento genético envolvem a pesquisa para conhecimento da população da base principal e a variabilidade genética (MORAES *et al.*, 2015). A primeira decomposição da variância genética foi realizada por Fisher, em 1918, em três componentes: soma dos efeitos aditivos, dominância e epistáticos (VENCOVSKY, 1987; BARONA *et al.*, 2009).

O parâmetro mais importante de análise em programas de melhoramento genético é a variância genética aditiva, sendo o principal indicador das características genéticas de uma população e resposta na seleção, componente crucial e determinante em um programa de melhoramento (VENCOVSKY e BARRIGA, 1992; FALCONER, 1996).

Vencovsky (1987) salienta que em ensaios genéticos podem ser calculados os componentes de variação de uma característica de três formas: 1) variação entre plantas dentro de parcelas; 2) variação em relação às diferenças ambientais entre as parcelas; 3) variação devido diferenças genéticas entre tratamentos e progênies. As variações 2) e 3) são favoráveis em um programa de melhoramento genético.

Os componentes de variância podem ser estimados pelo método de quadrados mínimos, em casos de dados balanceados ou pelo método da máxima verossimilhança restrita, em casos de dados desbalanceados, em que quanto maior o valor do Coeficiente de Variação Genética (CVg), maiores também são

as possibilidades de obtenção de ganhos genéticos na seleção de clones (RESENDE, 2000; RESENDE, 2007).

Entendendo-se que o resultado do ganho de seleção de uma população melhorada depende da diferença entre a média do grupo selecionado e a média da população original, o melhorista deverá manipular a população a ser melhorada considerando a diferenciação na seleção (BERTI et al., 2011).

Existem estudos considerando a variação genética em programas de melhoramento genético do gênero *Eucalyptus* em espécies e procedências de regiões tropicais, temperadas e subtropicais (TIBBITS et al., 2006). Moraes et al. (2007) em estudo com teste de progênies de *Eucalyptus camaldulenses* em Luiz Antônio – SP, verificaram coeficiente de variação menor para altura (3,36%), seguido de DAP (5,39) e pela forma do fuste (8,80%), desta forma o caráter forma do fuste foi o que se expressou como o de maior variação genética logo maior potencial para seleção.

#### **4 - Parâmetros genéticos**

Em programas de melhoramento genético as estimativas de parâmetros genéticos a partir dos testes de progênies têm sido utilizados como uma estratégia eficiente na geração de informações sobre o potencial genético dos indivíduos que serão selecionados e/ou recombinados (FERNANDES et al., 2004), identificando genótipos superiores na população de seleção.

Estimar os parâmetros genéticos a partir da seleção de indivíduos permite analisar a natureza da variância genética disponível e quantificar os ganhos com a seleção (COSTA et al., 2002). As estimativas de parâmetros genéticos permitem a obtenção de informações sobre o controle genético dos diferentes caracteres e a predição dos valores genéticos, importante na seleção de genótipos superiores (ZOBEL e TALBERT, 1984; ZHU et al., 2017).

Na análise de ganhos genéticos de uma espécie deve-se considerar a base genética a partir da acurácia na seleção de forma a evitar as possíveis perdas em variabilidade genética, uma vez que os ganhos genéticos são provenientes da variação genética herdável das populações e do controle genético dos caracteres de interesse (BERTI et al., 2011).

Dentre os parâmetros genéticos quantitativos, que são objetos de estudo em testes de progênies destacam-se a herdabilidade no sentido amplo e restrito, a repetibilidade e às associações entre os caracteres nas fases juvenil e adulta (COSTA, 2002).

Estudos de análise de progênies e clones de eucalipto gerando estimativas de herdabilidade para seleção de progênies foram realizados. Tolfo et al. (2005) a partir dos seus resultados em herdabilidade em estudos com clones de *Eucalyptus* spp. constataram a possibilidade de avanços genéticos em seleção devido o elevado controle genético na maioria dos caracteres. Rocha et al. (2006), em teste de progênies de meio-irmãos de *Eucalyptus* obteve como resultado para herdabilidade no sentido restrito 22% para DAP, 27% em altura e 21% em volume. Costa (2008) ao analisar testes clonais de *Eucalyptus* em Eunápolis na Bahia verificou 96% de herdabilidade do carácter volume no sentido amplo.

Henriques et al. (2017) no estudo de estimativas de parâmetros genéticos em progênies de *Eucalyptus urophylla*, para altura total das árvores, diâmetro à altura do peito (DAP), volume do fuste e densidade aparente do lenho aos 1, 2, 3, 5 e 7 anos de idade por meio de REML/BLUP verificaram forte controle genético dos caracteres analisados, com possibilidade de ganhos genéticos na seleção entre e dentro de progênies, tendo a herdabilidade média das progênies encontrada de 0,80 para altura, 0,67 para DAP, 0,72 para volume e 0,83 para densidade do lenho, aos 7 anos, e à acurácia de 87% para altura, 78% para DAP, 83% para volume e de 90% para densidade bem como para todos os caracteres nas idades posteriores a partir do segundo ano.

Pupin et al. (2017) ao analisarem os resultados das estimativas de parâmetros genéticos, correlações genéticas e ganhos com a seleção para caracteres de crescimento (diâmetro), espessura de casca e densidade básica da madeira em teste de progênies de polinização aberta com 33 genótipos e duas procedências (Rio Claro-SP e Três Lagoas-MS) de *Eucalyptus urophylla* com base no procedimento REML/BLUP, identificaram coeficiente de variação genética superior a 14% para a característica diâmetro, herdabilidade superior a 0,6 e acurácia superior a 78% para procedência de Três Lagoas, entretanto para qualidade da madeira a procedência de Rio Claro apresentou melhores resultados com estimativas de herdabilidade superior a 0,6 para densidade básica média da

árvore (DBM) e espessura média de casca do disco menor (ECD) e acurácia superior a 79%.

Oliveira et al. (2018) em estudo de seleção de *Eucalyptus saligna*, em três ambientes (Belo Oriente e Sabinópolis - MG e Lençóis Paulista – SP), utilizando o procedimento REML/BLUP, e considerando as estimativas dos parâmetros genéticos, verificou possibilidade na seleção sendo a interação GxA significativa e o ordenamento das melhores progênies diferentes para cada local, com correlação genotípica entre ambientes de 47%.

## 5 - Metodologia de Modelos Mistos

Dentre os procedimentos para estimar os parâmetros genéticos em testes de progênies e clonais destacam-se os métodos de modelos mistos (ROCHA et al., 2007; BERTI et al., 2011; DOURADO et al., 2018 ). Esta metodologia foi inicialmente proposta por Henderson (1949) e consiste na obtenção de predição dos valores genéticos corrigindo os efeitos aleatórios para os efeitos fixos do modelo, podendo ser expresso segundo Henderson (1974):

$$Y = X\beta + Zu + \varepsilon$$

Em que:

Y = vetor de dados;

X = matriz de incidência dos efeitos fixos;

$\beta$  = vetor de efeitos fixos a serem estimados;

Z = matriz de incidência dos efeitos genotípicos, tomados como aleatórios;

u= vetor de valores genotípicos, ou de efeitos aleatórios a serem preditos;

$\varepsilon$  = vetor de erros aleatórios associados a cada observação tal que  $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$

A partir da Metodologia de Modelos Mistos é possível obter o Melhor Preditor Linear não Viesado ou “Best Linear Unbiased Predictor” (BLUP) dos valores genéticos de cada indivíduo e o “Best Linear Unbiased Estimator” (BLUE) dos efeitos fixos. A utilização de modelos mistos é fundamental na predição de valores genéticos aditivos e genotípicos de indivíduos com potencial para seleção

em nível intra e inter-populacional (RESENDE, 2000) sendo empregado para seleção de melhores progênies em um programa de melhoramento genético na medida em que permite a estimativa dos componentes de variância e predição dos valores genéticos dos candidatos à seleção (RESENDE, 2007).

No Brasil os estimadores REML/BLUP estimadores vêm sendo utilizados no melhoramento de frutíferas (RESENDE e DIAS, 2000; FARIA NETO e RESENDE, 2001; PAIVA et al., 2002) e na seleção de progênies e testes clonais para espécies florestais como *Pinus* spp. (SANTOS et al., 2016), *Hevea brasilienses* (COSTA et al., 2008; DOURADO et al., 2018), *Bactris gasipaes* (RODRIGUES et al., 2017), *Acacia decurrens* (DUNLOP et al., 2005) e *Eucalyptus* spp. (ROCHA et al., 2006; ROCHA et al., 2007; COSTA et al., 2015; CORRÊA, et al., 2017) apresentando dentre os métodos de seleção a obtenção de resultados precisos eficiente ou superior ao método dos quadrados mínimos (MQM) (RESENDE, 2002b; RESENDE, 2007).

A utilização da combinação dos métodos REML/BLUP permite o delineamento dos programas de melhoramento genético maximizando os ganhos, sem contudo, reduzir a variabilidade genética no melhoramento a longo prazo (MORAES et al., 2008).

Em características de baixa herdabilidade o procedimento de Melhor Predição Linear Não – Viciada – BLUP (“*Best Linear Unbiased Prediction*”) tem sido empregado como o mais preciso em dados desbalanceados para quantificação de ganhos genéticos, acuidade, diferencial de seleção, tamanho efetivo populacional, eficaz na análise de variação genética e estimativa de parâmetros genéticos do eucalipto (RESENDE et al., 1996; CORRÊA et al. 2017; ZHU et al. 2017; ALVES et al. 2018).

O método BLUP conforme Harville (1977) pode ser descrito nas etapas: assume-se ou estima-se um valor inicial com a utilização das equações de modelo misto obtendo-se  $\hat{u}$  e  $\hat{\beta}$ ; obtêm-se a variância residual ou ambiental ( $\hat{\sigma}_e^2$ ) e a variância genotípica entre clones ( $\hat{\sigma}_g^2$ ); os valores obtidos são utilizados nas equações de modelo misto assumindo novos valores para  $u$  e  $\beta$ ; obtêm-se novamente a variância residual ou ambiental e genotípica, este processo se repete até a convergência; os valores finais de  $\hat{u}$  e  $\hat{\beta}$  são utilizados na predição dos valores

genotípicos dos clones/progênie a partir da expressão  $\hat{g}_{ik} = \hat{\beta}_i + \hat{u}_{ik}$  onde  $\hat{\beta}_i$  representa o efeito do clone/progênie  $i$  e  $\hat{u}_{ik}$  representa o efeito da planta  $k$  no clone/progênie  $i$ .

As equações de modelo misto pela metodologia BLUP sob modelo individual segundo Rosado et al. (2010) são representadas como:

$$\begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{a} \\ \hat{p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'W \\ Z'X & Z'Z + A^{-1} \lambda_1 & Z'W \\ W'Z & W'Z & W'W + I \lambda_2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ W'y \end{bmatrix};$$

$$\lambda_1 = \sigma_{ee}^2 / \sigma_p^2 = [1 - h^2 - p^2] / h^2; \quad \lambda_2 = \sigma_{ee}^2 / \sigma_p^2 = [1 - h^2 - p^2] / p^2;$$

$h^2 = \hat{\sigma}_a^2 / [\hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_p^2 + \hat{\sigma}_e^2]$  sendo a herdabilidade individual no sentido restrito no bloco;  $p^2 = \hat{\sigma}_p^2 / [\hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_p^2 + \hat{\sigma}_e^2]$  correlação do ambiente comum da parcela sendo  $\hat{\sigma}_a^2$  a variância genética aditiva,  $\hat{\sigma}_p^2$  a variância entre parcelas;  $\sigma_{ee}^2$  a variância ambiental entre famílias;  $\hat{\sigma}_e^2$  a variância residual (ambiental dentro de parcelas + não aditiva); e  $A$  a matriz de parentesco genético aditivo entre os indivíduos.

Nos casos em que a matriz de variância (covariância dos efeitos aleatórios) e matriz de variância (covariância dos erros aleatórios) não são conhecidas, os componentes de variância associados aos efeitos aleatórios podem ser estimados pelo método da Máxima Verossimilhança Restrita (REML) (RESENDE, 2007) tendo como função:

$$L = \frac{1}{2} (\log|C^*| + \log|R| + \log|G| + v \log \sigma_\varepsilon^2 + Y'Py / \sigma_\varepsilon^2)$$

em que:

$$V = R + ZGZ'; \quad P = V^{-1} - V^{-1}X(X'V^{-1}X)^{-1}X'V^{-1}$$

$v = N - r(x)$ : graus de liberdade para efeitos aleatórios, em que  $N$  é número total de dados e  $r(x)$  é o rank da matriz  $X$ .

$C^*$  = matriz dos coeficientes das equações de modelo misto.

A combinação dos métodos REML/BLUP tem sido considerado um procedimento adequado para a estimativa de valores genéticos e componentes

de variância na seleção de espécies florestais, na medida em que os valores genéticos dos efeitos aleatórios do modelo estatístico são preditos associando-se as características fenotípicas, com ajustes dos dados fixos e número irregular das parcelas, podendo-se portanto utilizar em dados balanceados e desbalanceados, fator este não considerado na análise via método de quadrados mínimos (NETO e RESENDE, 2001; RESENDE, 2007; REIS et al., 2011; DOURADO et al., 2018).

Na literatura há estudos com utilização do procedimento REML/BLUP em aplicação no gênero *Eucalyptus*. Rosado et al. (2010) avaliaram parâmetros genéticos e os ganhos preditos em famílias de meio-irmãos de *Eucalyptus urophylla*, aos 55 meses de idade, segundo diferentes métodos de seleção (seleção entre e dentro, seleção combinada e seleção com base em modelos mistos) para as variáveis diâmetro à altura do peito, altura total e volume com casca. Concluíram que as progênies apresentaram elevada variabilidade genética e herdabilidade nas características estudadas e identificou que a seleção por modelos mistos (BLUP) proporcionam estimativas de ganhos superiores a seleção entre e dentro com maior eficiência na escolha dos melhores indivíduos dentro da população.

Konzen et al. (2017) no estudo de variação genética em procedências de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage e *E. smithii* R. T. Baker, do sul do Brasil, verificaram que a metodologia de modelos mistos REML/BLUP permitiu prever ganhos genéticos nas variáveis diâmetro à altura do peito (DAP), altura e volume.

Henriques et al. (2017) em estudo de estimativas de parâmetros genéticos para caracteres silviculturais e densidade do lenho em teste de 77 progênies de *Eucalyptus urophylla* utilizando estimadores REML/BLUP, verificaram diferenças significativas entre os caracteres altura total das árvores, diâmetro à altura do peito (DAP), volume do fuste e densidade aparente do lenho aos 1, 2, 3, 5 e 7 anos de idade indicando possibilidade de obtenção de ganhos genéticos na seleção dentro e entre progênies.

Este trabalho foi dividido em dois artigos:

**ARTIGO 1** - Modelos mistos REML/BLUP na seleção de progênies de meio-irmãos de *Eucalyptus Urophylla* na Bahia.

**ARTIGO 2** - Modelos mistos REML/BLUP na seleção de clones de *Eucalyptus* spp. na Bahia.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A.V.; SOUSA, V. A.; SHIMIZU, J. Y. Seleção genética de progênes de *Pinus greggii* para formação de pomares de sementes. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.30, n. 62, p. 107-117, 2010.
- ASSIS, T.F. Melhoramento genético do eucalipto. **Informe Agropecuário**, Cidade Nova, v.189, n.185, p.32-51, 1996.
- ASSIS, T. F.; RESENDE, M. D. V. Genetic improvement of forest tree species. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 11, n. esp., p. 44-49, 2011.
- ASSIS, T.F. Melhoramento genético de *Eucalyptus*: desafios e perspectivas. Nova Lima: **Embrapa Florestas**, 2014.
- ALVES, R. S.; TEODORO, P. E.; DE RESENDE, M. D. V.; HENRIQUES, E. P.; SILVA, L. A.; CARNEIRO, P. C. S.; BHERING, L. L. Multiple-trait BLUP: a suitable strategy for genetic selection of *Eucalyptus*. **Tree Genetics & Genomes**, v. 14, n. 5, p. 77, 2018.
- BALLESTEROS J.E.M.; DOS SANTOS V.; MÁRMOL G.; FRÍAS M.; FIORELLI J. Potential of the hornification treatment on eucalyptus and pine fibers for fiber-cement applications. **Cellulose**, v. 24, n. esp., p. 2275–2286, 2017.
- BARONA, M. A. A., *et al.* Epistasia para a produção de grãos em soja. **Bragantia**, v.68, n.2, p.313-318, 2009
- BERTI, C. L. F.; FREITAS, M. L. M.; ZANATTO, A. C. S.; MORAIS, E.; MORAES, M. L. T.; SEBBENN, A. M. Variação genética, herdabilidades e ganhos na seleção para caracteres de crescimento e forma em teste de progênes de polinização aberta de *Eucalyptus cloeziana*. **Revista Instituto Florestal**, v. 23, n. 1, p. 1326, 2011.

BINKLEY, D.; CAMPOE, O.C.; ALVARES, C.A.; CARNEIRO, R.L.; CEGATTA, I.C.; STAPE, J.L. The interactions of climate, spacing and genetics on clonal *Eucalyptus* plantations across Brazil and Uruguay. **For. Ecol. Manag.** v. 405, n. esp.,p. 271-283, 2017.

BISON, O.; AGUIAR, A.M.; RESENDE, G.D.S.; RAMALHO, M.A.P. Inbreeding depression in *Eucalyptus* clones. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.4, p.459-464, 2004.

BOUVET, M.C.G.; SILVA, J.R.M.da; TRUGILHO, P.F.; ROSADO, S.C.da S.; FERNANDES, B.R. Ganho genético em propriedades físicas e mecânicas de clones de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, n. 76, p.13-19, dez. 2007.

BRACELPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. Relatório de Sustentabilidade 2010. Disponível em:

<http://www.sinpesc.com.br/images/publicacoes/02sustentabilidade.pdf>.

Acessado em 20/06/2018

BRANDINI, C.; GONÇALVES, J.; Rocha, J. H. T.; Godinho, T. D. O.; Wenzel, A. V. A.; Oil C and Al availability in tropical single and mixed-species of *Eucalyptus* sp. and *Acacia mangium* plantations. **Geoderma Regional**, v.10, s/n, p. 85–92, 2017.

BRISOLAL, S. H.; DEMARCO, D. Análise anatômica do caule de *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* e *E. grandis x urophylla*: desenvolvimento da madeira e sua importância para a indústria. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 91, p. 317-330, 2011.

BOOTH T.H.; BROADHURST L.M.; PINKARD E.; PROBER S.M.; DILLON S.K.; BUSH D.; PINYOPUSARERK K.; DORAN J.C; IVKOVICH M.; YOUNG AG. Native forests and climate change: lessons from eucalypts. **Forest Ecology and Management**, v.347, p.18–29, 2015.

CAIXETA, R. P. et al. Variações genéticas em populações de *Eucalyptus* spp. detectadas por meio de marcadores moleculares. **Revista Árvore**, v. 27, n. 3, p. 357-363, 2003.

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**, v. 46, n.9, p.1585-1593, 2016.

CASTRO, C. E. C. de; SILVA, P. H. M. da; ARAÚJO, M. J.de; MIRANDA, A. C., MORAES, M. L. T.de; PAULA, R. C. de. Adaptabilidade, estabilidade e produtividade de progênies de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Scientia Forestalis**, v. 46, n. 118, p. 157-166, 2018.

CARRIJO, P.R.M.; BOTREL, M.C.G.; FAGUNDES, R.S. Avaliação da distribuição da normalidade dos dados do diâmetro à altura do peito em florestas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden na região de Cascavel – PR. **Cultivando o Saber Cascavel**, v.1, n.1, p.95- 106, 2008.

CORRÊA T.R.; PICOLI E.A.T.; SOUZA G.A.; CONDÉ S.A., SILVA N.M.; LOPES-MATTOS K.L.B.; RESENDE M.D.V.; ZAUZA E.A.V.; ODA S. Phenotypic markers in early selection for tolerance to dieback in *Eucalyptus*. **Industrial Crops and Products**, v.107, p.130–138, 2017.

COSTA, R. D., RESENDE, M. D., GONÇALVES, P. D. S., & SILVA, M. D. A. Individual multivariate REML/BLUP in the presence of genotype x environment interaction in rubber tree (*Hevea*) breeding. **Crop breeding and Applied Biotechnology**, v. 2, n. 1, p. 131-140, 2002.

COSTA, R. B. da; RESENDE, M. D. V.; GONÇALVES, P. D. S.; RODRIGUES ROA, R. A. Variabilidade genética e seleção para caracteres de crescimento da seringueira. **Embrapa Florestas**, 2008.

COSTA, R. B.; MARTINEZ, D. T.; SILVA, J. C.; ALMEIDA, B. C. Variabilidade e ganhos genéticos em progênie de *Eucalyptus camaldulensis* utilizando diferentes métodos de seleção. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 58, p. 69-74, 2015.

CLARK D.A.; CLARK D.B.; OBERBAUER S.F. Field-quantified responses of tropical rainforest aboveground productivity to increasing CO<sub>2</sub> and climatic stress, 1997–2009. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 118, n. 2, p. 783-794, 2013.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento de plantas. **Viçosa: UFV**, v. 2, 2003.

DOURADO, C. L.; MORAES, M. A.; ALVES, P. F.; KUBOTA, T. Y. K.; SILVA, J. R.; MOREIRA, J. P.; SILVA, A. A.; CAMBUIM, J.; GONÇALVES, P. S.; MORAES, M. L. T. Selection strategies for growth characters and rubber trees in Brazil. **Industrial Crops and Products**, v. 118, p. 118-124, 2018.

DUNLOP, R. W.; RESENDE, M. D. V.; BECK, S. L. Early assessment of first year height data from five *Acacia mearnsii* (blackwattle) sub-populations in South Africa using REML/BLUP. **Silva e Genetica**, v. 54, p. 166-174, 2005.

ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, J.; HARDWOOD, H.; WYK, G. van. Eucalypt domestication and breeding. **Oxford: Clarendon**, 1993. 288 p.

FALCONER, D. S. **Introduction to quantitative genetics**. 3rd. ed. Longman: Harlow, 1989. 438 p.

FARIAS NETO, J.T; RESENDE, M.D.V. Aplicação da metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) na estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos em pupunheira (*Bactris gasipaes* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.23, n.2, p.320-324, 2001.

FERNANDES, J.S.C.; RESENDE, M.D.V.; STURION, J.A.; MACCARI Jr., A. Estudo comparativo de delineamentos experimentais para estimativas de parâmetros genéticos em erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. – Hil.). **Revista Árvore**, v.28, n.5, p.663-671, 2004.

FENG X.; URIARTE M.; GONZÁLEZ G.; REED S.; THOMPSON J.; ZIMMERMAN J.K.; MURPHY L. Improving predictions of tropical forest response to climate change through integration of field studies and ecosystem modeling. **Global change biology**, v. 24, n. 1, 2018.

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

FOEKEL, C. As plantações de florestas no Brasil. In: BORÉN, A. (Ed). **Biotecnologia florestal**. Viçosa: UFV, 2007. P. 13-24.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Global forest resources assessment 2000**. FAO Forestry Paper. 2000. 479 p. Disponível em: <<http://www.fao.org/forestry/fo/fra/main/index.jsp>>. Acesso em: 17 nov. 2018.

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

FONSECA, R.R.G.; GONÇALVES, F.M.A.; ROSSE, L.N.; RAMALHO, M.A.P.; BRUZI, A.T.; REIS, C.A.F. Realized heritability in the selection of *Eucalyptus* spp. trees through progeny test. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.10, p.160-165, 2010b.

GARCIA, C.H.; MORA, A. L. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo, SP: Sociedade Brasileira de Silvicultura. 2000. 103 p.

GRAY L.K.; HAMANN A.; JOHN S.; RWEYONGEZA D.; BARNHARDT L.; THOMAS B.R. Climate change risk management in tree improvement programs: selection and movement of genotypes. **Tree genetics & genomes**, v. 12, n. 2, p. 23, 2016.

GEZAN S.A.; CARVALHO M.P.; SHERRILL J. Statistical methods to explore genotype-by environment interaction for loblolly pine clonal trials. **Tree Genetics & Genomes**, v. 13, n. 1, p. 1, 2017.

GONÇALEZ, J.C.; BREDA, L.C.S.; BARROS, J.F.M.; MACEDO, D.G.; JANIN, G.; COSTA, A.F.; VALLE, A.T. Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciência Florestal**, v.16, p.329-341, 2007.

GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A., SOUZA, A. H. B. N.; ARTHUR JUNIOR, J. C. Caracterização edafoclimática e manejo de solos das áreas com plantações de eucalipto. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. **Silvicultura do Eucalipto no Brasil**. 2016. Santa Maria: Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência-Editora UFSM, 2016. cap. 4.

GONÇALVES, J.L., ALVARES, C.A., ROCHA, J.H.T., BRANDANI, C.B. AND HAKAMADA, R. 2017. Eucalypt plantation management in regions with water stress. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 79, n. 3, p. 169-183, 2017.

GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C. DE; SILVA, C. M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, p. 129-137, 2005.

HARVILLE, D.A. Maximum likelihood approaches to variances, componente estimation and to related problems. **Journal of the American Statistical Association**, v. 72, p. 320 – 340, 1977.

HENDERSON, C.R. Estimation of changes in herd environment. **Journal of Dairy Science**, v.32, p. 709, 1949.

HENDERSON, C.R. General flexibility of linear models for sire evaluation. **Journal of Dairy Science**, v.57, n.8, p.963-972, 1974.

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, R. C. V.; MORA, A. L.; HIGA, A. R. **Plantio de eucalipto na pequena propriedade rural**. EMBRAPA, documentos, 54, Colombo, 2000.

IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório IBÁ 2016. Brasília: Industria Brasileira de Árvores, 2017. 100 p.

IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório IBÁ 2017**. Brasília: Industria Brasileira de Árvores, 2018. 100 p.

Disponível em:

<[https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2017.pdf](https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf)> Acessado em 20/11/2018.

IWAKIRI, S. *et al.* Evaluation of the Use Potential of Nine Species of Genus *Eucalyptus* For Production of Veneers and Plywood Panels. **Cerne**, v. 19, n. 2, p. 263-269, 2013.

KAGEYAMA, P.Y.; VENCOVSKY, R. Variação genética em progênies de uma população de *Eucalyptus grandis* Hill Maiden. **IPEF**, v.24 p.9-26. 1983

KONZEN, E. R.; NAVROSKI, M. C.; PEREIRA, M. D. O.; NASCIMENTO, B.; MENEGUZZI, A.; SOUZA, P. F. D. GENETIC VARIATION FOR GROWTH

VARIABLES OF *Eucalyptus benthamii* MAIDEN & CABBAGE AND *E. smithii* RT BAKER PROVENANCES IN SOUTHERN BRAZIL. **Cerne**, v. 23, n. 3, p. 359-366, 2017.

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

MIRANDA, E.E.; MAGALHÃES, L.A.; CARVALHO, C.A. **Proposta de delimitação territorial do MATOPIBA**. Campinas: Embrapa, 2014. 18p. (Embrapa. Nota técnica, 1).

MORAES, B.de; CARVALHO, E.V. de; ZIMBACK, I.; LUZ, O. L. S. dos; PIERONI, G.B; MORI. E. S. LEAL, T. C. A. de B.; Variabilidade genética em progênes de meio-irmãos de eucaliptos para tolerância ao frio. **Revista Árvore**, v. 39, n. 6, 2015.

MORAES, C.B; TAMBARUSSI, V.E.; GAMA, L.; ABILIO, F. M.; ZIMBACK, L.; PAULA, R. C.; MORI, E. Controle genético para a tolerância a geada em progênes de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, p. 373-381, 2016.

NASCIMENTO, F. R. D. Os semiáridos e a desertificação no Brasil. **REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 9, n. 2, p. 7-25, 2016.

NETO, J. T. F.; RESENDE, M. D. V. Aplicação da metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) na estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos em pupunheira (*Bactrisgasipaes*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 2, p. 320-324, 2001.

NUNES A.C.P, SANTOS G.A.; RESENDE M.D.V.; SILVA LD, HIGA A .; ASSIS T.F.; Estabelecimento de zonas de melhoramento para clones de eucalipto no Rio Grande do Sul. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 111, p.563-574, 2017.

OLIVEIRA, T. W. G. D.; PAULA, R. C. D.; MORAES, M. L. T. D.; ALVARES, C. A.; MIRANDA, A. C.; SILVA, P. H. M. D. Stability and adaptability for wood volume in the selection of *Eucalyptus saligna* in three environments. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 5, p. 611-619, 2018.

PAIVA, J.R.; RESENDE, M.D.V.; CORDEIRO, E.R. Índice multiefeitos (BLUP) e estimativas de parâmetros genéticos aplicados ao melhoramento da acerola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.6, p.799 – 807, 2002.

PAULA, R.C.; PAULA, N.F.; MARINO, C.L. Melhoramento de espécies perenes para condições de estresses abióticos. In: **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. FRIESCHENETO, R.; BÓREM, A. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011, p.227-250.

PEREIRA, A.B.; MARQUES JÚNIOR, O.G.; RAMALHO, M.A.P.; ALTHOFF, P. Eficiência da seleção precoce em famílias de meio-irmãos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, na região noroeste do Estado de Minas Gerais. **Revista Cerne**, v.3, n.1, 1997.

PINTO-JÚNIOR, J.E.P.; SANTOS, P.E.T.; AGUIAR, A.V.; KALIL-FILHO, A.A.; PIRES, I.E.; RESENDE, M.D.V.; SILVA, R.L.; RESENDE JR., M.R.R. Genética florestal. Viçosa-MG: **Arka**, 2011. 318p.

PUPIN, S.; SANTOS, A. V. A.; ZARUMA, D. U. G; MIRANDA, A. C; SILVA, P. H. M; MARINO, C. L; SEBBENN, A. M.; MORAES, M. L. T. PRODUTIVIDADE, ESTABILIDADE E ADAPTABILIDADE EM PROGÊNIES DE POLINIZAÇÃO ABERTA DE *Eucalyptus urophylla* S.T. BLAKE. **Scientia Forestalis** (IPEF), v. 43, p. 01-0, 2015.

PUPIN, S.; ZARUMA, D. U. G.; SOUZA, C. S.de; CAMBUIM, J.; COLETO, A. L.; ALVES, P. F.; MORAES, M. L. T.de. Parâmetros genéticos para caracteres de crescimento, espessura de casca e densidade básica da madeira em progênies

de *Eucalyptus urophylla* ST Blake. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 115, p. 455-465, 2017.

QUIQUIN, E. M. D.; MARTINS, S.S.; SHIMIZU, J.Y. Avaliação de espécies e procedências de *Eucalyptus* para o Noroeste do Estado do Paraná Maringá, **Embrapa Florestas**, v. 23, n. 5, p. 1173-1177, 2001.

RAPASSI, R. M. A. et al. Cultura do eucalipto na região de Suzanápolis, Estado de São Paulo: Análise econômica. **Informações Econômicas**, v. 38, n. 4, 2008.

REIS, C. A. F.; PALUDZYSZYN FILHO, E. **Estado da arte de plantios com espécies de interesse para o Mato Grosso**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 63 p. (Série Documentos).

REIS, C. A. F.; GONÇALVES, F. M. A.; RAMALHO, M. A. P.; ROSADO, A. M. Seleção de progênies de eucalipto pelo índice Z por MQM e Blup. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 46, n. 5, p. 517-523, 2011.

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**, n. 32/33, p. 18-45, 1996.

RESENDE, M.D.V.; DIAS, L.A.S. Aplicação da metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) na estimativa de parâmetros genéticos e predição de valores genéticos em espécies frutíferas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.22, n.1, p. 44-52, 2000.

RESENDE, M.D.V. SELEGEN-REML/BLUP. **Seleção genética computadorizada: manual do usuário**. Colombo: EMBRAPA–CNPQ, 2002a. 67p.

RESENDE, M.D.V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002b. 920p.

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

RESENDE M.D.V.; RAMALHO M.A.P.; CARNEIRO P.C.S.; CARNEIRO J.E.S.; BATISTA L.G.; GOIS I.B. Selection index with parents, populations, progenies, and generations effects in autogamous plant breeding. **Crop Science**, v.56, p. 530–546. 2016.

ROCHA, M. G.B.; PIRES, I.E.; ROCHA, R.B.; XAVIER, A.; CRUZ, C.D. Avaliação genética de progênies de meio-irmãos de *Eucalyptus grandis* por meio dos procedimentos REML/BLUP e da Anova. **Scientia Forestalis**, n.71, p.99-107, ago. 2006.

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 produção de híbridos interespecíficos utilizando REML/BLUP e informação de divergência genética. **Revista Árvore**, v.3, n.6, 2007.

RODRIGUES, H. S.; CRUZ, C. D.; MACÊDO, J. L. V.; RESENDE, M. D. V.; BORÉM, A. Genetic variability and progeny selection of peach palm via mixed models (REML/BLUP). **Acta Scientiarum**, v. 39, n. 2, p. 165-173, 2017.

ROSADO, A. M. ROSADO, T. B.; JÚNIOR, M. F. R. R.; BHERING, L. L., & CRUZ, C. D.; Ganhos genéticos preditos por diferentes métodos de seleção em progênies de *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 12, p. 1653-1659, 2010.

ROSADO, A.M.; ROSADO, T.B.; ALVES, A.A.; LAVIOLA, B.G.; BHERING, L.L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade,

estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.7, p.964-971, 2012.

SANTOS S.A.O.; VILLAVARDE J.J.; FREIRE C.S.R.; DOMINGUES M.R.M.; NETO C.P.; SILVESTRE A.J.D. Phenolic composition and antioxidant activity of *Eucalyptus grandis*, *E. urograndis* (*E. grandis* × *E. urophylla*) and *E. maidenii* bark extracts. **Industrial Crops and Products**, v. 39, p. 120-127, 2012.

SANTOS, W.; SOUZA, D. C. L.; MORAES, M. L. T.; AGUIAR, A. V. Genetic variation of wood and resin production in *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barret e Golfari. **Silva e Genetica**, v. 65, p. 31-37, 2016.

SFB – Serviço Florestal Brasileiro – Sistema Nacional de Informações Florestais – SNIF. Boletim de Recursos Florestais – 2017. Disponível em: <[http://www.florestal.gov.br/snif/images/Publicacoes/boletim\\_snif\\_2017.pdf](http://www.florestal.gov.br/snif/images/Publicacoes/boletim_snif_2017.pdf)>. Acessado em 20/05/2019.

SCARPINELLA, G.D. **Reflorestamento no Brasil e o protocolo de Quioto**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002.

SILVA, P.; BRUNE, A.; ALVARES, C.; AMARAL, W.; TEIXEIRA, M.; GRATTAPAGLIA, D.; PAULA, R. C. D. Selecting for stable and productive families of *Eucalyptus urophylla* ST Blake across a country wide range of climates in Brazil. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 49, n. 1, p. 87-95, 2018.

SOARES, V.C.; BIANCHI, M.L.; TRUGILHO, P.F.; HÖFER, J.; PEREIRA, A.J. Análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto em três idades. **Cerne**, v. 21, n. 2, p. 191-197, 2015.

SOARES, I. D.; AUER, C. G.; DOS SANTOS, Á. F.; TAMBARUSSI, E. V.; REZENDE, E. H.; DO VALLE COELHO, T. A.; DUIN, I. M. FUNGOS ASSOCIADOS À MANCHA FOLIAR EM *Eucalyptus benthamii* Maiden et

Cambage NA REGIÃO SUL DO BRASIL. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 2, n. 2, p. 32-37, 2017.

SOUZA, C. S et al. Estimativas de parâmetros genéticos para caracteres quantitativos em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urophylla*. **Floresta**, v. 41, n. 4, 2011.

STAPE, J.L. et al. The Brazil *Eucalyptus* Potential Productivity Project: Influence of water, nutrientes and stand uniformity on wood production, **Forest Ecology and Management**, v.259, p.1684-1694, 2010.

TIBBITS, N.W.; WHITE, T.L.; HODGE, G.; BORRALHO, N.M.G.A. Genetic variation in frost resistance of *Eucalyptus globulus* ssp. *Globulus* assessed by artificial freezing in winter. **Australian Journal of Botany**, v.54, n.6, p.521-529, 2006.

TOLFO, A.L.T.; PAULA, R.C. de; BONINE, C.A.V.; BASSA, A. VALLE, C.F.do. Parâmetros genéticos para caracteres de crescimento, de produção e tecnológicos da madeira em clones de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**, n.67, p. 101-110, 2005.

MORAES, M.L.T.; ZANATTO, A.C.S.; MORAIS, E.; SEBBENN, A.M.; FREITAS, M.L.M. Variação genética para caracteres silviculturais em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus camaldulensis* em Luiz Antônio-SP. **Revista Instituto Florestal**, v.19, n.2, p.113-118, 2007.

WILCKEN, C. F.; SOLIMAN, E. P.; SÁ, L. A. N.; DIAS, T. K. R.; FERREIRA-FILHO, P. J.; OLIVEIRA, R. J. R. Bronze bug *Thaumastocoris peregrinus* Carpintero and Dellapé (Hemiptera: *Thaumastocoridae*) on *Eucalyptus* in Brazil and its distribution. **Journal of Plant Protection Research**, v. 50, n. 2, p. 201-205, 2010.

VENCOVSKY, R Tamanho efetivo populacional na coleta e preservação de germoplasma de espécies alogamas. **IPEF**, v.35, p.79-84, 1987.

VENCOSVSKY, R.; BARRIGA, P. Genética biométrica no fitomelhoramento. Ribeirão Preto: **Sociedade Brasileira de Genética**, 1992, 496p.

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

ZHU Y.; WU S.; X.U J.; LU Z.; LI G.; HU Y.; YANG X.; BUSH D. Genetic parameters for growth traits and stem-straightness in *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis* hybrids from a reciprocal mating design. **Euphytica**, v. 213(7), p.142. 2017

## ARTIGO 1

### MODELOS MISTOS REML/BLUP NA SELEÇÃO DE PROGÊNIES DE MEIO-IRMÃOS DE *Eucalyptus urophylla* NA BAHIA<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Artigo a ser ajustado para posterior submissão ao Comitê Editorial do periódico científico CERNE, em versão na língua inglesa.

## MODELOS MISTOS REML/BLUP NA SELEÇÃO DE PROGÊNIES DE MEIO-IRMÃOS DE *Eucalyptus urophylla* NA BAHIA

AUTORA: Isabella Santos Oliveira

ORIENTADOR: Prof. Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Ricardo Franco Cunha Moreira

**RESUMO:** O *Eucalyptus* devido características favoráveis ao cultivo no Brasil como ciclo de rotação curto em relação à outros países, elevada diversidade genética e ampla gama de aplicações como matéria-prima, é hoje o gênero mais plantado em programas de reflorestamento. As fronteiras agrícolas do gênero no país foram ampliadas nas regiões do norte e nordeste em consequência ao aumento da demanda por matéria-prima e dos elevados preços nas terras das regiões do sul e sudeste do Brasil. O estudo de progênies e clones potenciais às novas regiões é importante na seleção de genótipos promissores adaptados às diferentes condições edafoclimáticas. O método de predição de valores genéticos via método de modelos mistos REML/BLUP é considerado o mais adequado na avaliação de testes de progênies de *Eucalyptus* ao considerar dados desbalanceados, situação comum nos testes de campo. O objetivo desta pesquisa foi estudar os parâmetros e variabilidade genética, e selecionar potenciais progênies de *Eucalyptus urophylla* em populações plantadas, conforme regime hídrico em Crisópolis (região de baixa precipitação) e Jandaíra (região de alta precipitação), estado da Bahia, nordeste do Brasil. As estimativas de variância e parâmetros genéticos foram estimadas por meio do método de modelos mistos REML/BLUP, aos três anos de idade, para diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (ALT) e volume total com casca (VOL). Os testes foram conduzidos em delineamento em blocos incompletos (látice) no arranjo 7x7, sendo testadas em cada local, 49 progênies de meio-irmãos de *Eucalyptus urophylla*. O método de modelos mistos REML/BLUP permitiu identificar variabilidade genética, e, portanto a possibilidade de selecionar progênies adaptadas às condições edafoclimáticas de baixa e alta precipitação. A presença de variabilidade genética foi detectada para os caracteres ALT e DAP nas duas áreas, entretanto VOL em Jandaíra-Ba não obteve valores significativos

estatisticamente. Os valores de  $CV_{gi}$  foram superiores a 10% para todas as características analisadas em Crisópolis – Ba e para ALT e DAP em Jandaíra-Ba, confirmando a possibilidade de seleção entre progênies. Os valores de  $\hat{h}_m^2$  para os dois locais tiveram média de 55%, sendo superior a herdabilidade dentro das progênies, indicando que a seleção com base nas médias entre as progênies deverá ser mais eficiente que a seleção dentro de progênies. Com base na característica de crescimento DAP foram selecionadas na análise conjunta as progênies 27, 36, 37, 30, 28, 29, 39, 31, 48, 34, 32, 45, 41, 46 e 40, e poderão ser utilizados em reflorestamentos e aproveitados em programas de melhoramento genético. Destas, as progênies 31, 45 não são indicadas para as regiões de baixa precipitação (<1.000 mm anuais) e solos mais arenosos e as progênies 34, 32, 41, 46 e 40 não são as que apresentam melhor desempenho nas regiões de alta precipitação (>1.200 mm anuais), podendo ser utilizadas as progênies 13, 9, 24, 47, 21, 43 e 16.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eucalipto, melhoramento genético, parâmetros genéticos

## **MIXED REML/BLUP MODELS IN THE SELECTION OF PROGENIES OF MIDDLE-BROTHERS OF *Eucalyptus urophylla* IN BAHIA**

AUTHOR: Isabella Santos Oliveira

ADVISER: Prof. Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo

CO-ADVISER: Prof. Dr. Ricardo Franco Cunha Moreira

**ABSTRACT:** *Eucalyptus* due to favorable characteristics for cultivation in Brazil, such as a short cycle of variation in relation to other countries, high genetic diversity and wide range of applications as raw material, today is the genus most planted in reforestation programs. The country's agricultural frontiers have been widened in the northern and northeastern regions as a result of increased demand for raw materials and high land prices in southern and southeastern Brazil. The study of progenies and clones selected for the new regions is important in the selection of promising genotypes adapted to different edaphoclimatic conditions. The method of predicting genetic values through the REML / BLUP mixed model method is considered the most appropriate method for evaluating *Eucalyptus* progeny tests when considering unbalanced data, a common situation in field tests. The objective of this research was to study the genetic variability parameters, and to select the eucalyptus urophyll progenies in planted plants, according to the water regime in Crisópolis (low precipitation region) and Jandaíra (high temperature region), Bahia state, northeast of Brazil. How to select variation and genetic parameters were estimated using the REML/BLUP mixed model method, up to three years old, for breast height (DBH), total height (ALT) and total shell volume (VOL). The tests were conducted in an incomplete block design (lattice) with 7x7 arrangement, and 49 progenies of *Eucalyptus urophylla* half siblings were tested at each site. The REML / BLUP mixed model method allows the identification of genetic variation and therefore the progenies adapted to low and high temperature edaphoclimatic conditions. The presence of genetic variability was detected for the characters ALT and DAP in two areas, but VOL in Jandaíra-Ba did not register statistically stored values. CVgi values were higher than 10% for all resources analyzed in Crisópolis - Ba and for ALT and DAP in Jandaíra-Ba, confirming the possibility of progeny

selection. The values of  $\hat{h}_m^2$  for two sites with an average of 55%, being superior heritability within progenies, indicate that selection based on progeny media may be more efficient than selection within progenies. Based on the DAP growth resource, progenies 27, 36, 37, 30, 28, 29, 39, 31, 48, 34, 32, 45, 41, 46 and 40 were selected for joint analysis. Reforestation and harnessed in breeding programs. Of these, as progenies 31, 45 are not indicated for regions of low rainfall (<1,000 mm) and more sandy soils and as progenies 34, 32, 41, 46 and 40 are not as the best regions of high surveillance (> 1,200 mm) can be used as progenies 13, 9, 24, 47, 21, 43 and 16.

**KEY WORDS:** *Eucalyptus*, genetic improvement, genetic parameters

## INTRODUÇÃO

No Brasil, em 2017 o setor florestal contribuiu com 6,1% do PIB Industrial no país e consolidou-se como um importante segmento para a construção de uma economia mais verde (MORAES et al., 2016; IBÁ, 2018). Desde 2013, para cada hectare de árvores plantadas no Brasil US\$ 7,4 milhões anuais foram adicionados ao PIB ocupando a segunda posição mundial em celulose e a sexta posição na produção de papel (IBÁ, 2018). Este cenário tende a se alterar com a ampliação das indústrias de base florestal e consequente aumento da demanda em matéria-prima (BALDIN et al., 2017).

Os elevados preços nas terras das regiões do sul e sudeste do Brasil e a crescente demanda em madeira tornou necessário à ampliação das fronteiras agrícolas do gênero (GONÇALVES et al., 2016). As regiões norte, nordeste e centro-oeste do Brasil, são áreas em expansão de plantios de eucalipto, apesar de possuírem clima tropical favorável ao cultivo, apresentam um forte fator limitante na produção, o déficit hídrico (STAPE, 2010; CLARK et al., 2013). Desta forma, tornam-se imprescindíveis pesquisas direcionadas para obtenção de materiais genéticos potenciais em produtividade e qualidade adaptados a essas regiões (MIRANDA et al., 2015; PUPIN et al., 2015).

A correta seleção de genótipos superiores em programas de melhoramento genético de *Eucalyptus* envolve a acurácia nas análises dos dados. Segundo Resende (2016) a análise tradicional com a utilização da ANOVA acarreta em estimativas enviesadas que não consideram o desbalanceamento dos dados. Em testes de progênies e clonais para predição dos parâmetros genéticos e maximização dos ganhos genéticos, considerando a limitação da estatística clássica, a utilização do procedimento de melhor predição linear não-viesada (BLUP) aliado à máxima verossimilhança restrita (REML) é a mais adequada (OLIVEIRA et al., 2018).

Assim, o presente trabalho teve como objetivo a estimação dos componentes de variância genética e parâmetros genéticos via modelos mistos em teste de progênie de *Eucalyptus urophylla* analisados em dois municípios do estado da Bahia, conforme regime hídrico.

## MATERIAL E MÉTODOS

### *Material experimental*

Foram utilizados dois testes de progênies de meio-irmãos de *Eucalyptus urophylla*, contendo 49 progênies cada. Os pais de *E. urophylla* são seleções de uma população não melhorada de diferentes procedências das ilhas indonésias. Cada parcela representa um material genético, sendo os mesmos para os dois ambientes analisados. As tabelas 1 e 2 apresentam os números médios de indivíduos ( $\bar{n}$ ), altura total média (H) e diâmetro à altura do peito DAP (m) por progênie de *Eucalyptus urophylla* aos 36 meses de idade nas duas áreas analisadas, Crisópolis e Jandaíra, município da Bahia.

**Tabela 1.** Número médio de indivíduos ( $\bar{n}$ ), altura total média (H) e diâmetro à altura do peito médio (DAP) de progênies de *Eucalyptus urophylla* avaliados aos 36 meses de idade na área experimental de Crisópolis – Ba. Cruz das Almas – Ba, 2019.

<b>Progênie</b>	$\bar{n}$	<b>H (m)</b>	<b>DAP (m)</b>
1	54	7,49	0,06
2	32	7,77	0,06
3	64	7,21	0,05
4	73	8,46	0,06
5	70	8,33	0,06
6	69	6,73	0,06
7	64	7,60	0,06
8	49	8,46	0,06
9	60	8,20	0,06
10	32	6,69	0,05
11	71	7,87	0,07
12	58	7,12	0,06
13	68	7,23	0,06
14	69	7,02	0,06
15	63	7,96	0,06
16	75	9,12	0,07
17	60	7,47	0,05
18	53	6,94	0,06
19	73	7,15	0,06
20	76	8,08	0,06
21	50	6,42	0,05
22	68	7,95	0,07
23	58	7,54	0,06
24	74	8,04	0,06
25	60	8,11	0,07
26	53	6,61	0,05
27	77	9,93	0,09
28	78	9,05	0,08
29	76	9,68	0,08
30	74	9,73	0,08
31	50	7,45	0,07
32	81	9,01	0,08
33	83	9,22	0,07
34	76	9,08	0,08
35	65	7,48	0,07
36	75	8,63	0,08
37	68	8,74	0,08
38	78	8,84	0,08
39	71	9,28	0,08
40	90	8,27	0,08
41	62	9,31	0,08
42	60	9,19	0,07
43	55	9,18	0,07
44	80	8,22	0,07
45	84	8,25	0,07
46	58	8,41	0,08
47	76	8,85	0,07
48	73	8,56	0,08
49	81	8,42	0,08
<b>Total</b>	<b>3.267</b>	<b>8,17</b>	<b>0,07</b>

**Tabela 2.** Número médio de indivíduos ( $\bar{n}$ ), altura total média (H) e diâmetro à altura do peito médio (DAP) de progênies de *Eucalyptus urophylla* avaliados aos 36 meses de idade na área experimental Jandaíra – Bahia. Cruz das Almas – Ba, 2019.

Progênie	$\bar{n}$	H (m)	DAP (m)
1	23	13,24	0,10
2	19	12,13	0,11
3	43	11,94	0,10
4	62	12,56	0,10
5	67	11,98	0,09
6	49	11,73	0,10
7	39	11,76	0,09
8	28	12,11	0,10
9	27	10,52	0,08
10	15	10,80	0,09
11	56	13,36	0,11
12	45	12,03	0,10
13	35	12,19	0,10
14	41	10,90	0,09
15	37	12,55	0,10
16	73	13,49	0,11
17	30	12,86	0,10
18	37	12,20	0,10
19	47	11,98	0,10
20	55	12,94	0,10
21	56	12,80	0,11
22	65	11,87	0,11
23	57	12,29	0,09
24	40	13,07	0,11
25	40	10,82	0,09
26	21	11,56	0,10
27	73	13,11	0,12
28	59	12,24	0,11
29	63	13,02	0,11
30	59	13,99	0,11
31	45	11,36	0,11
32	57	12,60	0,11
33	72	12,50	0,10
34	71	12,51	0,11
35	39	12,09	0,10
36	50	13,63	0,12
37	58	12,34	0,11
38	66	11,32	0,10
39	62	12,70	0,11
40	62	11,58	0,11
41	57	11,94	0,10
42	41	12,63	0,11
43	37	13,23	0,11
44	77	11,93	0,10
45	63	12,11	0,11
46	32	11,74	0,11
47	38	11,46	0,11
48	61	13,34	0,11
49	68	11,96	0,10
<b>Total</b>	<b>2.417</b>	<b>12,26</b>	<b>0,10</b>

### **Condução experimental**

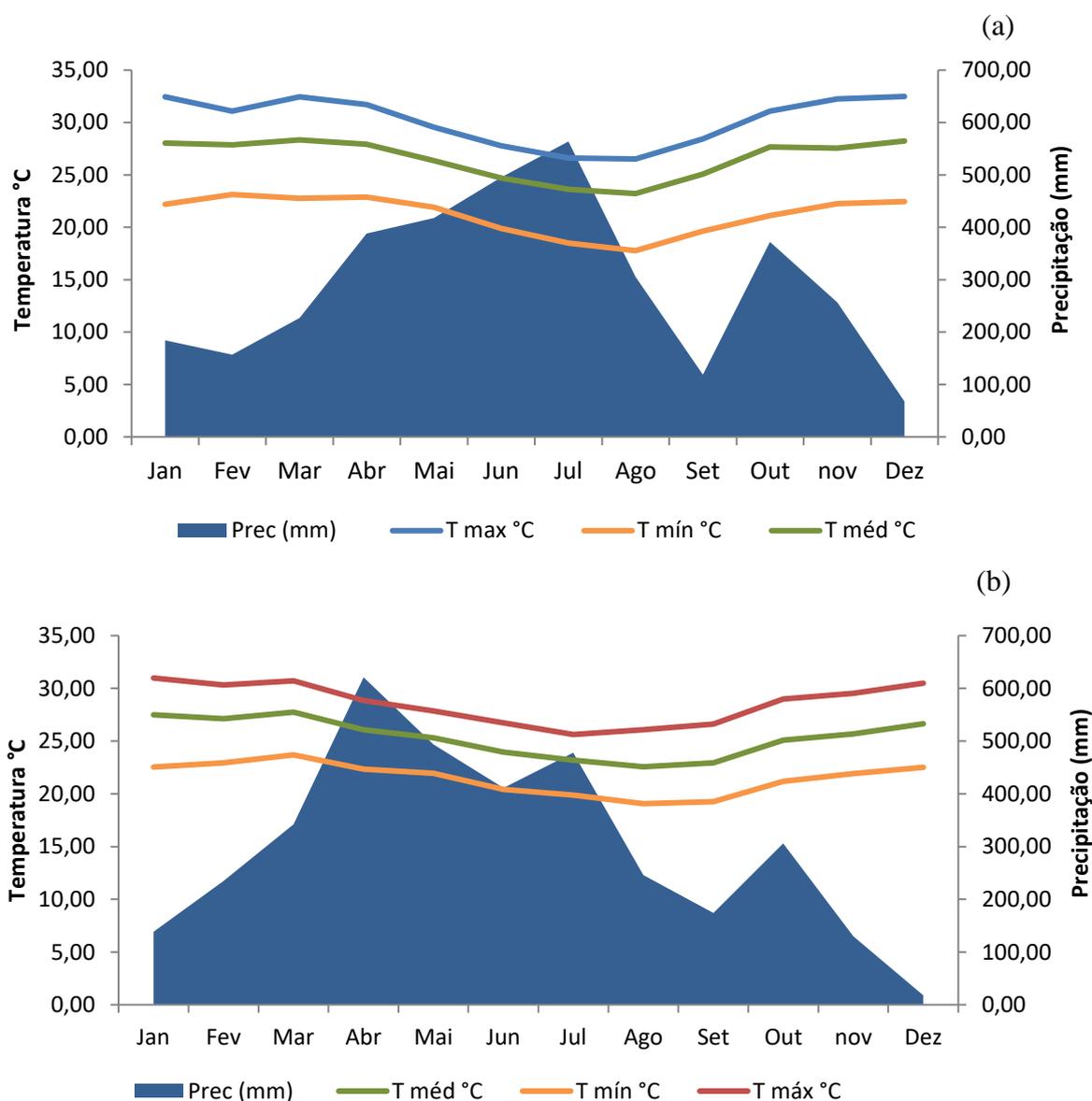
Os testes foram implantados no ano de 2010, em duas áreas experimentais pertencentes a uma empresa de celulose do nordeste da Bahia, nos municípios de Crisópolis – Bahia e Jandaíra – Bahia. Estas áreas foram selecionadas conforme dados de precipitação, sendo classificadas como na tabela a seguir (Tabela 3).

**Tabela 3.** Informações de clima, precipitação e solo das áreas experimentais. Cruz das Almas - Ba, 2019.

Área	Município	Latitude	Longitude	Clima	Precipitação média anual (mm)	Classificação Solo*
1	Crisópolis - Ba	11°31'00"S	38°09'00"W	Aw	900	RQo3
2	Jandaíra - Ba	11°33'50"S	37° 47' 2" W	As	1300	Padx4

\*Fonte: EMBRAPA (2006). RQo3: Neossolo Quartzarênico Órtico; PADx4: Argissolo Amarelo Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (e abruptico) + Latossolo Amarelo Distrocoeso típico.

Os dados climatológicos foram obtidos de duas estações meteorológicas da empresa localizadas próximas das áreas de estudo. O plantio localizado em Crisópolis – BA foi realizado no mês de Julho de 2010. No período de 2010 a 2013 a região apresentou pluviosidade média de 592 mm anuais concentrada nos meses de Abril a Junho, a temperatura média foi de 26°C com máxima média de 29°C e mínima média de 22 °C. O plantio localizado em Jandaíra – Ba foi realizado no mês de Agosto de 2010. No período de 2010 a 2013 a região apresentou pluviosidade média de 1.796 mm anuais concentrada nos meses de Fevereiro a Maio, a temperatura média foi de 25°C com máxima de 28°C e mínima de 21 °C (Figura 1).



**Figura 1.** Dados de média de precipitação pluviométrica (Prec mm) temperatura máxima (Tmáx °C), temperatura mínima (Tmin °C) e temperatura média (Tmed °C) no período de 2010 a 2013 para testes de progênies de *Eucalyptus urophylla*. a) Crisópolis - Ba; b) Jandaíra - Ba. Cruz das Almas – Ba, 2019.

As operações de preparo da área e plantio foram realizadas conforme procedimentos da empresa e compreenderam as atividades de rebaixamento da vegetação (roçada manual), controle da matocompetição (aplicação de herbicida em área total), combate a formigas (utilização de iscas formicidas), subsolagem na linha de plantio a 0,6 m de profundidade, aplicando fosfato de Araxá (300-500kg/ha) e adubação de base (6:30:6) de N-P-K, realizando-se o plantio em seguida.

No plantio as mudas tiveram seus sistemas radiculares imersos em solução de 1,5 Kg MAP (60% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 12% de N), 500g cupinicida à base de imidacloprid,

diluídos em 100L de água, utilizou-se o método semimecanizado com o uso da plantadeira tipo matraca e irrigação por meio de trator e carreta pipa logo em seguida, sendo dois litros de água por cova. Posteriormente, foram realizadas mais duas irrigações, com intervalos de dois dias e a mesma quantia de água, necessárias para suprir a demanda hídrica do período de estiagem pós- plantio.

Após 90 dias, aplicou-se fertilizante químico de 160Kg/ha (10%N, 30%P, 10% K, 0,5% B, 0,5% Zn e 0,5% Cu). Nos anos subseqüentes foram realizados controle das formigas e roçada nas linhas (manual) e nas entrelinhas (mecanizada).

O percentual de mortalidade e sobrevivência das plantas no período analisado foi estimada pelas equações abaixo.

$$M = \frac{MM}{MP} 100$$

em que: M= percentual de mortalidade em campo; MM= Número de mudas mortas; MP= Número de mudas plantadas.

$$\% S = 100 - (M)$$

em que: % S= Percentual de sobrevivência; M= Percentual de mortalidade em campo.

### ***Delineamento experimental***

O delineamento utilizado para as duas áreas, Crisópolis – Bahia (A1) e Jandaíra – Bahia (A2), foi o de blocos incompletos (látice) 7 x 7 com oito repetições, e 49 tratamentos provenientes da mesma população base. As parcelas dos experimentos foram lineares e constituídas por 10 plantas da mesma progênie, em um total de 3.920 plantas em área total de 2,35 ha.

### ***Avaliação dos testes de progênie***

Os testes de progênie foram avaliados aos 36 meses de idade quanto ao crescimento em altura total (H), em metros, com auxílio do aparelho hipsômetro Blume-Leiss e diâmetro à altura do peito (DAP), em metros, com auxílio da fita graduada a 1,30 m acima do nível do solo. O volume foi estimado utilizando a seguinte fórmula:

$$V_{CC} = EXP (-9.82106539918 + 1.8369394337 * LN ([DAP]) + 1.0057569058 * LN ([H]))$$

em que

V<sub>CC</sub>= volume do tronco (comercial) da árvores, em m<sup>3</sup> com casca;

LN = Logaritmo natural;

DAP = Diâmetro à Altura do Peito, em centímetros

H = Altura, em metros

Para as análises foram desconsiderados os dados de árvores mortas e secas, variando o número de plantas por repetição conforme tabela 4.

**Tabela 4.** Número médio de progênies ( $\bar{n}$ ), altura total média (H), diâmetro à altura do peito médio (DAP) e sobrevivência (%) em teste de progênies de *Eucalyptus urophylla* em Crisópolis – Ba e Jandaíra – Ba avaliados aos 36 meses de idade. Cruz das Almas - Ba, 2019.

Local	Repetições	Sobrevivência (%)	$\bar{n}$	H (m)	DAP (m)
Crisópolis – Bahia	1	85	417	8,51	0,07
	2	79	388	9,04	0,07
	3	83	406	8,29	0,07
	4	86	422	6,98	0,07
	5	85	418	9,06	0,07
	6	82	400	9,32	0,07
	7	83	408	7,98	0,07
	8	83	408	6,91	0,07
Total/Média	-	83	3.267	8,26	0,07
Jandaíra – Bahia	1	61	301	11,95	0,11
	2	62	306	11,78	0,10
	3	62	304	12,87	0,10
	4	62	306	13,04	0,11
	5	59	289	11,86	0,10
	6	57	281	11,87	0,10
	7	64	312	12,62	0,10
	8	65	318	12,66	0,10
Total/Média	-	62	2.417	12,33	0,10
Total Geral/Média Geral	-	73	5.684	10,30	0,09

### **Analises genético-estatísticas**

A partir das informações fenotípicas de altura total, diâmetro à altura do peito e volume com casca das plantas, estimou-se os parâmetros genéticos para prever os valores genéticos das progênies. O teste de significância empregado foi o teste da razão de verossimilhança (LRT), obtido a partir da diferença entre as *deviances* para modelos sem e com efeito a partir do teste de qui-quadrado. As estimativas de componentes de variância e parâmetros genéticos foram obtidas pelo método REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não viciada), a partir de dados desbalanceados, empregando-se o software genético-estatístico SELEGEN-REML/BLUP, desenvolvido por Resende (2007).

Nas duas áreas, Crisópolis – Ba (A1) e Jandaíra – Ba (A2), foi adotado o modelo linear misto em blocos incompletos (látice) em progênies de meio-irmãos,

várias plantas por parcela, um só local e uma única população (Modelo 06 - modelo aditivo univariado em látice), seguindo o proposto por RESENDE (2002):

$$y = Xm + Zg + Wb + e$$

em que:

y: vetor das médias fenotípicas dos genótipos;

m: vetor dos efeitos das combinações medição – repetição (assumidos como fixos) somados à média geral;

g: vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios), em que,  $g \sim N(0, G)$ , sendo  $G = I\sigma_g^2$ ;

b: vetor dos efeitos blocos dentro de repetição (assumidos como aleatórios), em que  $b \sim N(0, B)$ , sendo  $B = I\sigma_{b/r}^2$ ;

e: vetor de erros, sendo que  $e \sim N(0, R)$  e  $R = I\sigma_e^2$

**X, W e Z:** matrizes de incidência que relacionam, respectivamente, os efeitos de m, g e b ao vetor y.

Na análise conjunta foi utilizada rotina que considera várias plantas por parcela, no delineamento em látice, em vários locais e uma medição, sendo o modelo estatístico proposto por RESENDE (2002):

$$y = Xm + Zg + Wb + Ti + e$$

em que:

y: vetor das médias fenotípicas dos genótipos;

m: vetor dos efeitos das combinações medição – repetição (assumidos como fixos) somados à média geral;

g: vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios), em que,  $g \sim N(0, G)$ , sendo  $G = I\sigma_g^2$ ;

b: vetor dos efeitos blocos dentro de repetição (assumidos como aleatórios), em que  $b \sim N(0, B)$ , sendo  $B = I\sigma_{b/r}^2$ ;

i= vetor dos efeitos da interação genótipos x ambientes (aleatórios);

e: vetor de erros, sendo que  $e \sim N(0, R)$  e  $R = I\sigma_e^2$

**X, W, T e Z:** matrizes de incidência que relacionam, respectivamente, os efeitos de m, g e b ao vetor y.

As equações de modelo misto equivalem para a predição de m, g e b:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'W \\ Z'X & Z'Z + \lambda_1 & Z'W \\ W'Z & W'Z & W'W + \lambda_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m \\ g \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ W'y \end{bmatrix};$$

em que:

$$\lambda_1 = \frac{1 - hg^2 - hi^2}{hg^2}; \quad \lambda_2 = \frac{1 - hg^2 - hi^2}{hi^2};$$

$hg^2$ : herdabilidade à nível de média dos genótipos;

$hb^2$ : coeficiente de determinação do efeito de bloco dentro de repetição;

O modelo matemático foi testado pelo teste da razão de verossimilhança (LRT) para a significância da diferença do teste qui-quadrado com 1 grau de liberdade, este teste é baseado na diferença entre os pontos máximos do logaritmo da função de verossimilhança restrita entre o modelo reduzido e o modelo completo, testando-se a diferença pelo teste qui-quadrado ( $\chi^2$ ) (RESENDE, 2016).

A herdabilidade é a variabilidade total de natureza genética, sendo um dos mais importantes parâmetros genéticos, quantifica a variação fenotípica de natureza herdável, portanto é a relação entre a variância genética e a variância total (VENCOVSKY, 1969; RESENDE, 2002). Neste estudo foram estimadas as herdabilidades:

a) Herdabilidade no sentido restrito em nível de plantas ( $\hat{h}^2$ )

$$(\hat{h}^2) = \hat{\sigma}_a^2 / \hat{\sigma}_f^2$$

b) Herdabilidade entre médias de famílias de meio-irmãos ( $\hat{h}_m^2$ )

$$(\hat{h}_m^2) = \frac{1}{4} \hat{\sigma}_a^2 / \hat{\sigma}_f^2$$

c) Herdabilidade dentro de famílias de meio-irmãos ( $\hat{h}_{ad}^2$ )

$$(\hat{h}_{ad}^2) = \frac{3}{4} \hat{\sigma}_a^2 / \hat{\sigma}_d^2$$

Para estimativa dos ganhos de seleção considerando os valores genotípicos, sendo a média dos indivíduos melhorados igual à média dos indivíduos selecionados, foi utilizada a fórmula abaixo:

$$G_s = \bar{X}_s$$

em que:

G<sub>s</sub>: Ganho com a seleção;

X<sub>s</sub>: média dos indivíduos selecionados

As variâncias foram determinadas a partir dos valores:

a) Variância genética aditiva: ( $\hat{\sigma}_a^2$ )

$$\hat{\sigma}_a^2 = [\hat{a}'A^{-1}\hat{a} + \hat{\sigma}_e^2 tr (A^{-1}C^{22})]/q$$

b) Variância ambiental entre parcelas: ( $\hat{\sigma}_c^2$ )

$$\hat{\sigma}_c^2 = [\hat{c}'\hat{c} + \hat{\sigma}_e^2 tr C^{33}]/S_1$$

c) Variância residual (ambiental + não aditiva)

$$\hat{\sigma}_e^2 = [y'y - \hat{r}'X'y - \hat{a}'Z'y - \hat{c}'W'y]/ [N - r(x)]$$

Com os valores de C<sup>22</sup> e C<sup>33</sup> provém da inversa de C.

C: matriz dos coeficientes das equações de modelo misto.

tr: operador traço matricial

r(x): posto da matriz X

N, q, s: número de dados, indivíduos e parcelas, respectivamente

d) Variância fenotípica individual ( $\hat{\sigma}_f^2$ )

$$(\hat{\sigma}_f^2) = \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_c^2 + \hat{\sigma}_e^2$$

Os coeficientes de variação genético/residual (CVg/CVe), coeficiente de variação relativo (CVr), estimativas dos componentes de variância genotípica e residual,  $\hat{\sigma}_g^2$  e  $\hat{\sigma}_e^2$  foram estimados conforme abaixo

$$CV_g = \frac{\hat{\sigma}_g}{\bar{X}} \times 100 \quad CV_e = \frac{\hat{\sigma}_e}{\bar{X}} \times 100$$

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

em que:

$\hat{\sigma}_g$ : Desvios padrão genético;

$\hat{\sigma}_e$ : Desvios padrão residual;

$\bar{X}$ : média geral

A partir dos resultados de CVr foi possível calcular a acurácia seletiva ( $\hat{r}_{gg}$ ) segundo Resende e Duarte (2007):

$$\hat{r}_{gg} = \left[ 1 - \frac{1}{1 + b \times (CV_r)^2} \right]^{1/2}$$

em que:

b: número de blocos do delineamento estatístico;

$CV_r$ : Coeficiente de variação relativo;

O vetor de soluções das equações de modelos mistos apresentam os efeitos genotípicos preditos para as 49 progênies testadas. Estes valores genotípicos foram obtidos a partir da soma de cada efeito genotípico à média geral do experimento, o ganho genético corresponde a média dos valores genéticos preditos

para cada progênie selecionada e a média geral somada ao ganho genético tem como resultado a média da população melhorada.

Com o objetivo de atingir os ganhos genéticos na seleção de progênies, realizou-se a seleção das 15 melhores progênies com uma intensidade de seleção de 30% a partir dos valores genéticos preditos para as progênies, conforme definido por RESENDE (2007).

A seleção foi realizada a partir da característica diâmetro à altura do peito (DAP), devido ser uma característica que acarreta em menores erros em relação à variável altura, com elevada correlação genética com os caracteres altura e volume (ROCHA, 2006; MIRANDA et al., 2015; PUPIN et al., 2015). As análises foram obtidas com base no valor genético predito das progênies com a utilização do procedimento BLUP.

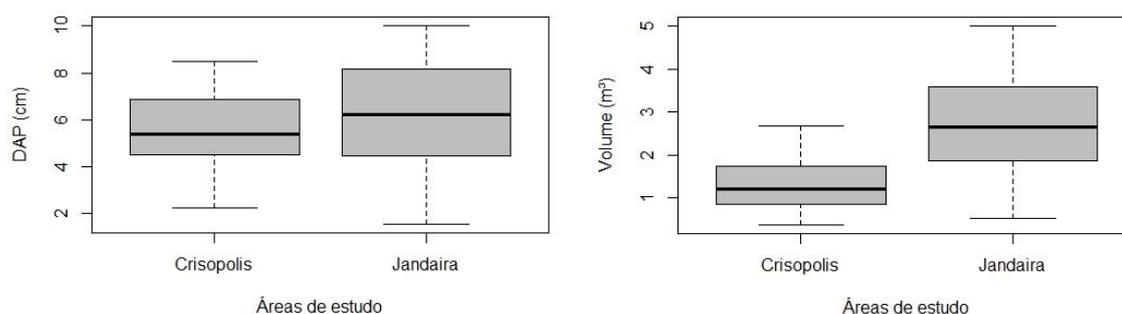
## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### ***Análise individual***

Aos três anos de idade, das 3.920 árvores plantadas em cada um dos testes de progênies, 3.267 árvores sobreviveram (83% sobrevivência) em Crisópolis – Ba e 2.417 árvores (62%) em Jandaíra-Ba. As mortalidades podem ter sido devido eventos naturais aleatórios, como competição e efeito de dominância ou a ocorrência de fenômenos climáticos (vento e descargas elétricas). Henriques et al., 2017 em estudo de teste de progênies de irmãos completos de *Eucalyptus* encontraram para aos 7 anos de idade, 83,5% de sobrevivência indicando alta adaptação dos genótipos ao ambiente, valores semelhantes aos encontrados no presente estudo para Crisópolis – Ba.

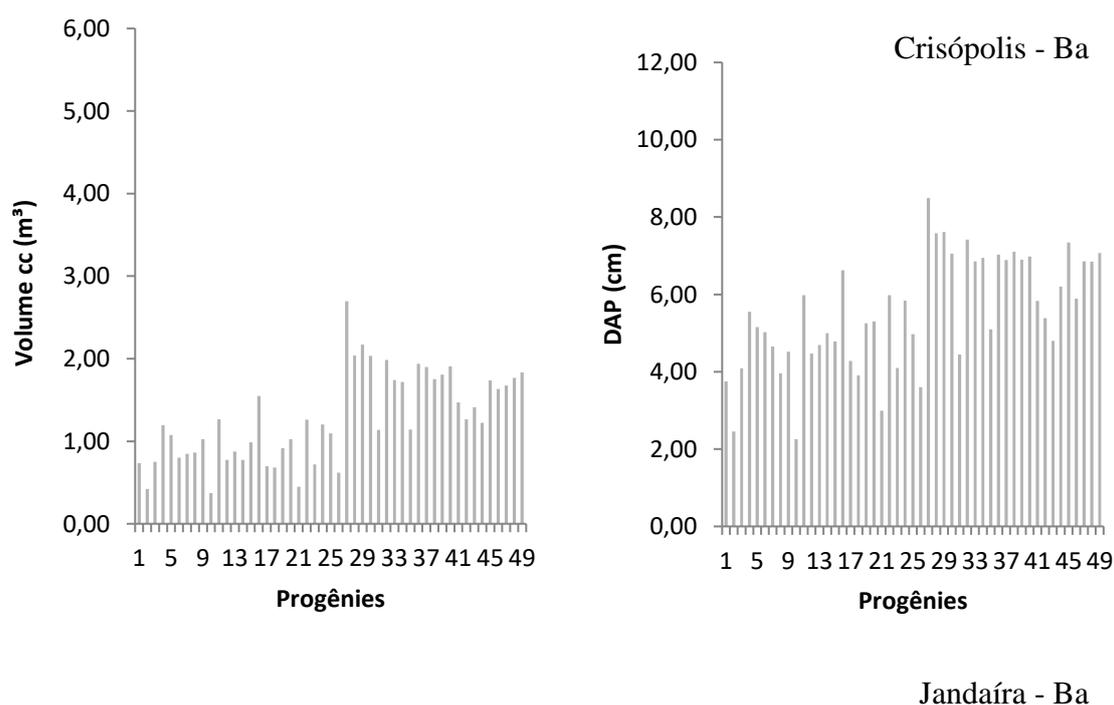
O desempenho em DAP médio foi superior para Jandaíra – Ba, 6,19 cm enquanto que para Crisópolis - Ba foi de 5,55 cm (Figura 2). Isso pode ser devido aos tipos de solo de cada área analisada. O desempenho foi superior no solo de textura mais argilosa (PADx4: Argissolo Amarelo Argissolo Amarelo Distrocoeso típico e abrupto + Latossolo Amarelo Distrocoeso típico) que possui capacidade de reter e dispor de uma quantidade maior de água e nutrientes para o desenvolvimento das plantas, propiciando assim um maior crescimento. O solo de

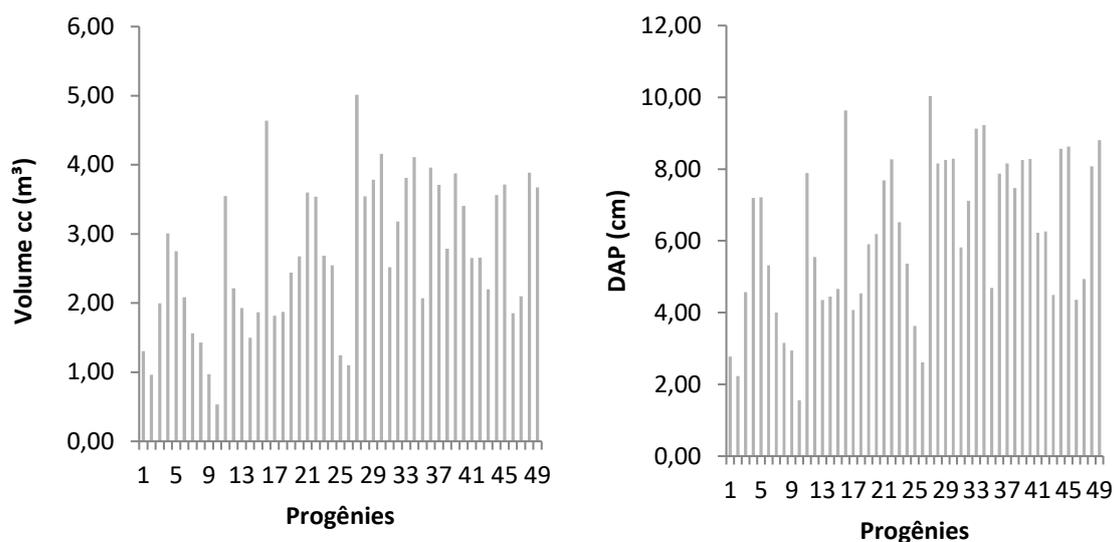
textura arenosa de Crisópolis – Ba, Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo3), por sua vez, funciona de forma inversa. Desta forma, o efeito ambiental no desenvolvimento dos indivíduos deve ser levado em consideração na seleção de genótipos adaptados a determinadas condições edafoclimáticas.



**Figura 2.** Boxplots comparando o desenvolvimento dos testes de progênies de *Eucalyptus urophylla* em função dos dois locais, Crisópolis-Ba e Jandaíra – Ba, para caracteres de crescimento. Cruz das Almas-Ba, 2019.

Verifica-se tendência de similaridade entre os caracteres DAP (cm) e volume com casca (m<sup>3</sup>) nas progênies analisadas, indicando correlação entre os caracteres (Figura 3). O volume com casca médio por progênie obtido aos três anos de idade para Crisópolis – Ba foi de 1,29 m<sup>3</sup> enquanto que para Jandaíra -Ba foi de 2,69 m<sup>3</sup>.





**Figura 3.** Desempenho dos testes de progênes de *Eucalyptus urophylla* em função dos dois locais, Crisópolis-Ba e Jandaíra – Ba para as características volume com casca e diâmetro à altura do peito (DAP). Cruz das Almas - Ba, 2019.

O teste da razão de verossimilhança (LRT) indica diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ) para todos os caracteres analisados, exceção somente para VOL em Jandaíra - Ba ( $p < 0,05$ ) (Tabela 5). As diferenças significativas detectadas revelam variação genética entre progênes e potencial de aplicação no melhoramento genético por meio da seleção das árvores das progênes com melhor desempenho para os parâmetros analisados.

**Tabela 5.** Estimativa de coeficientes de variação em testes de progênies de *Eucalyptus urophylla* aos três anos de idade nos municípios de Crisópolis e Jandaíra - Ba. Cruz das Almas - Ba, 2019.

Parâmetros	Caracteres	Áreas de estudo	
		Crisópolis - Ba	Jandaíra - Ba
LRT	ALT	9.114**	6.637**
	DAP	8.950**	6.573**
	VOL	8.935**	-1.379 <sup>ns</sup>
CV <sub>gi</sub> %	ALT	10.544	6.144
	DAP	13.010	7.828
	VOL	12.988	16.190
CV <sub>e</sub> %	ALT	13.011	7.711
	DAP	17.139	9.790
	VOL	17.122	20.239
C <sub>parc</sub> <sup>2</sup>	ALT	0.080	0.038
	DAP	0.113	0.055
	VOL	0.113	0.042

\*C<sub>parc</sub><sup>2</sup>: Coeficiente de determinação dos efeitos de parcela; CV<sub>e</sub>%: coeficiente de variação residual; CV<sub>gi</sub>%: Coeficiente de variação genotípica entre progênies; Teste de razão de verossimilhança (LRT), testado via qui-quadrado com 1 grau de liberdade. \*\*\* significativo a 1% de probabilidade, \*\* significativo a 5% de probabilidade, ns = não-significativo. ALT = Altura total; DAP= Diâmetro à altura do peito; Vol = Volume total com casca.

Os coeficientes de variação genética aditiva individual (CV<sub>gi</sub>%) revelaram a existência de variabilidade genética, quanto maior for o valor encontrado para este coeficiente, maior a predisposição em encontrar indivíduos superiores com capacidade de produzir ganhos em seleção (AGUIAR et al., 2010; PUPIN et al., 2015). Os valores de CV<sub>gi</sub>% foram superiores a 10% para todas as características analisadas em Crisópolis – Ba confirmado a possibilidade de seleção entre progênies.

As estimativas para DAP foram superiores aos encontrados por Rocha et al. (2007), Rosado et al. (2010) e Souza et al. (2011) em estudos de melhoramento de populações de melhoramento de *E. urophylla* com valores entre 5,2 a 12,7%.

Em Jandaíra – Ba para os caracteres ALT e DAP, o coeficiente de variação genética foi de 6,1% e 7,8%, respectivamente, indicando menor variação genética entre os indivíduos deste local para estas características em relação à área de Crisópolis-Ba. Observa-se que, para as duas áreas o carácter VOL apresentou maior CV<sub>gi</sub>(%), entre 12 a 16%, Crisópolis-Ba e Jandaíra - Ba, respectivamente, indicando que o há maior variação genética entre os indivíduos e entre as progênies

em relação aos demais caracteres, denotando a possibilidade de obtenção de ganhos genéticos nas seleções, e indica também que esta característica é fortemente influenciada pelas condições ambientais e de manejo.

Estes dados alinham-se com os encontrados por Zanata et al., (2010) e Rocha et al., (2006) que encontraram valores para  $CV_{gi}(\%)$  de volume de cerca de 18%, e estes resultados podem se justificar devido VOL ser uma característica derivada e dependente da altura e diâmetro à altura do peito.

O coeficiente de variação experimental ( $CV_e\%$ ) obtido das análises de variância individuais foi crescente no sentido dos caracteres altura (ALT), diâmetro à altura do peito (DAP) e volume com casca (VOL) em Jandaíra-Ba e em Crisópolis - Ba verifica-se comportamento análogo entre H DAP, porém foram obtidos valores similares para  $CV_e\%$  em DAP e VOL, aproximadamente 17%.

Os valores do coeficiente de variação experimental podem ser classificados conforme Resende (2002) que considera baixo, quando inferiores a 10%; médios, de 10 a 20%; altos, de 20 a 30%; e muito altos, quando superiores a 30%, assim para os caracteres ALT e DAP em Jandaíra –Ba o  $CV_e\%$  é baixo, enquanto que para VOL de Jandaíra-Ba e todos os caracteres analisados de Crisópolis-Ba pode ser considerado intermediário.

Verifica-se maior  $CV_e\%$  em VOL na área de Jandaíra – Ba, 20,24%, a menor taxa de sobrevivência nesta área pode ter contribuído para maior valor neste carácter. Os menores valores de  $CV_e\%$  foram verificados para ALT, <7,70% em Jandaíra – Ba e 13,01% em Crisópolis - Ba, os valores encontrados para área de Crisópolis são similares aos obtidos por Hein et al., 2012 para *E. urophylla*, 16%, que também observaram maiores valores de  $CV_e\%$  para DAP (19%) em relação à ALT. Os valores encontrados para DAP são superiores aos encontrados por Rocha et al., 2006 que obtiveram em teste de progênies de *E. urophylla* aos 58 meses de idade, 8% de  $CV_e\%$ . Na medida em que o coeficiente de variação experimental expressa à boa precisão do experimento e que este decresce com o número de parcelas, sugere-se que nos próximos estudos, um maior número de parcelas seja utilizado, de forma a diminuir os valores encontrados deste coeficiente.

Segundo Resende (2002) o coeficiente de determinação dos efeitos de parcela ( $C^2_{\text{parc}}$ ) inferior a 10% não interfere na estimativa dos parâmetros genéticos.

Em todos os caracteres analisados em Jandaíra-Ba e para ALT em Crisópolis-Ba, este parâmetro foi inferior ao indicado, portanto baixa variação ambiental entre parcelas. Os caracteres DAP e VOL em Crisópolis-Ba apresentaram valores de  $C^2_{\text{parc}}$  superiores ao indicado por Resende (2002), 11%, ou seja, 11% da variação fenotípica total ocorreu em razão da variação ambiental entre parcelas dentro dos blocos.

A acurácia da seleção de progênies ( $\hat{r}_{gg}$ ) pode ser classificada como muito alta ( $\geq 0,90$ ), alta (entre 0,70 e 0,90), moderada (entre 0,50 e 0,70) e baixa ( $< 0,50$ ) (RESENDE e DUARTE, 2007). Nas variáveis analisadas, nos dois locais, os valores de  $\hat{r}_{gg}$  encontrados foram superiores a 0,70 indicando precisão e controle quanto às variações ambientais (RESENDE e DUARTE, 2007; MIRANDA et al., 2015) (Tabela 6).

Os valores de acurácia encontrados no presente estudo são similares aos encontrados por Pupin et al., (2015), 0,78 para diâmetro à altura do peito. Valores superiores foram encontrados por Miranda et al, (2015) para altura total, diâmetro à altura do peito e volume, acima de 0,90 em todos os caracteres, o que indica alta precisão de seleção e ganho genético.

**Tabela 6.** Estimativa de parâmetros genéticos em testes de progênies de *Eucalyptus urophylla* aos três anos de idade nos municípios de Crisópolis e Jandaíra - Ba. Cruz das Almas - Ba, 2019.

Caracteres	Local	Parâmetros Genéticos				
		$\hat{r}_{gg}$	$CV_r$	$\hat{h}_a^2$	$h_m^2$	$h_{ad}^2$
ALT	Crisópolis - Ba	0.753	0.405	0.096 ± 0.0309	0.567	0.090
DAP		0.732	0.379	0.102 ± 0.0318	0.535	0.100
VOL		0.731	0.379	0.102 ± 0.0319	0.535	0.100
ALT	Jandaíra – Ba	0.747	0.398	0.077 ± 0.0328	0.559	0.069
DAP		0.749	0.399	0.087 ± 0.0349	0.561	0.080
VOL		0.749	0.399	0.086 ± 0.0334	0.561	0.072

\* $\hat{h}_a^2$ : herdabilidade individual no sentido restrito;  $h_m^2$ : herdabilidade da média de progênies;  $h_{ad}^2$ : herdabilidade aditiva dentro de parcela;  $CV_r$ : coeficiente de variação relativa;  $\hat{r}_{gg}$ : Acurácia da seleção de progênies; ALT = Altura total; DAP = Diâmetro à altura do peito; Vol = Volume total com casca.

Segundo Vencovsky e Barriga (1992) e Cruz et al., (2004), valores de  $CV_r$  próximos a 1% indicam situação favorável a seleção, sendo maior também o controle genético com menor influência dos fatores ambientais. Nas duas áreas estudadas, os valores de  $CV_r$  variaram de 0,3 a 0,4 indicando uma alta influência do ambiente. Resultados semelhantes foram encontrados em estudos de testes de progênies de *Eucalyptus* spp. por Miranda et al., (2015) que obteve valores entre 0,37 (Selvíria - MS) a 0,89 (Itatinga - MG) para diâmetro à altura do peito e por Henriques et al., (2017) com valores de  $CV_r$  para altura de 0,65 e diâmetro à altura do peito de 0,80.

As herdabilidades individuais no sentido restrito ( $\hat{h}_a^2$ ), parâmetro que segundo Borém e Miranda, (2009) quantifica o valor a relativo da proporção aditiva da variância genética que poderá ser transmitida para a próxima geração, variaram de 0,077 a 0,102, sendo os menores resultados encontrados para o caractere altura variando de 0,096 e 0,077, para Crisópolis e Jandaíra – Ba, respectivamente. Nos dois locais analisados, as estimativas podem ser interpretadas como baixas segundo classificação de Resende (1996), menores do que 0,15. Convém salientar que apesar dos valores encontrados no presente estudo se classifiquem como baixos, o intervalo de variação difere de zero e, portanto, há diferenças genéticas existentes entre os indivíduos.

A herdabilidade é a proporção da variabilidade total, de natureza genética, fixada na descendência (STURION et al., 1994) que podem sofrer influências de fatores como o método de estimação, diversidade da população, tamanho da amostra avaliada, precisão na condução do experimento e na coleta dos dados e o número e tipo de ambientes considerados (RESENDE e DUARTE, 2007).

As herdabilidades médias encontradas para os dois locais estudados tiveram média de 55%, sendo superior a herdabilidade dentro das progênies (9%). Estes valores coincidem com os estudos Martins et al., (2001) que encontraram para famílias de meio-irmãos de *Eucalyptus grandis* 69% para herdabilidade média e 29% para herdabilidade dentro das progênies para circunferência à altura do peito.

Zu et al., (2017) verificou comportamento diferente dos encontrados no presente estudo em teste de *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis* aos 2 anos de idade com valores superiores de herdabilidade dentro de progênies (12%) para altura total em relação a herdabilidade entre progênies (5%). Rosado et al. (2012) indicam que altas estimativas de herdabilidade evidenciam o bom controle genético em expressão de determinado carácter com potencial de seleção dentro das populações analisadas. Neste estudo, portanto a seleção com base nas médias das progênies deverá ser mais eficiente que a seleção dentro de progênies.

Os componentes de variância obtidos por meio dos procedimentos REML (Máxima verossimilhança restrita), estimativas das variâncias genéticas entre progênies, ambiental, interação progênies x locais, residual entre parcelas e fenotípica individual para as características altura total (ALT), diâmetro à altura do peito (DAP) e volume (Vol) estão apresentados na tabela 7.

**Tabela 7.** Componentes de variância em testes de progênes de *Eucalyptus urophylla* aos três anos de idade nos municípios de Crisópolis e Jandaíra - Ba. Cruz das Almas - Ba, 2019.

Caracteres	Local	Variâncias				
		$\hat{\sigma}_g^2$	$\hat{\sigma}_{parc}^2$	$\hat{\sigma}_{int}^2$	$\hat{\sigma}_e^2$	$\hat{\sigma}_f^2$
ALT	Crisópolis-Ba	0.727	0.607	0.775	5.458	7.568
DAP		0.758	0.843	0.733	5.111	7.447
VOL		0.757	0.844	0.7305	5.094	7.425
ALT	Jandaíra – Ba	0.567	0.284	0.787	5.676	7.315
DAP		0.670	0.424	0.805	5.770	7.641
VOL		0.000084	0.000045	0.000112	0.000807	0.001048

\* $\hat{\sigma}_g^2$ : variância genética entre progênes;  $\hat{\sigma}_{parc}^2$ : variância ambiental entre parcelas;  $\hat{\sigma}_{int}^2$ : variância da interação progênes x locais;  $\hat{\sigma}_e^2$ : variância residual entre parcelas;  $\hat{\sigma}_f^2$ : variância fenotípica individual. ALT = Altura total; DAP = Diâmetro à altura do peito; VOL = Volume total com casca.

Os valores baixos das variâncias para o carácter VOL em Jandaíra – Ba se justificam devido LRT não ter sido significativa estatisticamente para este carácter. No presente estudo as variâncias genéticas entre progênes ( $\hat{\sigma}_g^2$ ) e variância ambiental entre parcelas ( $\hat{\sigma}_{parc}^2$ ) foram crescentes nos dois locais para os caracteres ALT e DAP indicando maior variabilidade genética para o carácter DAP em relação ao ALT, condição inversa foi verificada entre os parâmetros variância residual entre parcelas ( $\hat{\sigma}_e^2$ ), fenotípica individual ( $\hat{\sigma}_f^2$ ), e de interação progênes x locais ( $\hat{\sigma}_{int}^2$ ) que apresentaram valores inferiores para o carácter DAP em relação à ALT. Todas as estimativas de variância de Crisópolis – Ba foram positivas e superiores em todas os caracteres analisados em relação a Jandaíra – Ba, desta forma, em Crisópolis - Ba há maior variabilidade entre as progênes passíveis de seleção. As variâncias fenotípicas ( $\hat{\sigma}_f^2$ ) apresentaram valores relativamente próximos para as duas áreas analisadas nos caracteres ALT e DAP, no entanto valores discrepantes foram obtidos entre as variâncias ambientais entre parcelas ( $\hat{\sigma}_{parc}^2$ ) para os caracteres ALT e DAP entre as áreas de Crisópolis-Ba (60 e 84%, respectivamente) e Jandaíra – Ba (28 e 42%, respectivamente). Resultados semelhantes foram obtidos por Rocha et al., (2006) que atribuiu este fato devido a natureza desbalanceada do número de plantas por parcelas decorrente das falhas durante a condução experimental, justificando o resultado do presente estudo, onde

os menores valores para estes parâmetros foram obtidos em Jandaíra – Ba, local com maiores perdas em número de plantas durante o cultivo do experimento.

Os ganhos genéticos obtidos nos testes de progênes, tamanho efetivo populacional e as novas médias (valor genético aditivo predito mais a média original) para a variável DAP são apresentados na tabela 8.

**Tabela 8.** Progênes selecionadas, ganhos genéticos, tamanho efetivo populacional e as novas médias (valor genético aditivo predito mais a média original) em função dos valores genotípicos preditos para a variável DAP em testes de progênes de *Eucalyptus urophylla* aos três anos de idade nos municípios de Crisópolis e Jandaíra - Ba. Cruz das Almas - Ba, 2019.

Local	Progênes	Ganho Genético	VG Predito	Ne	Nova Média
Crisópolis - Ba	27	0.77	7.09	6.00	7.46
	28	0.51	6.96	8.21	7.33
	37	0.48	6.87	8.48	7.28
	30	0.47	6.94	8.76	7.25
	29	0.45	6.93	8.91	7.23
	46	0.44	6.89	9.01	7.21
	36	0.41	6.94	9.10	7.20
	41	0.41	6.93	9.22	7.18
	39	0.40	6.85	9.29	7.17
	48	0.38	6.84	9.33	7.16
	32	0.38	6.87	9.47	7.16
	34	0.35	6.91	9.88	7.15
	38	0.33	6.90	9.92	7.14
	40	0.30	6.90	10.22	7.13
49	0.29	6.85	10.27	7.12	
Jandaíra - Ba	36	0.78	3.70	10.87	11.23
	27	0.74	4.31	10.85	11.22
	31	0.66	4.64	10.82	11.18
	37	0.47	6.88	10.71	11.12
	30	0.46	6.99	10.70	11.08
	24	0.38	7.71	10.66	11.04
	47	0.36	7.94	10.65	11.01
	29	0.35	8.18	10.64	10.98
	39	0.35	8.09	10.64	10.96
	21	0.33	8.19	10.64	10.95
	43	0.32	8.39	10.63	10.93
	48	0.32	8.42	10.63	10.92
	28	0.30	8.68	10.61	10.90
	16	0.27	1.06	10.89	10.89
45	0.24	9.18	10.58	10.88	

\*Ne = Tamanho efetivo populacional. VG = Valor genético aditivo predito.

Observam-se valores positivos para ganho genético individual na seleção de todas as progênes selecionadas nos dois locais analisados, com baixa

amplitude variando de 0,29 a 0,77 para Crisópolis-Ba e 0,24 a 0,78 para Jandaira-Ba. Isto pode ser devido ao número de progênies ( $p=49$ ), que apesar de elevado número de plantas/progênies ( $n=80$ ), faz com que as melhores progênies participem com grande número de indivíduos selecionados, este comportamento foi verificado também por Rocha et al., (2006).

A seleção pelo BLUP proporcionou um baixo valor de tamanho efetivo populacional ( $N_e$ ) ( $<10$ ), e pode estar relacionada com poucas famílias contribuindo com muitos indivíduos no processo de seleção, passível de aumento de endogamia na geração seguinte, com a recombinação dos indivíduos superiores.

De forma a evitar possíveis riscos de perda de produtividade, uma estratégia a ser utilizada, em condições similares às do presente estudo, consiste no emprego das progênies que apresentaram melhor desempenho nos dois locais, permitindo acréscimos em produtividade do sítio e minimização dos riscos em recomendação de materiais genéticos não adaptados para determinadas regiões edafoclimáticas.

## **ANÁLISE CONJUNTA**

Na análise conjunta optou-se por analisar os dados de diâmetro à altura do peito (DAP), uma vez que, este caractere possui alta correlação com as demais variáveis, altura e volume. Os dados de parâmetros genéticos na análise conjunta estão apresentados na tabela 9.

**Tabela 9.** Parâmetros genéticos estimados com base no diâmetro à altura do peito (DAP) para testes de progênies de *Eucalyptus urophylla* aos três anos de idade nos municípios de Crisópolis e Jandaíra - Análise conjunta- Ba. Cruz das Almas - Ba, 2019.

	$\hat{\sigma}_g^2$	0.4713
	$\hat{\sigma}_{parc}^2$	0.4713
	$\hat{\sigma}_{bloc}^2$	1.5490
	$\hat{\sigma}_{int}^2$	0.00267
	$\hat{\sigma}_e^2$	9.2944
	$\hat{\sigma}_f^2$	11.7889
	$\hat{h}_a^2$	0.039985 ± 0.0076
	$h_m^2$	0.42008
<b>Parâmetros Genéticos</b>	$C_{parc}^2$	0.039985
	$C_{bloc}^2$	0.1314
	$C_{int}^2$	0.00023
	$\hat{r}_{gg}$	0.9944
	CV <sub>g</sub> %	8.3593
	CV <sub>e</sub> %	27.5463
	Média Geral	8.2132

$\hat{\sigma}_g^2$ : variância genética entre progênies;  $\hat{\sigma}_{parc}^2$ : variância ambiental entre parcelas;  $\hat{\sigma}_{bloc}^2$ : variância ambiental entre os blocos;  $\hat{\sigma}_{int}^2$ : variância da interação progênies x locais;  $\hat{\sigma}_e^2$ : variância residual entre parcelas;  $\hat{\sigma}_f^2$ : variância fenotípica individual;  $\hat{h}_a^2$ : herdabilidade individual no sentido restrito;  $h_m^2$ : herdabilidade da média de progênies;  $C_{parc}^2$ : coeficiente de interação genótipo x ambiente;  $\hat{r}_{gg}$ : Acurácia da seleção de progênies;  $\hat{r}_{gg}$ : Acurácia da seleção de progênies;  $C_{parc}^2$ : Coeficiente de determinação dos efeitos de parcela;  $C_{bloc}^2$ : Coeficiente de determinação dos efeitos de bloco; CV<sub>e</sub>%: coeficiente de variação experimental; CV<sub>g</sub>%: Coeficiente de variação genotípica entre progênies.

Na análise conjunta dos dados, a variância fenotípica ( $\hat{\sigma}_f^2$ ) foi mais fortemente influenciada pela variância genotípica ( $\hat{\sigma}_g^2$ ) e variância experimental ( $\hat{\sigma}_e^2$ ) do que pela variância da interação genótipos x ambientes ( $\hat{\sigma}_{int}^2$ ). Os coeficientes de determinação dos efeitos de parcelas ( $C_{parc}^2$ ) neste estudo foram baixos, 3,9% sendo inferiores ao indicado por Resende (2002) de 10%, indicando baixa variação ambiental entre parcelas.

A acurácia de seleção de progênies ( $\hat{r}_{gg}$ ) foi de 99% o que indica maior precisão de seleção e ganho genético, Castro et al., (2018) encontraram em estudo de teste de progênies de *Eucalyptus grandis* em diferentes locais, valores similares de acurácia aos encontrados no presente estudo (92%), este resultado também corroborado com os encontrados por Miranda et al., (2015), acurácia de 93,5%.

O coeficiente de interação genótipo x ambiente ( $C_{int}^2$ ) encontrado foi de 0,2%. Dessa forma, as progênies selecionadas poderiam ser utilizadas para vários locais,

tendo em vista o baixo valor encontrado para este parâmetro. Este resultado foi similar aos encontrados por Miranda et al., (2015) verificaram relação inversa entre  $C_{int}^2$  e correlação genotípica, ou seja quando houve menor estimativa no coeficiente de interação genótipo x ambiente ocorreu alta correlação genotípica, esta interação é denominada interação não-complexa ou simples.

Moraes et al., (2015) indicam que nos casos de interação simples (genótipo x ambiente) como nesse estudo, a posição relativa dos genótipos não se altera mesmo os genótipos possuindo diferentes comportamentos de acordo com os ambientes em que estão inseridos.

Os resultados de herdabilidade média das progênies ( $h_m^2$ ) indicam que 42% da variação fenotípica média entre progênies é de origem genética, condição favorável para seleção. Rocha et al., (2006) em testes de progênies de meio-irmãos de *Eucalyptus urophylla* aos 58 meses de idade que encontraram valores superiores aos do presente estudo para herdabilidade média, 76%. Os valores encontrados para análise conjunta também são inferiores aos encontrados por Miranda et al., (2015) que obtiveram valores de acima de 0,90 para DAP, revelando alto controle genético ao nível de médias de progênies na análise conjunta.

Os coeficientes de variação experimental em testes genéticos de eucalipto podem ser classificados conforme Resende (2002) como: baixo - abaixo de 10%; médios - 10 a 30%, e altos - acima de 30%. Na análise conjunta o coeficiente de variação experimental ( $CV_e\%$ ) foi de 27% enquadrando-se como médio o que indica boa precisão experimental.

Na tabela 10 estão apresentadas as progênies que apresentaram melhor potencial na análise conjunta dos testes de progênies instalados em Crisópolis e Jandaíra – Ba para o caractere diâmetro à altura do peito (DAP) aos 3 anos de idade.

**Tabela 10.** Progênes selecionadas em função dos valores genotípicos preditos para variável diâmetro à altura do peito (DAP) em testes de progênes de *Eucalyptus urophylla* aos três anos de idade nos municípios de Crisópolis e Jandaíra - Análise conjunta- Ba. Cruz das Almas - Ba, 2019.

<b>Progênes selecionadas</b>	<b>Ganho Genético</b>	<b>VG Predito</b>	<b>Nova Média</b>
27	1.005	9.22	9.21
36	0.684	8.89	9.05
37	0.657	8.87	8.99
30	0.642	8.85	8.96
28	0.583	8.79	8.92
29	0.556	8.76	8.90
39	0.549	8.76	8.88
31	0.549	8.76	8.86
48	0.517	8.73	8.85
34	0.479	8.69	8.83
32	0.372	8.58	8.81
45	0.367	8.58	8.79
41	0.366	8.58	8.77
46	0.365	8.57	8.76
40	0.351	8.56	8.75

\* VG = Valor genético aditivo predito.

Ao analisar as progênes selecionadas na análise individual em relação aquelas selecionadas na análise conjunta, observa-se que das 15 progênes selecionadas na análise conjunta, as progênes 31, 45 e 34, 32, 41, 46 e 40, selecionadas em Crisópolis-Ba e Jandaíra – Ba, respectivamente, não foram selecionadas na análise conjunta. Esta divergência na seleção denota importância das análises individuais levando em consideração as características locais.

De acordo com a Tabela 10, a progênie 27 apresentou maiores valores em ganho genético, valor genético aditivo predito e número efetivo populacional para DAP, em relação às demais progênes. Os valores encontrados neste estudo podem ser considerados em recomendações de progênes com base em características genéticas em áreas similares às do presente estudo. Além da progênie 27 as demais progênes ranqueadas são aptas para programas de melhoramento e seleção de indivíduos superiores.

## CONCLUSÕES

O método de modelos mistos REML/BLUP permitiu identificar alta variabilidade genética, e, portanto a possibilidade de selecionar progênes adaptadas às condições edafoclimáticas de baixa e alta precipitação com ganhos na seleção entre e dentro de progênes.

A presença de variabilidade genética foi detectada para todos os caracteres altura total da planta e diâmetro à altura do peito em Crisópolis e Jandaíra – Ba, entretanto o volume total com casca em Jandaíra-Ba não obteve valores significativos estatisticamente evidenciada pelo Teste da razão de verossimilhança (LTR).

A variação genética entre as progênes foi comprovada com a obtenção de todos os valores de CV<sub>gi</sub> superior a 10% para todas as características analisadas em Crisópolis – Ba e para altura total da planta e diâmetro à altura do peito em Jandaíra-Ba, confirmado a possibilidade de seleção entre progênes.

As herdabilidades médias encontradas para os dois locais tiveram média de 55%, sendo superior a herdabilidade dentro das progênes, 9%, indicando que a seleção com base nas médias entre as progênes deverá ser mais eficiente que a seleção dentro de progênes.

As melhores progênes com base na característica de crescimento diâmetro à altura do peito selecionadas na análise conjunta foram as progênes 27, 36, 37, 30, 28, 29, 39, 31, 48, 34, 32, 45, 41, 46 e 40, poderão ser utilizados em reflorestamentos e aproveitados em programas de melhoramento genético, destas as progênes 31, 45 não são indicadas para as regiões de baixa precipitação (<1.000 mm anuais) e solos mais arenosos e as progênes 34, 32, 41, 46 e 40 não são as que apresentam melhor desempenho nas regiões de alta precipitação (>1.200 mm anuais) podendo ser utilizadas as progênes 13, 9, 24, 47, 21, 43 e 16.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A.V.; SOUSA, V. A.; SHIMIZU, J. Y. Seleção genética de progênes de *Pinus greggii* para formação de pomares de sementes. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.30, n. 62, p. 107-117, 2010.
- BALDIN, T.; MARCHIORI, J.N.C.; NISGOSKI, S.; TALGATTI, M.; DENARDI, L. Anatomia da madeira e potencial de produção de celulose e papel de quatro espécies jovens de *Eucalyptus* L'Hér. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 8, n. 2, 2017.
- CASTRO, C. E. C. de; SILVA, P. H. M. da; ARAÚJO, M. J.de; MIRANDA, A. C., MORAES, M. L. T.de; PAULA, R. C. de. Adaptabilidade, estabilidade e produtividade de progênes de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Scientia Forestalis**, v. 46, n. 118, p. 157-166, 2018.
- CLARK D.A.; CLARK D.B.; OBERBAUER S.F. Field-quantified responses of tropical rainforest above ground productivity to increasing CO<sub>2</sub> and climatic stress, 1997–2009. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 118, n. 2, p. 783-794, 2013.
- COSTA, R. D., RESENDE, M. D., GONÇALVES, P. D. S., & SILVA, M. D. A. Individual multivariate REML/BLUP in the presence of genotype x environment interaction in rubber tree (*Hevea*) breeding. **Crop breeding and Applied Biotechnology**, v. 2, n. 1, p. 131-140, 2002a.
- COSTA, N. H. de A. D.; SERAPHIN, J. C.; ZIMMERMANN, F. J. P. Novo método de classificação de coeficientes de variação para a cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 3, p. 243-249, 2002b.
- CRUZ, C.D. REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.C. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2004. V.1. 480p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2006. 306p.

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

GARCIA, C.H.; NOGUEIRA, M.C.S. Utilização da metodologia REML/BLUP na seleção de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, n.68, p. 107-112, 2005.

GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A., SOUZA, A. H. B. N.; ARTHUR JUNIOR, J. C. Caracterização edafoclimática e manejo de solos das áreas com plantações de eucalipto. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. **Silvicultura do Eucalipto no Brasil**. 2016. Santa Maria: Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência-Editora UFSM, 2016. cap. 4.

HEIN, P. R. G.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; CHAIX, G. Estimativa do Ângulo Microbrillar em Madeira de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* por meio da Espectroscopia no Infravermelho Próximo. **Floresta e Ambiente**, v. 192, p. 194-199, 2012.

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.

IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório IBÁ 2017**. Brasília: Industria Brasileira de Árvores, 2018. 100 p.

Disponível em:

<[https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2017.pdf](https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf)> Acessado em 20/11/2018.

PAULA, R.C.; PAULA, N.F.; MARINO, C.L. Melhoramento de espécies perenes para condições de estresses abióticos. In: **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. FRIESCHENETO, R.; BÓREM, A. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011, p.227-250.

PUPIN, S.; SANTOS, A. V. A.; ZARUMA, D. U. G; MIRANDA, A. C; SILVA, P. H. M; MARINO, C. L; SEBBENN, A. M.; MORAES, M. L. T. PRODUTIVIDADE, ESTABILIDADE E ADAPTABILIDADE EM PROGÊNIES DE POLINIZAÇÃO ABERTA DE *Eucalyptus urophylla* S.T. BLAKE. **Scientia Forestalis** (IPEF), v. 43, p. 01-0, 2015.

PUPIN, S.; ZARUMA, D. U. G.; SOUZA, C. S.de; CAMBUIM, J.; COLETO, A. L.; ALVES, P. F.; MORAES, M. L. T.de. Parâmetros genéticos para caracteres de crescimento, espessura de casca e densidade básica da madeira em progênies de *Eucalyptus urophylla* ST Blake. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 115, p. 455-465, 2017.

MARTINS, I. S.; MARTINS, R. C. C.; CORREIA, H. S. Comparação entre seleção combinada e seleção direta em *Eucalyptus grandis*, sob diferentes intensidades de seleção. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 8, n. 1, p. 36-43, 2001.

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 progênies polinização livre de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Scientia Forestalis**, v.43, p.203-209, 2015.

MORAES, B.de; CARVALHO, E.V. de; ZIMBACK, I.; LUZ, O. L. S. dos; PIERONI, G.B; MORI. E. S. LEAL, T. C. A. de B.; Variabilidade genética em progênies de meio-irmãos de eucaliptos para tolerância ao frio. **Revista Árvore**, v. 39, n. 6, 2015.

MORAES, C.B; TAMBARUSSI, V.E.; GAMA, L.; ABILIO, F. M.; ZIMBACK, L.; PAULA, R. C.; MORI, E. Controle genético para a tolerância a geada em progênies de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, p. 373-381, 2016.

OLIVEIRA, T. W. G. D.; PAULA, R. C. D.; MORAES, M. L. T. D.; ALVARES, C. A.; MIRANDA, A. C.; SILVA, P. H. M. D. Stability and adaptability for wood volume in the selection of *Eucalyptus saligna* in three environments. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 5, p. 611-619, 2018.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações pra uso de aplicativos. Piracicaba: Fealq, 2002. 309p.

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**, Colombo, n. 32/33, p. 18-45, 1996.

RESENDE, M.D.V. SELEGEN-REML/BLUP. **Seleção genética computadorizada: manual do usuário**. Colombo: EMBRAPA–CNPQ, 2002. 67p.

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

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.3, p.182-194, 2007.

RESENDE M.D.V.; RAMALHO M.A.P.; CARNEIRO P.C.S.; CARNEIRO J.E.S.; BATISTA L.G.; GOIS I.B. Selection index with parents, populations, progenies,

and generations effects in autogamous plant breeding. **Crop Science**, v.56, p. 530–546. 2016.

ROCHA, M. das G.B.; PIRES, I.E.; ROCHA, R.B.; XAVIER, A.; CRUZ, C.D. Avaliação genética de progênes de meio-irmãos de *Eucalyptus grandis* por meio dos procedimentos REML/BLUP e da Anova. **Scientia Forestalis**, n.71, p.99-107, ago. 2006.

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 produção de híbridos interespecíficos utilizando REML/BLUP e informação de divergência genética. **Revista Árvore**, Viçosa, v.3, n.6, 2007.

ROSADO, A. M. ROSADO, T. B.; JÚNIOR, M. F. R. R.; BHERING, L. L., & CRUZ, C. D.; Ganhos genéticos preditos por diferentes métodos de seleção em progênes de *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 12, p. 1653-1659, 2010.

ROSADO, A.M.; ROSADO, T.B.; ALVES, A.A.; LAVIOLA, B.G.; BHERING, L.L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.7, p.964-971, 2012.

SOUZA, C. S et al. Estimativas de parâmetros genéticos para caracteres quantitativos em progênes de polinização aberta de *Eucalyptus urophylla*. **Floresta**, v. 41, n. 4, 2011.

STAPE, J.L. et al. The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production, **Forest Ecology and Management**, v.259, p.1684-1694, 2010.

STURION, J.A., RESENDE, M.D.V. de, CARPANEZZI, A.A., ZANON, A. Variação genética e seleção para características de crescimento em testes de progênes

de *Mimosa scabrella* var, *aspericarpa*. Embrapa – **Boletim Pesquisa Florestal.**, Colombo, n. 28-29, p. 73-83, 1994.

ZANATA, M.; FREITAS, M.L.M.; SILVA, M.T.; MORAIS, E.; ZANATTO, A.C.S.; SEBBENN, A.S. Parâmetros genéticos e ganhos na seleção em teste de progênies de polinização aberta de *Eucalyptus pellita*, em Batatais/SP. **Revista do Instituto Florestal**, v.22, n.2, p.233-242, 2010.

VENCOVSKY, R. Genética Quantitativa. In: KERR, W.C. (Coord). **Melhoramento e genética**. São Paulo: Melhoramento, 1969. P. 17-37.

VENCOSVSKY, R.; BARRIGA, P. Genética biométrica no fitomelhoramento. Ribeirão Preto: **Sociedade Brasileira de Genética**, 1992, 496p.

## ARTIGO 2

### MODELOS MISTOS REML/BLUP NA SELEÇÃO DE CLONES DE *Eucalyptus* spp. NA BAHIA<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Artigo a ser ajustado para posterior submissão ao Comitê Editorial do periódico científico CERNE, em versão na língua inglesa.

## MODELOS MISTOS REML/BLUP NA SELEÇÃO DE CLONES DE *Eucalyptus* spp. NA BAHIA

AUTORA: Isabella Santos Oliveira

ORIENTADOR: Prof. Dr<sup>o</sup> Carlos Alberto da Silva Ledo

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr<sup>o</sup> Ricardo Franco Cunha Moreira

**RESUMO:** O Brasil ocupa posição consolidada no mercado mundial de *commodity* de madeira. O gênero *Eucalyptus* representa cerca de 70% das áreas de florestas plantadas para fins industriais e devido aumento da demanda por matéria-prima e elevados preços das terras no sul e sudeste do país, as regiões de reflorestamento foram ampliadas para os estados do norte e nordeste que apresentam como limitação ao cultivo a pouca seleção de materiais adaptados às condições edafoclimáticas, por vezes limitantes em relação à disponibilidade hídrica. O objetivo desta pesquisa foi estudar os parâmetros e variabilidade genética e selecionar potenciais clones de *Eucalyptus* spp em testes plantados conforme regime hídrico em Crisópolis (região de baixa precipitação) e Jandaíra (região de alta precipitação), estado da Bahia, nordeste do Brasil. As estimativas de variância e parâmetros genéticos foram estimadas por meio do método de modelos mistos REML/BLUP aos cinco anos de idade para diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (ALT), volume total com casca (VOL). Os testes clonais foram conduzidos em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições, 30 árvores por parcela, sendo testados 46 novos clones de *E. urophylla*, e 5 clones de espécie desconhecida e provavelmente híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* em Crisópolis-Ba e 24 novos clones de *E. urophylla* em Jandaíra-Ba. Os clones de eucalipto estudados apresentam alta variabilidade genética, e, portanto a possibilidade de selecionar genótipos adaptados às condições edafoclimáticas de baixa e alta precipitação com ganhos na seleção entre e dentro de clones. O método REML/BLUP permitiu detectar presença de variabilidade genética nos caracteres altura total da planta e diâmetro à altura do peito em Crisópolis e Jandaíra – Ba, entretanto para o caractere volume total com casca não houve valor significativo estatisticamente evidenciado pelo Teste da razão de verossimilhança (LTR) nas

duas áreas. As herdabilidades médias ( $h_m^2$ ) para os dois locais foram superiores a 71% indicando controle genético na expressão dos caracteres analisados. Os melhores clones com base na característica de crescimento diâmetro à altura do peito foram 12, 9, 11, 13 e 16 comuns para as regiões de baixa (<1.000 mm anuais) e alta precipitação (>1.200 mm anuais). Os genótipos 7, 14, 2, 17, 1, 6, 5, 24, 22, 18, 21, 10, 23, 4 e 20 não são recomendados para regiões de baixa precipitação e solos mais arenosos na Bahia, nestes locais os genótipos 48, 29, 38, 50, 49, 46, 40, 42, 43, 8, 39, 37, 19, 34 e 29 poderão ser utilizados em reflorestamentos e aproveitados em programas de melhoramento genético.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eucalipto, melhoramento genético, parâmetros genéticos

## MIXED MODELS REML/BLUP IN THE SELECTION OF *Eucalyptus* spp. IN BAHIA

AUTHOR: Isabella Santos Oliveira

ADVISER: Prof. Dr<sup>o</sup> Carlos Alberto da Silva Ledo

CO-ADVISER: Prof. Dr<sup>o</sup> Ricardo Franco Cunha Moreira

**ABSTRACT:** Brazil occupies a consolidated position in the world timber commodities market. The genus *Eucalyptus* represents about 70% of planted forest areas for industrial purposes and, due to increased demand for raw materials and high land prices in the south and southeast of the country, the reforestation regions were expanded to the northern and northeastern states, which have as limitation to cultivation the limited selection of materials adapted to edaphoclimatic conditions, sometimes limiting in relation to water availability. The purpose of this research was to study the parameters and genetic variability and to select potential *Eucalyptus* spp. clones in tests planted according to the water regime in Crisópolis (low precipitation region) and Jandaíra (high precipitation region), Bahia state, northeast of Brazil. Estimates of variance and genetic parameters were estimated using the REML/BLUP mixed model method at five years of age for diameter at breast height (DBH), total height (ALT), total shell volume (VOL). Clonal tests were conducted in a randomized block design with four replications, 30 trees per plot and 46 new clones of *E. urophylla* and 5 clones of unknown and probably hybrid species of *E. grandis* x *E. urophylla* in Crisópolis-Ba. and 24 new clones of *E. urophylla* in Jandaíra-Ba. The *Eucalyptus* clones studied present high genetic variability and, therefore, the possibility of selecting genotypes adapted to low and high precipitation edaphoclimatic conditions with gains in selection among and within the clones. The REML/BLUP method allowed to detect the presence of genetic variability in the characters height and total diameter of the plant at breast height in Crisópolis and Jandaíra - Ba, however, for the total bark volume, there was no statistically significant value by Likelihood ratio (LTR) in both areas. The average heritability ( $h_m^2$ ) for both sites was higher than 71%, indicating genetic control in the expression of the analyzed characters. The best diameter-based clones in breast height growth

characteristics were 12, 9, 11, 13 and 16 common in the low (<1,000 mm annual) and high rainfall (> 1,200 mm annual) regions. Genotypes 7, 14, 2, 17, 1, 6, 5, 24, 22, 18, 21, 10, 23, 4 and 20 are not recommended for regions with low rainfall and more sandy soils in Bahia. Genotypes 48, 29, 38, 50, 49, 46, 40, 42, 43, 8, 39, 37, 19, 34 and 29 may be used in reforestation and used in breeding programs.

**KEY WORDS:** *Eucalyptus*, genetic improvement, genetic parameters

## INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa posição de relevância no cenário mundial de reflorestamento. Em 2017 se destacou como o 2º maior produtor de celulose do mundo consolidando sua posição no mercado mundial da *commodity*. As áreas de florestas plantadas para fins industriais no país representam 7,84 milhões de hectares, destes 73%, 5,7 milhões de hectares, são ocupados com plantios do gênero *Eucalyptus* (IBA, 2018) devido fatores favoráveis como inúmeras aplicações (celulose, papel, serraria, bioenergia), crescimento rápido em um ciclo relativamente curto e elevada adaptabilidade a diferentes regiões (MYBURG et al., 2007; SCOLFORO e FERRAZ FILHO, 2013; HSING et al., 2016).

Nos últimos anos verifica-se expansão em áreas produtivas de *Eucalyptus* spp. impulsionadas por novas unidades industriais (GONÇALVES et al., 2016; BALDIN et al., 2017). A correta seleção de materiais genéticos superiores para as diferentes regiões é crucial e envolve análises de potencial dos clones quanto às características requeridas aplicadas as condições locais, por vezes limitantes (SILVA et al., 2018).

A análise do desempenho de genótipos no processo de melhoramento genético promove a seleção de indivíduos superiores quanto às características de interesse passíveis de utilização em programas de melhoramento. Estudos envolvendo método de modelos mistos do tipo REML/BLUP na análise de testes clonais do gênero *Eucalyptus* refletem maior acurácia nas estimativas sendo considerado como o método mais adequado na predição de parâmetros genéticos e ganhos na seleção (HODGE e DVORAK 2015; RESENDE, 2016; HENRIQUES et al., 2017; PUPIN et al., 2017).

O presente trabalho teve como objetivo a estimação dos componentes de variância genética e parâmetros genéticos via modelos mistos em testes clonais de *Eucalyptus* spp. em dois municípios do estado da Bahia, conforme regime hídrico.

## MATERIAL E MÉTODOS

### *Material experimental*

Foram utilizados dois testes clonais de *Eucalyptus* spp. localizados em Crisópolis-Ba e Jandaíra – Ba, contendo 51 e 24 clones, respectivamente. Em Crisópolis-Ba foram testados 51 genótipos, dos quais 46 novos clones de *E. urophylla*, e 5 clones de espécie desconhecida e provavelmente híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*. Em Jandaíra-Ba foram testados 24 novos clones de *E. urophylla*. As tabelas 11 e 12 apresentam os números médios de indivíduos ( $\bar{n}$ ), altura total média (H) e diâmetro à altura do peito DAP (m) por clone de *Eucalyptus* aos 5 anos de idade.

**Tabela 11.** Número médio de indivíduos ( $\bar{n}$ ), altura total média (H) e diâmetro à altura do peito médio (DAP) de clones de *Eucalyptus* avaliados aos 5 anos de idade em Crisópolis-Ba.

Clone	$\bar{n}$	H (m)	DAP (m)
1	114	12,76	0,09
2	109	12,68	0,10
3	126	11,16	0,09
4	110	9,66	0,07
5	108	10,97	0,09
6	118	12,98	0,09
7	115	13,49	0,09
8	118	14,05	0,10
9	111	13,93	0,11
10	108	12,63	0,10
11	116	14,82	0,10
12	118	14,71	0,11
13	112	15,67	0,12
14	111	12,18	0,09
15	124	12,73	0,10
16	111	12,67	0,10
17	103	12,40	0,09
18	117	10,93	0,09
19	118	12,59	0,10
20	112	12,06	0,09
21	107	13,17	0,10
22	101	11,83	0,10

**Tabela 11.** Continuação...Número médio de indivíduos ( $\bar{n}$ ), altura total média (H) e diâmetro à altura do peito médio (DAP) de clones de *Eucalyptus* avaliados aos 5 anos de idade em Crisópolis-Ba.

Clone	$\bar{n}$	H (m)	DAP (m)
23	111	12,68	0,10
24	118	12,50	0,10
25	112	12,92	0,09
26	117	14,92	0,11
27	105	12,73	0,09
28	119	13,75	0,10
29	118	13,55	0,10
30	117	12,55	0,09
31	117	12,91	0,09
32	118	13,75	0,10
33	142	11,28	0,10
34	119	13,34	0,10
35	114	10,85	0,09
36	126	10,13	0,10
37	115	12,23	0,10
38	91	13,94	0,11
39	117	13,29	0,10
40	121	14,26	0,10
41	123	12,75	0,10
42	119	14,56	0,10
43	116	14,65	0,10
44	115	13,23	0,09
45	105	10,40	0,10
46	115	13,09	0,10
47	132	11,36	0,09
48	108	14,10	0,11
49	121	15,16	0,10
50	120	14,82	0,11
51	122	12,16	0,10
<b>Total</b>	<b>5.880</b>	<b>12,90</b>	<b>0,10</b>

**Tabela 12.** Número médio de indivíduos ( $\bar{n}$ ), altura total média (H) e diâmetro à altura do peito médio (DAP) de clones de *Eucalyptus* avaliados aos 5 anos de idade em Jandaíra - Ba.

Clone	$\bar{n}$	H (m)	DAP (m)
1	96	17,42	0,13
2	126	17,41	0,13
3	109	13,19	0,10
4	99	14,89	0,12
5	107	18,23	0,13
6	73	16,66	0,13
7	121	17,30	0,13
8	116	15,95	0,11
9	111	18,88	0,14
10	109	16,91	0,12
11	73	17,78	0,14
12	112	17,50	0,14
13	114	18,40	0,13
14	115	18,35	0,13
15	112	15,43	0,11
16	102	16,11	0,13
17	99	16,33	0,13
18	111	16,27	0,12
19	80	15,16	0,12
20	77	15,01	0,11
21	111	17,10	0,12
22	121	16,61	0,12
23	120	16,54	0,12
24	106	18,06	0,13
<b>Total</b>	<b>2.520</b>	<b>16,73</b>	<b>0,12</b>

### ***Condução experimental***

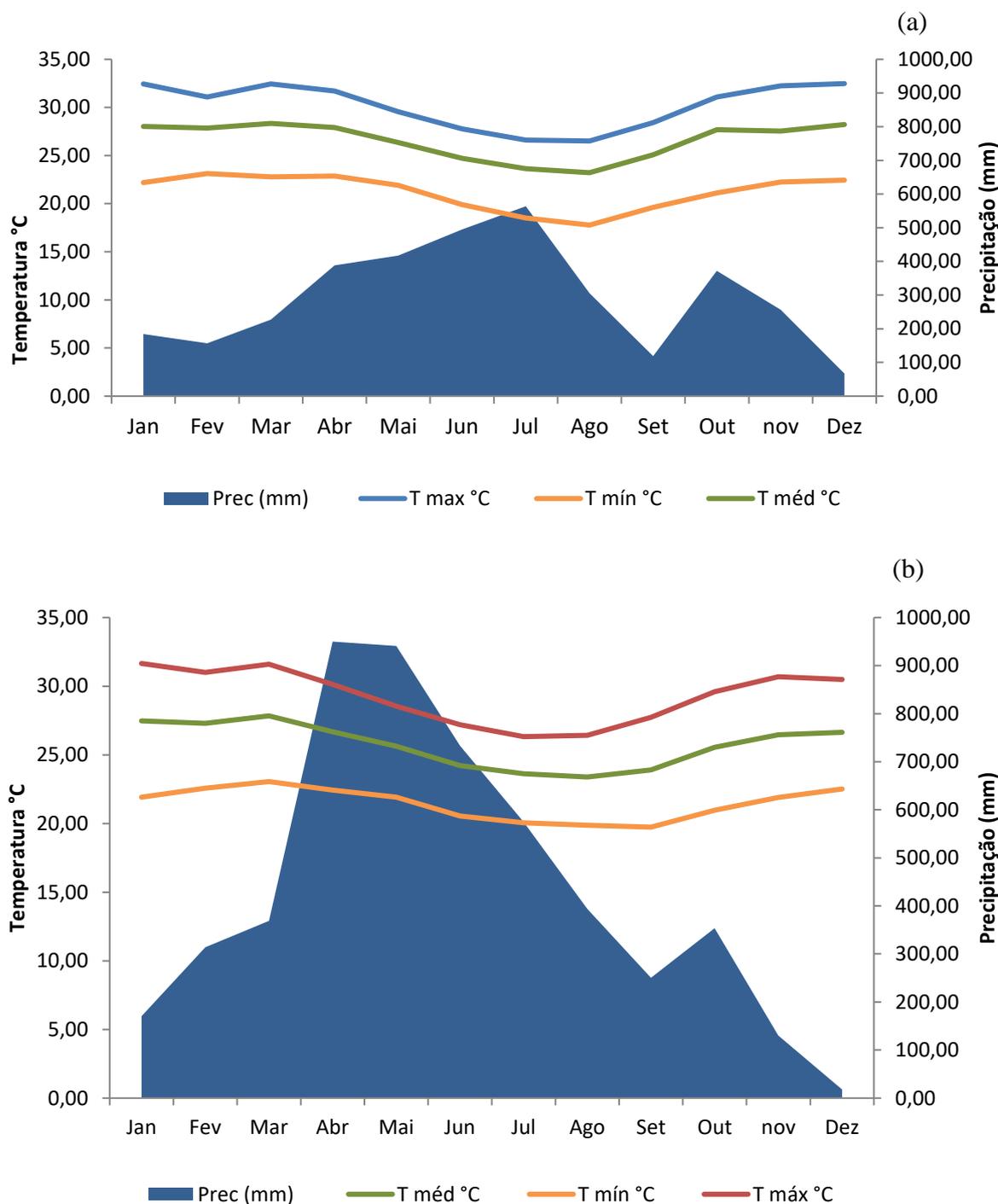
Os testes foram implantados no ano de 2010, em duas áreas experimentais pertencentes a uma empresa de celulose do nordeste da Bahia, nos municípios de Crisópolis – Bahia e Jandaíra – Bahia. Estas áreas foram selecionadas conforme dados de precipitação, sendo classificadas como na tabela a seguir (Tabela 13).

**Tabela 13.** Informações de clima, precipitação e solo das áreas experimentais. Cruz das Almas - Ba, 2019.

Área	Município	Latitude	Longitude	Clima	Precipitação média anual (mm)	Classificação Solo*
1	Crisópolis - Ba	11°31'00"S	38°09'00"W	Aw	900	RQo3
2	Jandaíra - Ba	11°33'50"S	37° 47' 2" W	As	1300	Padx4

\*Fonte: EMBRAPA (2006). RQo3: Neossolo Quartzarênico Órtico; PADx4: Argissolo Amarelo Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (e abruptico) + Latossolo Amarelo Distrocoeso típico.

Os dados climatológicos foram obtidos de duas estações meteorológicas da empresa localizadas próximas das áreas de estudo. O plantio localizado em Crisópolis – BA foi realizado no mês de Julho de 2010. No período de 2010 a 2015 a região apresentou pluviosidade média de 595 mm anuais concentrada nos meses de Abril a Junho, a temperatura média foi de 26°C com máxima média de 30°C e mínima média de 21°C. O plantio localizado em Jandaíra – Ba foi realizado no mês de Agosto de 2010. No período de 2010 a 2015 a região apresentou pluviosidade média de 1.732 mm anuais concentrada nos meses de Fevereiro a Maio, a temperatura média foi de 26°C com máxima de 29°C e mínima de 21°C (Figura 4).



**Figura 4.** Dados de média de precipitação pluviométrica (Prec mm) temperatura máxima (Tmáx °C), temperatura mínima (Tmin °C) e temperatura média (Tmed °C) no período de 2010 a 2015 para testes clonais de *Eucalyptus* spp. a) Crisópolis - Ba; b) Jandaíra - Ba. Cruz das Almas – Ba, 2019.

As operações de preparo da área e plantio foram realizadas conforme procedimentos da empresa e compreenderam as atividades de rebaixamento da vegetação (roçada manual), controle da matocompetição (aplicação de herbicida em área total), combate a formigas (utilização de iscas formicidas), subsolagem na

linha de plantio a 0,6 m de profundidade, aplicando fosfato de Araxá (300-500kg/ha) e adubação de base (6:30:6) de N-P-K, realizando-se o plantio em seguida.

No plantio as mudas tiveram seus sistemas radiculares imersos em solução de 1,5 Kg MAP (60% de  $P_2O_5$  e 12% de N), 500g cupinicida à base de imidacloprid, diluídos em 100L de água, utilizou-se o método semimecanizado com o uso da plantadeira tipo matraca e irrigação por meio de trator e carreta pipa logo em seguida, sendo dois litros de água por cova. Posteriormente, foram realizadas mais duas irrigações, com intervalos de dois dias e a mesma quantia de água, necessárias para suprir a demanda hídrica do período de estiagem pós- plantio.

Após 90 dias, aplicou-se fertilizante químico de 160Kg/ha (10%N, 30%P, 10% K, 0,5% B, 0,5% Zn e 0,5% Cu). Nos anos subseqüentes foram realizados controle das formigas e roçada nas linhas (manual) e nas entrelinhas (mecanizada).

O percentual de mortalidade e sobrevivência das plantas no período analisado foi estimada pelas equações abaixo.

$$M = \frac{MM}{MP} 100$$

em que: M= percentual de mortalidade em campo; MM= Número de mudas mortas; MP= Número de mudas plantadas.

$$\% S = 100 - (M)$$

em que: % S= Percentual de sobrevivência; M= Percentual de mortalidade em campo.

### ***Delineamento experimental***

O delineamento utilizado para as duas áreas, Crisópolis – Bahia (A1) e Jandaíra – Bahia (A2), foi o de blocos casualizados com quatro repetições, 30 árvores por parcela. As parcelas dos experimentos foram lineares com espaçamento de 3x2 metros e bordadura externa dupla.

### **Avaliação dos testes clonais**

Os testes clonais foram avaliados aos cinco anos de idade quanto ao crescimento em altura total (H), em metros, com auxílio do aparelho hipsômetro Blume-Leiss e diâmetro à altura do peito (DAP), em metros, com auxílio da fita graduada a 1,30 m acima do nível do solo. O volume foi estimado utilizando as seguintes fórmulas:

DAP < 10 cm

$$V_{CC} = EXP (-9.82106539918 + 1.8369394337 * LN ([DAP]) + 1.0057569058 * LN ([H]))$$

DAP ≥ 10 cm e DAP < 15

$$V_{CC} = EXP (-10.0116841512 + 1.7652682572 * LN ([DAP]) + 1.1309336322 * LN ([H]))$$

DAP ≥ 15

$$V_{CC} = EXP ((-10.2760721026 + 1.7894371462 * LN ([DAP]) + 1.1959518944 * LN ([H]))$$

em que

V<sub>CC</sub>= volume do tronco (comercial) da árvores, em m<sup>3</sup> com casca;

LN = Logaritmo natural;

DAP = Diâmetro à Altura do Peito, em cm

H = Altura, em metros

Para as análises foram desconsiderados os dados de árvores mortas e secas, variando o número de plantas por repetição conforme tabela 14.

**Tabela 14.** Número médio de clones ( $\bar{n}$ ), altura total média (H), diâmetro à altura do peito médio (DAP) e sobrevivência (%) de *Eucalyptus* spp. avaliados aos cinco anos de idade em Crisópolis e Jandaíra - Ba. Cruz das Almas, 2019.

Local	Bloco	Alt (m)	DAP (m)	$\bar{n}$	Sobrevivência
Crisópolis-Ba	1	13,32	0,10	1512	99%
	2	13,18	0,10	1493	98%
	3	12,61	0,09	1449	95%
	4	12,44	0,10	1426	93%
Total/Média	-	12,89	0,10	5880	96%
Jandaíra - Ba	1	15,51	0,11	655	91%
	2	16,06	0,12	656	91%
	3	17,87	0,13	624	87%
	4	17,82	0,13	585	81%
Total/Média	-	16,82	0,12	2520	88%

### **Análises genético-estatísticas**

Os parâmetros genéticos para prever os valores genéticos dos clones foram estimados com base nas informações fenotípicas coletadas aos 5 anos de idade de altura total, diâmetro à altura do peito e volume com casca das plantas. O teste de significância empregado foi o teste da razão de verossimilhança (LRT), obtido a partir da diferença entre as *deviances* para modelos sem e com efeito a partir do teste de qui-quadrado. As estimativas de componentes de variância e parâmetros genéticos foram obtidas pelo método REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não viciada), a partir de dados desbalanceados, empregando-se o software genético-estatístico SELEGEN-REML/BLUP, desenvolvido por Resende (2007).

Nas duas áreas, Crisópolis e Jandaíra – Ba foi utilizado o modelo de blocos casualizados, várias plantas por parcela, um só local, seguindo o proposto por RESENDE (2002):

$$y = Xr + Za + Wp + e$$

em que:

y: vetor dos dados;

r: vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral;

a: vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (aleatórios);

p: vetor dos efeitos das parcelas (aleatórios);

e: Vetor de erros ou resíduos (aleatórios)

**X**, **Z** e **W**: matrizes de incidência que relacionam, respectivamente, os efeitos de m, g e b ao vetor y.

As equações de modelo misto equivalem para a predição de m, g e b:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'W \\ Z'X & Z'Z \lambda_1 & Z'W \\ W'Z & W'Z & W'W + \lambda_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m \\ g \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ W'y \end{bmatrix};$$

em que:

$$\lambda_1 = \frac{1 - hg^2 - hi^2}{hg^2}; \quad \lambda_2 = \frac{1 - hg^2 - hi^2}{hi^2};$$

$hg^2$ : herdabilidade à nível de média dos genótipos;

$hb^2$ : coeficiente de determinação do efeito de bloco dentro de repetição;

Devido os efeitos do modelo não serem testados pelo teste F, utilizou-se o teste da razão de verossimilhança (LRT) para a significância da diferença do teste qui-quadrado com 1 grau de liberdade. A herdabilidade é a variabilidade total de natureza genética, sendo um dos mais importantes parâmetros genéticos, quantifica a variação fenotípica de natureza herdável, portanto é a relação entre a variância genética e a variância total (VENCOVSKY, 1969; RESENDE, 2002). Neste estudo foram estimadas as herdabilidades:

a) Herdabilidade no sentido restrito em nível de plantas ( $\hat{h}^2$ )

$$(\hat{h}^2) = \hat{\sigma}_a^2 / \hat{\sigma}_f^2$$

b) Herdabilidade entre médias de famílias de meio-irmãos ( $\hat{h}_m^2$ )

$$(\hat{h}_m^2) = \frac{1}{4} \hat{\sigma}_a^2 / \hat{\sigma}_f^2$$

c) Herdabilidade dentro de famílias de meio-irmãos ( $\hat{h}_{ad}^2$ )

$$(\hat{h}_{ad}^2) = \frac{3}{4} \hat{\sigma}_a^2 / \hat{\sigma}_d^2$$

Para estimativa dos ganhos de seleção considerando os valores genotípicos, sendo a média dos indivíduos melhorados igual à média dos indivíduos selecionados foi utilizada a fórmula abaixo:

$$G_s = \bar{X}_s$$

em que:

G<sub>s</sub>: Ganho com a seleção;

X<sub>s</sub>: média dos indivíduos selecionados

As variâncias foram determinados a partir dos valores:

a) Variância genética aditiva: ( $\hat{\sigma}_a^2$ )

$$\hat{\sigma}_a^2 = [\hat{a}'A^{-1}\hat{a} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr}(A^{-1}C^{22})]/q$$

b) Variância ambiental entre parcelas: ( $\hat{\sigma}_c^2$ )

$$\hat{\sigma}_c^2 = [\hat{c}'\hat{c} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr} C^{33}]/S_1$$

c) Variância residual (ambiental + não aditiva)

$$\hat{\sigma}_e^2 = [y'y - \hat{r}'X'y - \hat{a}'Z'y - \hat{c}'W'y]/[N - r(x)]$$

Com os valores de C<sup>22</sup> e C<sup>33</sup> provém da inversa de C.

C: matriz dos coeficientes das equações de modelo misto.

tr: operador traço matricial

r(x): posto da matriz X

N, q, s: número de dados, indivíduos e parcelas, respectivamente

d) Variância fenotípica individual ( $\hat{\sigma}_f^2$ )

$$\hat{\sigma}_f^2 = \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_c^2 + \hat{\sigma}_e^2$$

Na determinação da relação dos coeficientes de variação genético/residual ( $CV_g/CV_e$ ): coeficiente de variação relativo ( $CV_r$ ), as estimativas dos componentes de variância genotípica e residual,  $\hat{\sigma}_g^2$  e  $\hat{\sigma}_e^2$  respectivamente, calculando  $CV_r$

$$CV_g = \frac{\hat{\sigma}_g}{\bar{X}} \times 100 \quad CV_e = \frac{\hat{\sigma}_e}{\bar{X}} \times 100$$

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

em que:

$\hat{\sigma}_g$ : Desvios padrão genético;

$\hat{\sigma}_e$ : Desvios padrão residual;

$\bar{X}$ : média geral

A partir dos resultados de  $CV_r$  foi possível calcular a acurácia seletiva ( $\hat{r}_{gg}$ ) segundo Resende e Duarte (2007):

$$\hat{r}_{gg} = \left[ 1 - \frac{1}{1 + b \times (CV_r)^2} \right]^{1/2}$$

em que:

b: número de blocos do delineamento estatístico;

$CV_r$ : Coeficiente de variação relativo;

O vetor de soluções das equações de modelos mistos apresentam os efeitos genotípicos preditos para os clones testados. Os valores genotípicos foram obtidos a partir da soma de cada efeito genotípico à média geral do experimento, o ganho genético corresponde a média dos valores genéticos preditos para cada clone selecionado e a média geral somada ao ganho genético tem como resultado a média da população melhorada.

Com o objetivo de atingir os ganhos genéticos na seleção clonal, realizou-se a seleção dos 20 melhores clones a partir dos valores genéticos preditos, conforme definido por RESENDE (2007). A seleção foi realizada a partir da característica diâmetro à altura do peito (DAP), devido ser uma característica que acarreta em menores erros em relação à variável altura, com elevada correlação

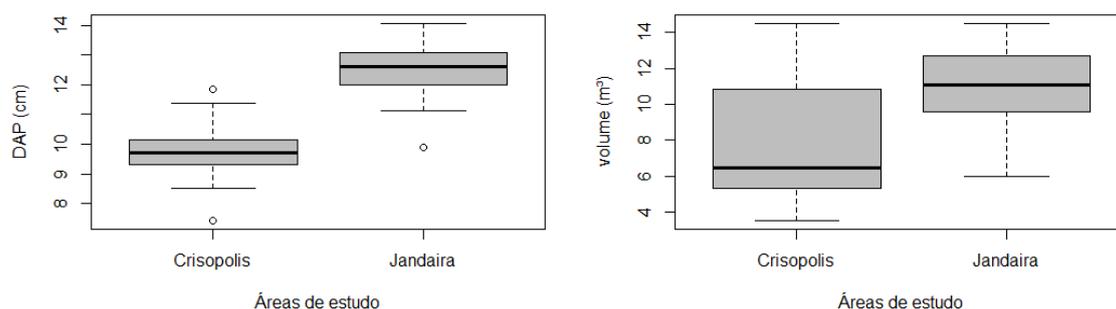
genética com os caracteres altura e volume (ROCHA, 2006; MIRANDA et al., 2015; PUPIN et al., 2015). As análises foram obtidas com base no valor genético predito das progênies com a utilização do procedimento BLUP.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aos cinco anos de idade, das 6.125 árvores plantadas no teste clonal em Crisópolis-Ba, 5.880 árvores sobreviveram (96% sobrevivência), o teste clonal localizado em Jandaíra-Ba apresentou menor percentual de sobrevivência, das 2.864 árvores plantadas, 88% sobreviveram (2.520).

O desempenho em DAP médio foi superior para Jandaíra – Ba, 12,47 cm em relação ao verificado em Crisópolis-Ba para esta característica, 9,73 cm. Esta diferença pode ser devido o solo de Jandaíra – Ba, classificado como PAdx4 (Argissolo Amarelo Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (e abruptico) + Latossolo Amarelo Distrocoeso típico) possuir textura mais argilosa em relação ao solo de Crisópolis-Ba classificado como RQo3 (Neossolo Quartzarênico Órtico), o que permite maior capacidade de retenção de água e nutrientes para o desenvolvimento das plantas. Condição similar de desempenho foi observada para a característica altura total (H) 16,82 cm superior para Crisópolis em relação à Jandaíra – Ba, 12,89 cm.

Verifica-se tendência de similaridade entre os caracteres DAP (cm) e volume com casca (m<sup>3</sup>) nos testes clonais analisados (Figura 5). O volume com casca médio por clone obtido aos cinco anos de idade para Crisópolis – Ba foi de 7,45 m<sup>3</sup>, enquanto que para Jandaíra -Ba foi de 10,97m<sup>3</sup>, assim como para o caractere DAP o volume com casca foi superior em Jandaíra - Ba é um “site” mais produtivo em relação à Crisópolis que além do solo possui outras condições ambientais favoráveis ao desempenho de *Eucalyptus* spp. como a maior pluviosidade.



**Figura 5.** Boxplots comparando o desenvolvimento dos testes clonais de *Eucalyptus* spp. em função de dois locais, Crisópolis-Ba e Jandaíra – Ba, para caracteres de crescimento. Cruz das Almas, 2019.

Os parâmetros genéticos estimados de forma individual para as características diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total (ALT), aos cinco anos de idade, em Crisópolis e Jandaíra-Ba, foram significativos pelo Teste da Razão de Verossimilhança – LRT ( $p < 0,05$ ), as diferenças significativas entre clones indicam potencial para aplicação em programas de melhoramento genético a partir da seleção de clones com melhor desempenho (Tabela 15).

**Tabela 15.** Componentes de variância em testes clonais de *Eucalyptus* spp. aos cinco anos de idade nos municípios de Crisópolis e Jandaíra - Ba. Cruz das Almas - Ba, 2019.

Caracteres	Local	Variâncias			LRT
		$\hat{\sigma}_g^2$	$\hat{\sigma}_e^2$	$\hat{\sigma}_f^2$	
ALT	Crisópolis-Ba	0.907	2.154	3.969	8,040**
DAP		0.299	2.674	3.273	11,852**
VOL		0.001	0.002	0.002	-4,228 <sup>ns</sup>
ALT	Jandaíra – Ba	0.946	8.466	10.360	10,646**
DAP		0.429	8.023	8.881	7,887**
VOL		0.0001	0.0021	0.0024	-1,295 <sup>ns</sup>

\*ALT = Altura total; DAP = Diâmetro à altura do peito; VOL = Volume total com casca. Teste de razão de verossimilhança (LRT), testado via qui-quadrado com 1 grau de liberdade.\*\*\* significativo a 1% de probabilidade, \*\* significativo a 5% de probabilidade, ns = não-significativo,  $\hat{\sigma}_g^2$ : variância genética entre clones;  $\hat{\sigma}_e^2$ : variância residual entre parcelas;  $\hat{\sigma}_f^2$ : variância fenotípica individual.

Os valores baixos das variâncias para o carácter VOL em Crisópolis e Jandaíra – Ba se justificam devido LRT não ter sido significativa estatisticamente para este carácter nos dois locais. As variâncias genéticas entre clones ( $\hat{\sigma}_g^2$ ) foram

decrecentes nos dois locais para os caracteres altura total (ALT) e diâmetro à altura do peito (DAP) indicando maior variabilidade genética para o caráter ALT em relação ao DAP. As estimativas de variância de Jandaíra – Ba foram positivas e superiores em todas os caracteres analisados em relação a Crisópolis-Ba, desta forma, há em Jandaíra - Ba maior variabilidade entre os clones passíveis de seleção.

O coeficiente de variação genética entre clones ( $CV_{gi}\%$ ), que expressa a porcentagem de variação genética aditiva existente entre clones e que conforme Resende (2002) quanto maior o valor encontrado maiores as chances de obtenção de ganhos genéticos em seleção, foi da ordem de 5,849 a 7,390 para ALT , de 5,256 a 5,627 para DAP, e de 11,198 a 15,840 para VOL. Moraes et al., (2015) encontrou valores próximos aos do presente estudo em *Eucalyptus* spp com maior variação entre os locais para a característica VOL (7,91% a 17,34%) (Tabela 16).

**Tabela 16.** Estimativa de coeficientes de variação em testes clonais de *Eucalyptus* spp. aos cinco anos de idade nos municípios de Crisópolis e Jandaíra - Ba. Cruz das Almas - Ba, 2019.

Parâmetros	Caracteres	Áreas de estudo	
		Crisópolis - Ba	Jandaíra - Ba
$CV_{gi}\%$	ALT	7,390	5,849
	DAP	5,627	5,256
	VOL	15,840	11,198
$CV_e\%$	ALT	7,677	6,664
	DAP	6,410	6,696
	VOL	16,993	13,816
$C_{parc}^2$	ALT	0,228	0,0914
	DAP	0,091	0,0483
	VOL	0,153	0,0560

\* $C_{parc}^2$ : Coeficiente de determinação dos efeitos de parcela;  $CV_e\%$ : Coeficiente de variação residual;  $CV_{gi}\%$ : Coeficiente de variação genotípica entre clones. ALT = Altura total; DAP = Diâmetro à altura do peito; Vol = Volume total com casca.

Os valores de coeficiente de variação residual ( $CV_e\%$ ) em experimentos instalados em campo podem ser classificados segundo Resende (2002) como: baixo - abaixo de 10%; médios - 10 a 30%, e altos - acima de 30%. O coeficiente de variação residual variou de 6,410 a 6,696 para DAP, 6,664 a 7,677 para ALT e 11,198 a 15,840 para VOL, em Crisópolis e Jandaíra-Ba, respectivamente, sendo

classificados como baixo para DAP e ALT e médio para VOL. Rosado et al., (2012) indicam tendência para VOL de  $CV_e\%$  mais elevado em relação a características como DAP e ALT devido ser uma variável obtida indiretamente que pode conter acúmulo dos erros experimentais das variáveis de cálculo. Os valores de  $CV_e\%$  encontrados indicam que o delineamento experimental adotado forneceu um bom controle da variação ambiental.

Os valores de coeficiente de determinação dos efeitos de parcelas ( $C_{parcel}^2$ ) foram inferiores a 10% para diâmetro à altura do peito em Crisópolis e Jandaíra-Ba e para altura total e volume total com casca em Jandaíra-Ba, valores superiores ao indicado por Resende (2002), 10%, podem interferir na estimativa dos parâmetros genéticos. Neste caso, este percentual ocorreu para as características ALT e VOL em Crisópolis-Ba, o que infere a existência de maior influência do ambiente sobre esta característica, a seleção com base nestes caracteres não são os mais adequados para este local.

A acurácia da seleção clonal ( $\hat{r}_{gg}$ ) pode ser classificada segundo Resende e Duarte (2007) como muito alta ( $\geq 0,90$ ), alta (entre 0,70 e 0,90), moderada (entre 0,50 e 0,70) e baixa ( $< 0,50$ ). Nas variáveis analisadas, nos dois locais, a acurácia foi de 80% indicando precisão e controle quanto às variações ambientais e acerto na seleção com ganhos de produtividade (Tabela 6). Lima et al., (2011) encontraram em estudo de seleção de *Eucalyptus* spp. valores próximos aos do presente estudo (0,78) (Tabela 17).

**Tabela 17.** Estimativa de parâmetros genéticos em testes clonais de *Eucalyptus* aos cinco anos de idade nos municípios de Crisópolis e Jandaíra - Ba. Cruz das Almas - Ba, 2019.

Caracteres	Local	Parâmetros Genéticos				
		$\hat{r}_{gg}$	$CV_r$	$\hat{h}_a^2$	$h_m^2$	$h_{ad}^2$
ALT	Crisópolis - Ba	0,80	0,963	0,2280 ± 0,0176	0,787	0,296
DAP		0,80	0,878	0,0915 ± 0,0112	0,755	0,101
VOL		0,80	0,932	0,1530 ± 0,0144	0,776	0,181
ALT	Jandaíra – Ba	0,80	0,878	0,0914 ± 0,0170	0,755	0,101
DAP		0,80	0,785	0,0483 ± 0,0123	0,711	0,051
VOL		0,80	0,810	0,0565 ± 0,0134	0,724	0,059

\* $\hat{h}_a^2$ : herdabilidade individual no sentido restrito;  $h_m^2$ : herdabilidade da média dos clones;  $h_{ad}^2$ : herdabilidade aditiva dentro de parcela;  $CV_r$ : coeficiente de variação relativa;  $\hat{r}_{gg}$ : Acurácia da seleção de clones; ALT = Altura total; DAP = Diâmetro à altura do peito; Vol = Volume total com casca.

O coeficiente de variação relativa ( $CV_r$ ) verificado para todos os caracteres em Crisópolis e Jandaíra - Ba foi inferior a 1, indicando que a variação ambiental foi maior do que a genética, pouco favoráveis para ganhos genéticos na seleção entre clones, indicando seleção dentro de clones. Henriques et al., (2017) encontraram valores para  $CV_r$  de 0,87 para ALT, resultado igual ao encontrado para esta variável em Jandaíra-Ba, valores de 0,55 para DAP e 0,65 para VOL, inferiores aos encontrados no presente estudo para estas características nos dois locais analisados. Zhu et al., (2017) encontrou valores deste parâmetro em híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis* aos 8 anos de idade, 0,64 atribuindo ao fato desse maior valor ser proporcional à idade, devido maior interferência de efeitos de dominância (efeito não-aditivo).

As herdabilidades individuais no sentido restrito ( $\hat{h}_a^2$ ), parâmetro que quantifica o valor relativo da proporção aditiva da variância genética transmitida para a próxima geração, variaram de 0,0483 à 0,2280. Em Jandaíra-Ba, todas as estimativas podem ser interpretadas como baixas (<0,15), segundo classificação de Resende (1996), assim como para o caractere DAP em Crisópolis-Ba, similares aos obtidos por Nunes et al., (2017) em estudo com clones de *Eucalyptus*, de 0,07 para o caractere altura. Convém salientar que apesar dos valores encontrados no presente estudo se classifiquem como baixos, o intervalo de variação difere de zero, havendo diferenças genéticas existentes entre os indivíduos. Em Crisópolis –

Ba as estimativas para ALT e VOL conforme classificação de Resende (1995) são alta e média, respectivamente. Engel et al., (2016) encontraram para DAP neste parâmetro em *E. macarthurii* aos 8 anos de idade valores superiores aos do presente estudo, entre 0,09 a 0,78.

As herdabilidades médias ( $h_m^2$ ) encontradas para os dois locais estudados foram superiores a 71%, havendo controle genético em expressão dos caracteres analisados (ROSADO et al., 2012). Zanata et al. (2010), estudando *Eucalyptus pellita*, obtiveram valores para herdabilidades médias de 0,85% para ALT e 0,90% para DAP, superiores aos obtidos neste estudo. As herdabilidades aditivas dentro de parcelas ( $h_{ad}^2$ ) foram medianas, conforme classificação de Resende (1995), que considera para esta classificação valores de até 0,50, em todos os caracteres e locais analisados, exceto para DAP e VOL em Jandaíra-Ba, este fato pode ser justificado ao estágio adiantado de melhoramento dos materiais genéticos instalados nos testes clonais segundo Henriques et al., (2017).

Os ganhos genéticos obtidos nos testes clonais, tamanho efetivo populacional e as novas médias (valor genético aditivo predito mais a média original) para a variável DAP são apresentados na tabela 18.

**Tabela 18.** Clones selecionados, ganhos genéticos, tamanho efetivo populacional e as novas médias (valor genético aditivo predito mais a média original) em função dos valores genotípicos preditos para a variável DAP em testes clonais de *Eucalyptus* spp. aos cinco anos de idade nos municípios de Crisópolis e Jandaíra - Ba. Cruz das Almas - Ba, 2019.

Local	Clones selecionados	Ganho	VG Predito	Nova Média
Crisópolis - Ba	13	1.011	10.74	10.74
	9	0.7882	10.52	10.62
	48	0.6846	10.41	10.55
	26	0.5333	10.26	10.48
	38	0.5180	10.24	10.43
	12	0.4456	10.17	10.38
	50	0.3949	10.12	10.35
	49	0.3341	10.06	10.31
	46	0.3272	10.05	10.28
	40	0.3009	10.03	10.25
	42	0.284	10.09	10.23
	43	0.2837	10.00	10.21
	11	0.2438	9.96	10.19
	8	0.1747	9.89	10.17
	39	0.1463	9.87	10.15
	37	0.1410	9.86	10.13
	19	0.1043	9.83	10.12
	34	0.1001	9.82	10.10
16	0.0772	9.80	10.08	
29	0.0645	9.79	10.07	
Jandaíra - Ba	12	0.6208	13.08	13.08
	9	0.5313	12.99	13.04
	7	0.4286	12.89	12.99
	11	0.4131	12.87	12.96
	14	0.3774	12.84	12.94
	13	0.3337	12.80	12.92
	16	0.3023	12.76	12.89
	2	0.2709	12.73	12.87
	17	0.2664	12.73	12.86
	1	0.2333	12.69	12.84
	6	0.1475	12.62	12.82
	5	0.0831	12.55	12.80
	24	0.0189	12.48	12.77
	22	0.0010	12.46	12.75
	18	-0.0189	12.44	12.74
	21	-0.0260	12.44	12.71
	10	-0.0600	12.41	12.69
	23	-0.1287	12.34	12.67
4	-0.3735	12.09	12.64	
20	-0.4047	12.06	12.61	

\* VG = Valor genético aditivo predito.

Observa-se valores positivos para ganho genético individual na seleção de clones em Crisópolis-Ba, com baixa amplitude variando de 0,0645 a 1.011. Isto pode ser devido ao número de clones ( $p=51$ ), que apesar de elevado número de plantas/clones ( $n=120$ ), faz com que os melhores genótipos participem com grande número de indivíduos selecionados. Entretanto para Jandaíra – Ba verifica-se que os clones 18, 21, 10, 23, 4, 20 apresentaram valores negativos, desta forma, nesta área a intensidade da seleção deverá ser menor.

Como previsto pelos coeficientes de variação genética aditiva entre clones e pelos coeficientes de herdabilidade, os resultados dos ganhos esperados para a seleção foram satisfatórios, sendo a média da população atual para DAP em Jandaíra – Ba de 12,47 cm e a esperada da população melhorada de 12,83 e para Crisópolis-Ba de 9,73 cm para 10,29 cm na esperada na população melhorada.

O clone 13 em Crisópolis e 16 em Jandaíra-Ba apresentaram os maiores valores em ganho genético e valor genético aditivo predito, em relação aos demais clones. Os valores encontrados neste estudo podem ser considerados em recomendações clonal com base em características genéticas em áreas similares às do presente estudo. Os melhores clones com base na característica de crescimento diâmetro à altura do peito foram 12, 9,11,13 e 16 comuns para as regiões de baixa (<1.000 mm anuais) e alta precipitação (>1.200 mm anuais). Os genótipos 7, 14, 2, 17, 1, 6, 5, 24, 22, 18, 21,10, 23, 4 e 20 não são recomendados para regiões de baixa precipitação e solos mais arenosos, nestes locais os genótipos 48, 29, 38, 50, 49, 46, 40, 42, 43, 8, 39, 37, 19, 34 e 29 poderão ser utilizados em reflorestamentos.

## CONCLUSÕES

Os clones de eucalipto estudados apresentam alta variabilidade genética, e, portanto a possibilidade de selecionar genótipos adaptados às condições edafoclimáticas de baixa e alta precipitação com ganhos na seleção entre e dentro de clones.

A presença de variabilidade genética foi detectada para todos os caracteres altura total da planta e diâmetro à altura do peito em Crisópolis e Jandaíra – Ba, entretanto para volume total com casca não obteve valores significativos estatisticamente evidenciada pelo Teste da razão de verossimilhança (LTR). A variação genética entre os clones foi corroborada pelo fato das estimativas de CV<sub>gi</sub> serem superiores às encontradas para CV<sub>e</sub> para os caracteres: ALT, DAP para Jandaíra-Ba e DAP em Crisópolis-Ba, com pequena variação no caractere ALT em Crisópolis-Ba, e para VOL os valores de CV<sub>gi</sub> foram inferiores a CV<sub>e</sub>. As herdabilidades médias ( $h_m^2$ ) para os dois locais foram superiores a 71% indicando controle genético na expressão dos caracteres analisados.

Os melhores clones com base na característica de crescimento diâmetro à altura do peito foram 12, 9,11,13 e 16 comuns para as regiões de baixa (<1.000 mm anuais) e alta precipitação (>1.200 mm anuais). Os genótipos 7, 14, 2, 17, 1, 6, 5, 24, 22,18, 21, 10, 23, 4 e 20 não são recomendados para regiões de baixa precipitação e solos mais arenosos na Bahia, nestes locais os genótipos 48, 29, 38, 50, 49, 46, 40, 42, 43, 8, 39, 37, 19, 34 e 29 poderão ser utilizados em reflorestamentos e aproveitados em programas de melhoramento genético.

## REFERÊNCIAS

- BALDIN, T.; MARCHIORI, J.N.C.; NISGOSKI, S.; TALGATTI, M.; DENARDI, L. Anatomia da madeira e potencial de produção de celulose e papel de quatro espécies jovens de *Eucalyptus* L'Hér. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 8, n. 2, 2017.
- ENGEL, M.L.; HIGA, A.R.; ANDREJOW, G.P.; FLORES JUNIOR, P.C.; SOARES, I.D. Genetic gain from different selection methods in *Eucalyptus macarthurii* progenies in different environments. **Cerne**, v.22, p.299-308, 2016.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2006. 306p.
- FONSECA, R.R.G.; GONÇALVES, F.M.A.; ROSSE, L.N.; RAMALHO, M.A.P.; BRUZI, A.T.; REIS, C.A.F. Realized heritability in the selection of *Eucalyptus* spp. trees through progeny test. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.10, p.160-165, 2010.
- GARCIA, C.H.; NOGUEIRA, M.C.S. Utilização da metodologia REML/BLUP na seleção de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, n.68, p. 107-112, ago. 2005.
- GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A., SOUZA, A. H. B. N.; ARTHUR JUNIOR, J. C. Caracterização edafoclimática e manejo de solos das áreas com plantações de eucalipto. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. **Silvicultura do Eucalipto no Brasil**. 2016. Santa Maria: Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência-Editora UFSM, 2016. cap. 4.
- 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.

HODGE, G. R.; DVORAK, W. S. Provenance variation and within-provenance genetic parameters in *Eucalyptus urophylla* across 125 test sites in Brazil, Colombia, Mexico, South Africa and Venezuela. **Tree Genetics & Genomes**, v. 11, n. 3, p. 57, 2015.

HSING, T. Y.; PAULA, N. F. D.; & PAULA, R. C. D. Características dendrométricas, químicas e densidade básica da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 273-283, 2016.

IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório IBÁ 2017**. Brasília: Indústria Brasileira de Árvores, 2018. 100 p.

Disponível em:

<[https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2017.pdf](https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf)> Acessado em 20/11/2018.

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.

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 progênies polinização livre de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Scientia Forestalis**, v.43, p.203-209, 2015.

MORAES, M.L.T.; ZANATTO, A.C.S.; MORAIS, E.; SEBBENN, A.M.; FREITAS, M.L.M. Variação genética para caracteres silviculturais em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus camaldulensis* em Luiz Antônio-SP. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo. v.19, n.2, p.113-118, 2007.

MORAES, B.de; CARVALHO, E.V. de; ZIMBACK, I.; LUZ, O. L. S. dos; PIERONI, G.B; MORI. E. S. LEAL, T. C. A. de B.; Variabilidade genética em progênies de

meio-irmãos de eucaliptos para tolerância ao frio. **Revista Árvore**, v. 39, n. 6, 2015.

MYBURG A.A.; POTTS B.M.; MARQUES C.M.; KIRST M.; JM G, GRATTAPAGLIA D.; GRIMA-PETTENATI J. *Eucalyptus*. Genome mapping and molecular breeding in plants, vol. 7: **Forest Trees**. New York: Springer, p. 115–60. 2007.

NUNES A.C.P, SANTOS G.A.; RESENDE M.D.V.; SILVA LD, HIGA A .; ASSIS T.F.; Estabelecimento de zonas de melhoramento para clones de eucalipto no Rio Grande do Sul. **Scientia Forestalis**, v.44, p. 563-574, 2017.

PIMENTEL, A. J. B., GUIMARÃES, J. F. R., SOUZA, M. A., RESENDE, M. D. V., MOURA, L. M., ROCHA, J. R. A. S. C., RIBEIRO, G.. Estimação de parâmetros genéticos e predição de valor genético aditivo de trigo utilizando modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 882-890, 2014.

PUPIN, S.; SANTOS, A. V. A.; ZARUMA, D. U. G; MIRANDA, A. C; SILVA, P. H. M; MARINO, C. L; SEBBENN, A. M.; MORAES, M. L. T. PRODUTIVIDADE, ESTABILIDADE E ADAPTABILIDADE EM PROGÊNIES DE POLINIZAÇÃO ABERTA DE *Eucalyptus urophylla* S.T. BLAKE. **Scientia Forestalis (IPEF)**, v. 43, p. 127-134, 2015.

PUPIN, S.; ZARUMA, D. U. G.; SOUZA, C. S.de; CAMBUIM, J.; COLETO, A. L.; ALVES, P. F.; MORAES, M. L. T.de. Parâmetros genéticos para caracteres de crescimento, espessura de casca e densidade básica da madeira em progênies de *Eucalyptus urophylla* ST Blake. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 115, p. 455-465, 2017.

RESENDE M.D.V.; RAMALHO M.A.P.; CARNEIRO P.C.S.; CARNEIRO J.E.S.; BATISTA L.G.; GOIS I.B. Selection index with parents, populations, progenies, and generations effects in autogamous plant breeding. **Crop Science**, v.56, p. 530–546. 2016.

ROSADO, A. M. ROSADO, T. B.; JÚNIOR, M. F. R. R.; BHERING, L. L., & CRUZ, C. D.; Ganhos genéticos preditos por diferentes métodos de seleção em progênies de *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 12, p. 1653-1659, 2010.

ROSADO, A.M.; ROSADO, T.B.; ALVES, A.A.; LAVIOLA, B.G.; BHERING, L.L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.7, p.964-971, 2012.

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**, Colombo, n. 32/33, p. 18-45, 1996.

RESENDE, M.D.V. SELEGEN-REML/BLUP. **Seleção genética computadorizada: manual do usuário**. Colombo: EMBRAPA–CNPQ, 2002. 67p.

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

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.3, p.182-194, 2007.

ROCHA, M. das G.B.; PIRES, I.E.; ROCHA, R.B.; XAVIER, A.; CRUZ, C.D. Avaliação genética de progênies de meio-irmãos de *Eucalyptus grandis* por meio dos procedimentos REML/BLUP e da Anova. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.71, p.99-107, 2006.

SCOLFORO, J. R. S.; MAESTRI, R., FERRAZ FILHO, A. C.; DE MELLO, J. M., DE OLIVEIRA, A. D.; ASSIS, A. L. Dominant height model for site classification of *Eucalyptus grandis* incorporating climatic variables. **International Journal of Forestry Research**, v. 2013, 2013.

SILVA, P.; BRUNE, A.; ALVARES, C.; AMARAL, W.; TEIXEIRA, M.; GRATTAPAGLIA, D.; PAULA, R. C. D. Selecting for stable and productive families of *Eucalyptus urophylla* ST Blake across a country wide range of climates in Brazil. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 49, n. 1, p. 87-95, 2018.

VENCOVSKY, R. Genética Quantitativa. In: KERR, W.C. (Coord). **Melhoramento e genética**. São Paulo: Melhoramento, 1969. P. 17-37.

VENCOSVSKY, R.; BARRIGA, P. Genética biométrica no fitomelhoramento. Ribeirão Preto: **Sociedade Brasileira de Genética**, 1992, 496p.

ZANATA, M.; FREITAS, M.L.M.; SILVA, M.T.; MORAIS, E.; ZANATTO, A.C.S.; SEBBENN, A.S. Parâmetros genéticos e ganhos na seleção em teste de progênies de polinização aberta de *Eucalyptus pellita*, em Batatais/SP. **Revista do Instituto Florestal**, v.22, n.2, p.233-242, 2010.

ZHU Y.; WU S.; X.U J.; LU Z.; LI G.; HU Y.; YANG X.; BUSH D. Genetic parameters for growth traits and stem-straightness in *Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis* hybrids from a reciprocal mating design. **Euphytica**, v. 213, p.142. 2017

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A predição de valores genéticos via modelos mistos REML/BLUP possibilitou de forma eficiente estimar as variâncias e parâmetros genéticos e selecionar progênes e clones potenciais de *Eucalyptus* para as duas áreas estudadas.

Alta variabilidade genética foi encontrada nos testes de progênes e clonais para os caracteres altura total e diâmetro à altura do peito, entretanto para volume total com casca os valores em sua maioria não foram significativos pelo teste da razão de verossimilhança (exceção para teste de progênie em Crisópolis-Ba), comprovando esta ser uma característica de baixa variabilidade genética devido ter valor dependente de duas outras estimativas (altura e diâmetro). Assim como foi realizado neste trabalho e com base em seus resultados, sugere-se que testes semelhantes sejam analisados também para o caractere diâmetro à altura do peito.

A intensidade da seleção nos testes de progênes (30%) foi considerada satisfatória obtendo ganhos positivos em seleção, entretanto sugere-se que em casos de testes clonais com número de clones inferiores a 25 como o instalado em Jandaíra-Ba, sejam realizadas seleções com menor intensidade amostral.

O conjunto de informações apresentados são úteis para seleção de genótipos adaptados a condições edafoclimáticas específicas. O melhorista pode munir-se dos dados gerados para diminuir tempo em programas de melhoramento genético de *Eucalyptus* e evitar possíveis transtornos na seleção de genótipos inadequados.

O presente trabalho é inovador na área florestal ao selecionar progênes e clones para regiões de baixa e alta precipitação no estado da Bahia, contribui para a ampliação dos conhecimentos sobre o gênero e permite que os dados sejam utilizados em programas de melhoramento genético e reflorestamentos.