



MÁRCIO DE SOUZA REIS

**IMPLICAÇÕES DA INTERAÇÃO GENÓTIPOS X
AMBIENTES NA SELEÇÃO DE CLONES DE EUCALIPTO
EM ALTITUDES CONTRASTANTES**

**LAVRAS – MG
2020**

MÁRCIO DE SOUZA REIS

**IMPLICAÇÕES DA INTERAÇÃO GENÓTIPOS X AMBIENTES NA SELEÇÃO DE
CLONES DE EUCALIPTO EM ALTITUDES CONTRASTANTES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Evandro Novaes
Orientador

Dra. Elizabete Keiko
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2020**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA,
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Reis, Márcio de Souza.

Implicações da interação genótipos x ambientes na seleção de clones de eucalipto em altitudes contrastantes / Márcio de Souza Reis. – 2020.

55 p. : il.

Orientador: Evandro Novaes.

Coorientadora: Elizabete Keiko.

Dissertação (Mestrado profissional) - Universidade Federal de Lavras, 2020.

Bibliografia.

1. Clones. 2. *Eucalyptus*. 3. Adaptabilidade. 4. Estabilidade. I. Novaes, Evandro. II. Keiko, Elizabete. III. Título.

MÁRCIO DE SOUZA REIS

**IMPLICAÇÕES DA INTERAÇÃO GENÓTIPOS X AMBIENTES NA SELEÇÃO DE
CLONES DE EUCALIPTO EM ALTITUDES CONTRASTANTES**

**IMPLICATIONS OF THE GENOTYPES BY ENVIRONMENTS INTERACTIONS IN
EUCALYPTUS CLONES SELECTION AT CONTRASTING ALTITUDES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 03 de julho de 2020.

Prof. Dr. José Airton Rodrigues Nunes

UFLA

Dr. Antônio Marcos Rosado

UNIASSELVI

Prof. Dr. Evandro Novaes
Orientador

Dra. Elizabete Keiko
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2020**

Á minha família, pela compreensão e incentivos à realização deste sonho.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus que abençoa e ilumina meu caminho;

À minha família, principalmente a minha esposa Giselle, minha filha Júlia e meu filho Lucas, pela compreensão e ausência do convívio;

À Universidade Federal de Lavras, ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas e ao Departamento de Biologia, pelo acolhimento e possibilidade de realização deste trabalho;

À CENIBRA, pelo reconhecimento, incentivo ao desenvolvimento de seus empregados e pela oportunidade de realizar este projeto;

Ao prof. Dr. Evandro Novaes, pela orientação, estímulo, confiança e compreensão no desenvolvimento e conclusão deste trabalho;

À Dra. Elizabete Keiko pela contribuição e incentivo, desde o início do projeto;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, Dr. Magno Antônio Patto Ramalho, Dr. Welison Andrade Pereira, Dr. Adriano Teodoro Bruzi, Dr. José Airton Rodrigues Nunes, Dr. César Augusto Brasil Pereira Pinto, Dr. João Cândido de Souza, Dra. Giovana Augusta Torres e Dra. Flávia Maria Avelar Gonçalves, pelos valiosos ensinamentos durante o curso;

Aos colegas e amigos de pós-graduação, em especial ao companheiro João Edésio, pelo companheirismo e amizade incondicional;

Ao meu amigo Robinson Félix que acreditou no meu potencial e viabilizou essa oportunidade ímpar;

A todos os amigos que conviveram comigo, incentivando e estando presentes, dando apoio diante das dificuldades, em especial a Geraldo Magela, José Márcio Cardoso, Carlos Silva, Bruno Ferraz e Wilquer;

Ao meu irmão Marcelo, pelas discussões sobre ciências e suas aplicações;

Enfim, a todos que colaboraram de alguma forma para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADO!

“À ciência não pode prever o que vai acontecer. Só pode prever a probabilidade de algo acontecer”. (César Lattes)

RESUMO

A interação de genótipos com ambientes é um fenômeno prevalente e que pode dificultar bastante o melhoramento e a recomendação de cultivares. No entanto, pode ser vista, também, como uma oportunidade de se obter ganho com essa interação. Com isso, é fundamental que os programas de melhoramento avaliem genótipos em vários locais, com diversidade edafoclimática, para uma melhor seleção e recomendação de genótipos superiores. Conduziu-se, este trabalho, com o objetivo de estudar a interação genótipos x ambientes em áreas com altitudes contrastantes da empresa Cenibra, para recomendação de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, com base na produtividade, estabilidade e adaptabilidade. Foram avaliados 46 clones, aos 36 e 72 meses de idade, pertencentes ao programa de melhoramento genético da Cenibra, situada no leste de Minas Gerais. Os experimentos foram instalados em quatro locais diferentes, sendo dois de elevada altitude (>1000 m) e dois de baixa (<350 m), em delineamento de blocos completos ao acaso, com cinco repetições de cinco plantas por parcela. Os clones foram avaliados quanto ao diâmetro à altura do peito (DAP) e altura da planta, permitindo a estimativa do volume comercial com casca. Verificada a pressuposição de homogeneidade da variância residual, foi realizada a análise conjunta dos experimentos, permitindo a verificação dos efeitos de local e da interação dos genótipos com os locais. Os parâmetros genéticos foram estimados, comprovando-se a variabilidade entre os clones e os significativos ganhos de produtividade com a seleção. A interação foi significativa entre as regiões de alta e baixa altitude. Dentro de cada classe de altitude, a região alta (Sabinópolis e Cocais) apresentou baixa interação GxA; já, nos ambientes da região baixa (Belo Oriente e Pingo d'Água) houve interação GxA mediana. A região alta apresentou maior produtividade em relação à região baixa.

Palavras-chave: Clones. *Eucalyptus*. Adaptabilidade. Estabilidade.

ABSTRACT

The genotype \times environment (G \times E) interaction is a prevalent phenomenon that can make breeding and recommending cultivars very difficult. However, this interaction can also be considered an opportunity for gain. Thus, breeding programs must evaluate genotypes in many locations and with edaphoclimatic diversity, for a better selection and recommendation of superior genotypes. This work was conducted to study the interaction between genotypes and environments in areas with contrasting altitudes property of the Cenibra company, to recommend *Eucalyptus grandis* \times *Eucalyptus urophylla* hybrid clones based on productivity, stability, and adaptability. We evaluated 46 clones, at 36 and 72 months of age, belonging to the Cenibra breeding program, located in eastern Minas Gerais, Brazil. The experiments were installed at four different locations, two at high altitude (> 1000 m) and two at low altitude (< 350 m), in a complete randomized block design, with five replicates of five plants per plot. The clones were evaluated for diameter at breast height (DBH) and plant height, allowing the estimate of commercial volume with bark. Once the assumption of homogeneity of the residual variance was observed, we performed the joint analysis of the experiments, verifying the effects of the site and the interaction of the genotypes with the sites. The genetic parameters were estimated, proving the variability between the clones and the significant productivity gains with the selection. The interaction was significant between the high and low altitude regions. Within each altitude class, the high region (Sabinópolis and Cocais) showed low G \times E interaction. In contrast, in the environments of the low region (Belo Oriente and Pingo d'Água) there was a median G \times E interaction. The high region showed higher productivity compared to the low region.

Keywords: Clones. *Eucalyptus*. Adaptability. Stability.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Localização das áreas da CENIBRA na Bacia do Rio Doce.27
- Figura 2 – Produtividade de madeira ($m^3/ha.ano$) dos 46 clones nos diferentes ambientes e idades (três e seis anos) após plantio.38
- Figura 3 – Correlação genética entre os ambientes e idades. Na diagonal está a distribuição dos dados de produtividade de cada ambiente em cada idade (aos três e seis anos). Abaixo da diagonal estão os gráficos de dispersão da produtividade dos locais e idades dois-a-dois.39

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Dados edafoclimáticos da área de estudo. | 27 |
| Tabela 2 – Quadro da análise de variância individual e as esperanças do quadrado médio de acordo com o modelo de delineamento em blocos ao acaso. | 29 |
| Tabela 3 – Quadro da análise de variância conjunta e as esperanças do quadrado médio de acordo com o modelo de delineamento em blocos ao acaso. | 30 |
| Tabela 4 – Parâmetros genéticos estimados para cada local e na análise conjunta aos seis anos após plantio..... | 33 |
| Tabela 5 – Parâmetros genéticos estimados para cada local e na análise conjunta aos três anos após plantio..... | 35 |
| Tabela 6 – Correlação genética aos seis anos entre os ambientes. | 37 |
| Tabela 7 – Decomposição da interação de Cruz e Castold (1991)..... | 41 |
| Tabela 8 – Classificação dos dez melhores clones aos três e seis anos nos quatro locais e média local. | 42 |
| Tabela 9 – Estimativas de ganhos a partir da seleção direta dos dez clones com maiores produtividade nos quatro ambientes aos seis anos de idade..... | 44 |
| Tabela 10 – Ganhos obtidos pela seleção direta (na diagonal) e indireta nos quatro ambientes. | 45 |
| Tabela 11 – Estimativa de média local; índice de confiança de Annicchiarico com classificação por local e média dos dez melhores clones em cada ambiente aos seis anos de idade. | 46 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|------------|---|
| CENIBRA | Celulose Nipo Brasileira |
| CNPF | Centro Nacional de Pesquisa Florestal |
| C_{ve} | Coefficiente de Variação Ambiental |
| C_{vg} | Coefficiente de Variação Genotípica |
| DAP | Diâmetro à altura do Peito |
| DS | Diferencial de Seleção |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| FUPEF | Fundação de Pesquisas Florestais |
| G x A | Interação Genótipos por Ambientes |
| GS | Ganho de Seleção |
| h_{mc}^2 | Herdabilidade Média dos Clones |
| IBA | Indústria Brasileira de Árvores |
| IC | Índice de Confiança |
| IMA | Incremento Médio Anual |
| IPEF | Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais |
| PIB | Produto Interno Bruto |
| r_{Cv} | Coefficiente de Variação Relativa |
| r_{gg} | Acurácia Seletiva |
| r_{gg} | Correlação Genética |
| SIF | Sociedade de Investigações Florestais |
| SRI | Seleção Recorrente Intrapopulacional |
| SRR | Seleção Recorrente Recíproca |
| V_e | Variância Residual |
| V_g | Variância Genotípica |
| X_0 | Média da População Inicial |
| X_s | Média da População Seleccionada |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 15 |
| 2.1 | A importância da cultura do eucalipto no Brasil | 15 |
| 2.2 | Melhoramento genético do eucalipto | 16 |
| 2.3 | A Interação genótipos x ambientes | 18 |
| 2.4 | Adaptabilidade e estabilidade de cultivares..... | 21 |
| 2.5 | Estimativa de parâmetros genéticos e quantificação da interação G x A | 24 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 26 |
| 3.1 | Experimentos utilizados para avaliação de clones | 26 |
| 3.2 | Área de estudo | 26 |
| 3.3 | Coleta dos dados de crescimento..... | 28 |
| 3.4 | Análises estatísticas | 29 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 33 |
| 5 | CONCLUSÃO | 48 |
| | REFERÊNCIAS | 49 |
| | APÊNDICE A – PRODUTO TÉCNICO..... | 52 |

1 INTRODUÇÃO

A contribuição do setor florestal é de 1,3% do PIB brasileiro e 6,9% do PIB industrial, o que demonstra a sua importância no agronegócio do país. Dessa forma, as empresas florestais buscam manter a competitividade em seus processos, por meio de pesquisas e inovação em suas florestas e na indústria. As plantações de eucalipto, no Brasil, são as mais produtivas do mundo. Em 2018, a produtividade média do país foi de $36,0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBA, 2019). Apesar de todo o potencial desse setor, no Brasil, ainda há diversos obstáculos a serem superados. Um dos grandes desafios é frear o aumento nos custos de produção de madeira que, nos últimos anos, tem aumentado, dificultando a competitividade internacional.

O melhoramento genético nas empresas florestais é de suma importância para contribuir com a redução dos custos na produção de madeira. Isso porque elevam a produtividade florestal, permitindo com que se produza mais madeira por unidade de área. Os programas de melhoramento das empresas visam, principalmente, aos cruzamentos entre espécies de eucalipto para a seleção de clones híbridos com alta heterose, para aumentar a produtividade da madeira. Além disso, os programas de melhoramento têm focado, cada vez mais, nas características tecnológicas da madeira, agregando a maior produtividade, uma melhor qualidade da matéria prima para o fim desejado. Mais recentemente, no atual contexto das instabilidades climáticas, tem sido importante também considerar a estabilidade das plantas selecionadas e multiplicadas para plantios comerciais nas diversas áreas das empresas. Clones com desempenho estável, em diferentes condições ambientais, conferem maior segurança econômica ao empreendimento. Na eucaliptocultura, uma das estratégias de melhoramento é a obtenção de híbridos superiores, ou seja, que apresentem heterose positiva para os caracteres de interesse (FONSECA et al., 2010). A heterose, também conhecida como vigor de híbrido, pode ser definida como a superioridade do híbrido (geração F1), em relação à média dos parentais.

Os ganhos de produtividade obtidos pelo setor florestal brasileiro foram possíveis, em razão do desenvolvimento de técnicas de manejo, como prescrições silviculturais adequadas às condições de cada local, da seleção de genótipos adaptados e das técnicas de propagação vegetativa. Entretanto, nos últimos anos, com a ampliação das áreas de plantio de eucalipto para novas regiões do país com diferentes condições edafoclimáticas, faz-se necessário reavaliar a estratégia de seleção de materiais genéticos, focando em uma maior estabilidade e tolerância às condições adversas de crescimento.

A interação de genótipos com ambientes tem sido um desafio para os melhoristas, na hora de indicar um genótipo para um determinado ambiente. Às vezes, um genótipo apresenta bom desempenho em um ambiente e não em outro, relativamente aos demais genótipos avaliados. Essa interação de genótipos com ambientes dificulta a recomendação de cultivares com ampla adaptabilidade (BUENO; MENDES; CARVALHO, 2006; CRUZ; REGAZZI, 1997; CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004). O problema fica ainda mais exacerbado, no contexto de mudanças climáticas, uma vez que os ambientes em que os clones foram testados, em experimentos de testes clonais, dificilmente serão replicados nos próximos anos, quando o genótipo será plantado em escala comercial.

Diante dessas questões, objetivou-se, neste trabalho, estudar as implicações da interação genótipos x ambientes na produtividade florestal ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), bem como a estabilidade de 46 clones híbridos de eucalipto pertencentes à empresa Cenibra, em quatro locais do estado de Minas Gerais. Os experimentos foram instalados em quatro municípios com altitudes contrastantes, sendo dois ambientes em baixa altitude ($< 350 \text{ m}$) e outros dois em alta altitude ($> 1000 \text{ m}$), caracterizados por diferenças edafoclimáticas. Com base nos parâmetros genéticos, foi possível avaliar, também, os ganhos com a seleção e o comportamento dos clones nos diferentes ambientes e em duas idades (três e seis anos). Além disso, os resultados ampliam o conteúdo informacional da empresa para racionalizar as futuras tomadas de decisão.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A importância da cultura do eucalipto no Brasil

A cultura do eucalipto, no Brasil, é de grande importância econômica, ambiental e social. Há, atualmente, cerca de 5,67 milhões de hectares plantados com eucaliptos para suprir a demanda de madeira para os diversos setores. Essa área corresponde à 72% do total de florestas plantadas no país, constituindo importante fonte de divisas para o país. Além disso, esses plantios contribuem para a conservação ambiental e reduzem a pressão extrativista sobre as florestas nativas (IBA, 2019).

Inúmeros fatores marcaram a história do reflorestamento no Brasil, que foi marcado por diversas fases, tanto em termos de expansão territorial como de desenvolvimento tecnológico. Nos anos 1960, com os incentivos fiscais, foram plantados 470 mil hectares de eucalipto, em todo o Brasil, principalmente no estado de São Paulo (MORA; GARCIA, 2000).

Em 1968, foi fundado o IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, o que facilitou a geração e transferência de novas tecnologias e conhecimentos, em várias áreas da ciência florestal. Diante do sucesso desse tipo de instituição, logo depois, ocorreu a criação da SIF – Sociedade de Investigações Florestais junto à Universidade Federal de Viçosa-MG, FUPEF – Fundação de Pesquisas Florestais, associada à Universidade Federal do Paraná, e o CNPF – Centro Nacional de Pesquisa Florestal da EMBRAPA. Esses institutos lideraram uma grande rede de experimentos de melhoramento genético e silvicultura que permitiu ao setor florestal brasileiro aumentos significativos na produtividade dos plantios comerciais (MORA; GARCIA, 2000).

A década de 1980 foi marcada pelo domínio da técnica de propagação vegetativa do eucalipto. Até então, os plantios eram realizados com mudas seminais, geneticamente, melhoradas. Plantios clonais foram implantados, conciliando melhoramento genético com recomendações silviculturais e de correção de fertilidade específicas, para clones e locais. Essa nova técnica facilitou a utilização de híbridos e, com isso, houve um aumento considerável na produtividade. Diante disso, houve um grande fortalecimento da área de pesquisa e desenvolvimento, proporcionados pelos investimentos das empresas privadas em parceria com as Universidades e institutos de pesquisa do país (MORA; GARCIA, 2000).

Nos anos 1990, as atenções se voltaram para o uso racional dos recursos naturais, conservação, interligação de áreas naturais, promoção do uso múltiplo da floresta,

desenvolvimento de equipamentos e preocupação com a saúde e segurança dos trabalhadores. Nesse mesmo período, as empresas passaram a adotar novos modelos de gestão e novas tecnologias adotadas para o uso múltiplo da madeira. No campo do melhoramento, passou-se a utilizar os caracteres de qualidade da madeira na seleção de genótipos superiores. Além disso, foram aprimoradas as técnicas de propagação vegetativa, com a micropropagação e miniestaquia, dando início à silvicultura intensiva clonal.

Hoje, com mais de 90 anos de experiência em plantios de eucalipto, o setor florestal brasileiro adota tecnologias que proporcionam as maiores produtividades florestais do mundo. No início da expansão dos plantios comerciais de eucalipto, no Brasil, na década de 1970, a produtividade, na idade de corte, aos 7 anos, era em torno de $15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Já, em 2018, a produtividade média nacional estava em torno de $36 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (IBA, 2019), podendo atingir cerca de $70 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em alguns locais ou até maior se bem aproveitado os recursos naturais (BORGES, 2012; QUEIROZ; BARRICHELO, 2007; STAPE et al., 2010).

Atualmente, diversos projetos desenvolvidos, por instituições de pesquisa, demonstram a evolução da silvicultura, no Brasil. Lançado em 2001, o BEPP (Brazil *Eucalyptus* Potential Productivity) é um exemplo de projeto de sucesso que tem a finalidade de conhecer as relações ecofisiológicas e eficiências do uso dos recursos naturais: água, luz e nutrientes, para o aumento da produtividade de eucalipto no Brasil (STAPE et al., 2010).

Para ilustrar esse potencial, o BEPP analisou dados de oito experimentos instalados nas principais empresas florestais de todo o Brasil, evidenciando que o desenvolvimento clonal de eucalipto pode ter sua produtividade muito elevada com incremento de insumos. O aumento da fertilização adotada, normalmente, não elevou o crescimento, porém, a irrigação elevou o crescimento em 30% (STAPE et al., 2010).

2.2 Melhoramento genético do eucalipto

A seleção de plantas superiores em benefício do homem, ou melhoramento, vem sendo realizada, desde os primórdios da agricultura, quando os agricultores começaram a adaptação de plantas, selecionando as espécies e variedades mais desejadas. Os resultados desses esforços contribuíram, de forma decisiva, para o processo de domesticação das espécies cultivadas (BOREM; MIRANDA, 2013).

O melhoramento de plantas permite o desenvolvimento de sistemas produtivos eficientes, para competir na economia global, bem como para atender a nichos específicos de

mercado, proporcionando diferencial competitivo para países, regiões ou empresas (BOREM; MIRANDA, 2013).

Os programas de melhoramento envolvem recursos humanos e financeiros, infraestrutura para testes e avaliações, métodos de melhoramento e germoplasma. A escolha inadequada de qualquer um desses componentes limita o progresso do programa (BOREM; MIRANDA, 2013).

Atualmente, a grande maioria dos plantios de eucalipto no Brasil é realizada com clones derivados de progênies híbridas. Os programas de melhoramento baseiam-se, principalmente, na seleção de genitores e nos cruzamentos direcionados dentro de programas de Seleção Recorrente Recíproca (SRR) entre populações divergentes ou Seleção Recorrente Intrapopulacional (SRI), em população híbrida sintética, provenientes de cruzamentos de clones elite. A definição da estratégia a ser adotada deve levar em conta o controle genético das características a serem melhoradas (ASSIS; ABAD; AGUIAR, 2016).

O melhoramento genético molecular de plantas, também vem sendo muito usado na cultura do eucalipto. Este envolve uma série de aplicações práticas da biologia molecular e genômica voltada para o gerenciamento da variabilidade, controle de qualidade genética, identificação de genes ou regiões genômicas de interesse com potenciais aplicações biotecnológicas. Mais recentemente, com a seleção genômica ampla, os melhoristas vêm tentando utilizar milhares de marcadores moleculares para aceleração, e ou, aumento de precisão da seleção, durante o programa de melhoramento (FONSECA et al., 2010).

Alguns dos principais objetivos de um Programa de Melhoramento Genético Florestal são: gerar, testar e selecionar clones híbridos de eucalipto adaptados às diversas condições edafoclimáticas da região de plantio e que proporcionem melhorias contínuas, principalmente, na produtividade e qualidade da madeira (FONSECA et al., 2010). Com esse aumento de produtividade almeja-se também a reduzir a demanda de área de cultivo e os custos da atividade florestal.

Hoje, os principais desafios dos programas de melhoramento estão relacionados ao aumento de produtividade de madeira, celulose, biorredutor, adaptação a ambientes estressantes e a melhoria da qualidade da madeira para diversos produtos florestais (ASSIS; ABAD; AGUIAR, 2016).

A produtividade de madeira é a característica mais importante, independente da finalidade de uso da madeira. Primeiro, é preciso produzir madeira, posteriormente madeira com qualidade, evidentemente nas suas devidas proporções. Desse modo, a prioridade sempre será para as características de adaptação do material genético, em cada local, sendo o

crescimento volumétrico, o principal indicador de adaptabilidade (FONSECA et al., 2010). No entanto, é importante frisar que, cada vez mais, os programas de melhoramento vêm focando os esforços na produtividade do produto (p.ex. toneladas de celulose por hectare). Isso porque um clone pode produzir muito em volume de madeira, mas se a densidade for muito baixa e/ou a composição química da madeira inadequada, pode produzir, relativamente, muito pouco do produto por unidade de área (p.ex. celulose ou energia).

2.3 A Interação genótipos x ambientes

Os caracteres de uma espécie são o conjunto de informações biológicas que a identifica e as diferentes manifestações de um determinado caráter definem o fenótipo de um indivíduo. O fenótipo, por sua vez, é influenciado pelo genótipo, que é a constituição genética de um indivíduo, e pelo ambiente que pode ser definido como o conjunto das condições que afetam o seu desenvolvimento (RAMALHO et al., 2012a).

As condições edafoclimáticas, associadas às práticas culturais, a ocorrência de patógenos e outras variáveis que afetam o desenvolvimento das plantas, são denominadas coletivamente ambiente. Ou seja, o ambiente é constituído de todos os fatores que afetam o desenvolvimento das plantas que não são de origem genética (BOREM; MIRANDA, 2013).

A resposta dos genótipos em relação a variação dos ambientes pode ser dita como, previsível e imprevisível. A primeira constitui todos os fatores permanentes do ambiente, como as características gerais de clima, tipo de solo e os que são determinados pelo homem, como data do plantio, densidade, preparo de solo, entre outros. A segunda categoria inclui as variáveis não previsíveis do ambiente, tais como quantidade e distribuição de chuvas, temperatura e outros fatores climáticos, bem como a incidência de estresses de origem biótica e abiótica (RAMALHO et al., 2012a).

Se avaliarmos um genótipo, em mais de um ambiente, a manifestação fenotípica será influenciada por outro componente resultante da interação dos genótipos com os ambientes (G x A). Essa interação é decorrente do desempenho particular de cada genótipo nos vários ambientes, ou seja, reflete as diferentes sensibilidades dos genótipos às mudanças do ambiente (RAMALHO et al., 2012a).

A manifestação fenotípica é o resultado da ação do genótipo sob a influência do meio. Entretanto, quando se consideram vários ambientes, detecta-se, um efeito adicional, além dos efeitos genéticos e ambientais, proporcionado pela interação desses. Por isso, a avaliação dessa interação torna-se de grande relevância no melhoramento. As causas da interação têm

sido atribuídas a fatores fisiológicos e bioquímicos de cada genótipo, em decorrência de seu desenvolvimento ocorrer em sistemas dinâmicos, sujeitos a grandes mudanças, comportando-se diferentemente de acordo com as variações ambientais (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

A seleção de genótipos e populações com boa adaptação e alta produtividade, em vários ambientes, é um dos objetivos básicos do melhoramento de plantas. No entanto, essa seleção é prejudicada pela presença da interação genótipos x ambientes, resultando em comportamento variável dos materiais cultivados nas diferentes condições ambientais (BUENO; MENDES; CARVALHO, 2006).

Algumas contradições sobre os aspectos dos plantios de eucalipto, no Brasil, por exemplo, recomendação de um mesmo clone para vários locais, se devem a diferentes análises que, muitas vezes, não podem ser comparadas, pois confrontam situações diferentes de clima, solo e manejo. O efeito ambiental sobre a produtividade do eucalipto pode ser observado nas diferentes produtividades alcançadas nas diferentes regiões, por exemplo, nas regiões tropicais observa-se uma maior produtividade em menor período (MORA; GARCIA, 2000).

A indicação de genótipos para plantio em diferentes ambientes, ou locais de cultivo, é uma das etapas mais importantes para o sucesso de um programa de silvicultura clonal em escala comercial (SANTOS et al., 2012).

A interação de genótipos com ambientes é um fenômeno generalizado entre as diversas espécies de plantas cultivadas, sendo que existem, na literatura, diversos exemplos conhecidos. Essa interação é o principal complicador do trabalho realizado pelos melhoristas, exigindo que o melhoramento seja conduzido nas condições em que o genótipo será utilizado, pois o comportamento deles não é coincidente e cada um responde diferente de outros, conforme as alterações ambientais (RAMALHO et al., 2012b).

Portanto, um dos principais objetivos dos programas de melhoramento genético de plantas é estimar o quanto da variação fenotípica está relacionada à interação com o ambiente. Essas estimativas são obtidas, por meio de análise de variância estimando a soma dos quadrados totais, soma dos quadrados decorrentes das cultivares e soma dos quadrados decorrentes dos locais, e pelas suas diferenças, obtém-se a soma dos quadrados da interação cultivar versus locais. Quando essa diferença é não significativa, há indícios de que não ocorreu interação, ou seja, que o comportamento relativo das cultivares foi similar em todos os ambientes testados. No entanto, quando essa diferença é significativa, mas não ocorre mudança de ranking entre as cultivares testadas nos diferentes ambientes, a interação é

denominada simples e não representa maiores problemas para a recomendação de cultivares. A interação é complexa quando a diferença dos quadrados totais não é nula e ocorre alteração na classificação das cultivares de acordo com o local. Esse tipo de interação (complexa) é um grande dificultador para o trabalho dos melhoristas. Porém, existem procedimentos que possibilitem atenuar os efeitos dessas interações, como indicar genótipos específicos para cada ambiente, de maneira a aumentar a produtividade capitalizando a adaptabilidade dos genótipos a cada local (RAMALHO et al., 2012b).

Denis e Gower (1996 apud SQUILASSI, 2003), chamou atenção para o risco de descarte de um genótipo não adaptado em um determinado ambiente e que poderia ser produtivo em outro ambiente. O contrário também é problemático para o melhoramento, ou seja, recomendar um genótipo que não apresente um bom desempenho em um ambiente, pois esse ambiente é diferente daquele utilizado na sua seleção.

Nesse sentido, é importante avaliar os clones em diferentes sítios de plantio, para verificar a sua interação com os ambientes. Só assim, será possível fazer uma recomendação eficiente dos clones, capitalizando, quando possível, a interação genótipos x ambientes. No entanto, cabe destacar que, mesmo testando amplamente uma cultivar antes do seu plantio em escala comercial, não é possível prever com exatidão o seu comportamento em futuros plantios. Essa incerteza vem do componente não previsível da variação ambiental, que faz com que o comportamento da interação de uma cultivar com as futuras condições de plantio também sejam imprevisíveis (SQUILASSI, 2003).

Mesmo que haja algum grau de incerteza nas condições ambientais futuras, o conhecimento das interações entre genótipos por ambientes e sua relação com o fenótipo em diferentes ambientes auxiliam nas tomadas de decisão mais precisas em resposta à seleção de clones em ambientes heterogêneos. Se uma determinada expressão fenotípica de um genótipo é muito influenciada pelo ambiente, as estimativas de herdabilidade tendem a ser baixas e variam, conforme as variações ambientais. O conhecimento das relações entre genótipos e fenótipos em diferentes ambientes auxilia em predições mais precisas sobre a resposta à seleção em espécies com habitats heterogêneos, quer seja espacial ou temporal (SQUILASSE, 2003).

O programa de melhoramento de uma empresa de base florestal, em princípio, possui uma região de abrangência que é definida em função das regiões utilizadas para os plantios comerciais da empresa, seus fatores geográficos, edáficos e climáticos, bem como tecnológicos e comerciais. Diante disso, um programa deve definir sua área de abrangência, de acordo com suas possibilidades e/ou área de atuação, e a avaliação da interação de

genótipos com ambientes permitirá uma definição do genótipo que deverá ser recomendado para cada ambiente, otimizando seu desempenho e fornecendo um maior retorno à empresa (CHAVES, 2001). Como os recursos técnicos e financeiros são sempre finitos, é impossível instalar experimentos (testes de progênies e testes clonais) em todas as fazendas e talhões da empresa. Por isso, o conhecimento da interação de genótipos com ambientes pode ser utilizado para estratificar as áreas da empresa, definindo regiões mais homogêneas onde a interação não é tão elevada.

Para contornar os inconvenientes da interação genótipos x ambientes, a estratificação da região de adaptação da cultura em sub-regiões mais homogêneas se torna necessária. Mesmo com esse procedimento, uma fração da interação ainda permanece, em razão da ocorrência de fatores ambientais, sendo a estratificação incapaz de oferecer eficácia (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

Verificar padrões de similaridade de respostas de cultivares entre os ambientes, por meio de uma boa rede experimental, é fundamental para avaliar o grau de representatividade dos ensaios com relação à faixa de adaptação da cultura. Sendo assim, é possível descartar ambientes em que a interação não seja significativa para o grupo de genótipos disponíveis (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

A competição entre plantas de um mesmo genótipo (clone) também é um aspecto importante da interação genótipos x ambientes que, muitas vezes, é ignorado pelos melhoristas. Depois, aspectos importantes a serem levados em consideração são a maximização da resposta a fatores ou insumos controláveis (adaptabilidade) e minimização da resposta a fatores incontroláveis (estabilidade) (BUENO; MENDES; CARVALHO, 2006).

2.4 Adaptabilidade e estabilidade de cultivares

A adaptabilidade de uma cultivar refere-se a sua capacidade de aproveitar, vantajosamente, as variações do ambiente. A estabilidade de comportamento refere-se a sua capacidade de apresentar-se altamente previsível mesmo com as variações ambientais (BOREM; MIRANDA, 2013).

Uma cultivar deve apresentar, em diferentes condições de ambiente, alta produtividade, e sua superioridade deve ser estável. Os melhoristas concordam sobre a importância da estabilidade da alta produtividade, mas divergem quanto a mais apropriada definição de estabilidade e aos métodos para quantificá-la (BOREM; MIRANDA, 2013).

Uma cultivar que pode ajustar seu comportamento fenotípico para alta produtividade e estabilidade para um local e ano em particular é dita estável ou bem adaptada. Os mecanismos que promovem a estabilidade da produção podem existir por duas maneiras de se escapar da interação genótipos x ambientes. Uma das maneiras é a cultivar ser composta, por muitos genótipos, adaptados a diferentes ambientes ou os próprios indivíduos podem ser bem adaptados e cada membro da população é bem adaptado em vários ambientes (BUENO; MENDES; CARVALHO, 2006).

A avaliação da interação de genótipos x ambientes torna-se muito importante no melhoramento, pois, a partir da sua constatação, ocorre a possibilidade de um genótipo ser bom em um local e não ser em outro. Esse fato influencia o ganho de seleção e, ao mesmo tempo, dificulta a recomendação de cultivares com ampla adaptabilidade. Portanto, cabe aos melhoristas avaliar sua magnitude e significância, quantificar seus efeitos para fornecer subsídios para a adoção de procedimentos adequados na recomendação de cultivares.

Atualmente, existem inúmeras metodologias de análise de adaptabilidade e estabilidade para avaliar um grupo de materiais genéticos testados em diversos ambientes. Todas essas metodologias estão fundamentadas na existência de interações e diferindo, essencialmente, nos conceitos de estabilidade adotados em seus métodos estatísticos. A escolha do método de análise depende dos dados experimentais, principalmente do número de ambientes analisados, da precisão e do tipo de informação desejada. Também cabe destacar que alguns métodos são alternativos e outros complementares, podendo ser, então, utilizados conjuntamente (CRUZ, 2012).

Estudos a respeito da interação genótipos x ambientes, apesar de serem de grande importância para o melhoramento, não proporcionam informações detalhadas sobre o comportamento de cada genótipo frente às variações ambientais. Para isso, é necessário realizar análises de adaptabilidade e estabilidade, pelas quais se torna possível a identificação de cultivares de comportamento previsível e responsivos às variações ambientais, em condições específicas ou amplas (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

As metodologias adotadas possuem vantagens e desvantagens e se diferenciam quanto ao conceito de estabilidade e adaptabilidade. Portanto, o conceito preconizado por Mariot (1976 apud RAMALHO et al., 2012a), em que a adaptabilidade é avaliada apenas pelo desempenho médio do genótipo. Esse conceito é semelhante à teoria de Darwin, quando discutia a evolução das espécies. O indivíduo que deixa mais descendentes. A estabilidade avalia o comportamento dos genótipos frente às variações ambientais que podem ser decorrentes de locais, anos de cultivo ou outro fator qualquer (RAMALHO et al., 2012a).

Dentro dessa ótica é interessante estudar metodologias que avaliam a estabilidade, e que, basicamente, existem três tipos: estabilidade tipo I, II e III. Na estabilidade tipo I, considera-se estável a cultivar que apresenta pequena variância da sua produtividade entre os ambientes avaliados. Na tipo II, considera-se estável a cultivar cuja resposta ao ambiente é paralela ao desempenho médio de todas as cultivares avaliadas nos experimentos. Por último, e não menos importante, na estabilidade tipo III, considera-se uma cultivar estável se o quadrado médio dos desvios de regressão que avalia a estabilidade for pequeno. Lins e Binns (1988 apud RAMALHO et al., 2012a) propuseram um quarto tipo de estabilidade, onde a cultivar para ser considerada estável, se o quadrado médio da interação genótipos x anos dentro de locais for pequeno.

Inúmeros autores propuseram diversos outros métodos, como, por exemplo, os métodos de Ebberhart e Russel (1966 apud RAMALHO et al., 2012a) baseados no uso de regressão. Um método interessante, pensando no risco de adoção de uma nova cultivar, é saber qual o risco de sua escolha. Annichiárico (1992 apud RAMALHO et al., 2012a) propôs a metodologia que estima o risco de adoção de uma cultivar em relação a qualquer outra das demais em avaliação. Para a aplicação dessa metodologia, é necessário converter as médias de produtividade em cada ambiente para porcentagem da média do ambiente. Posteriormente, é estimado o desvio padrão das porcentagens de cada cultivar. Com esses dois parâmetros estimamos, a estabilidade de Annichiárico (1992 apud RAMALHO et al., 2012a, p. 428), denominado de Índice de Confiança. O nível de significância comumente empregado na área de economia é de 25%, podendo esse ser extrapolado, conforme a decisão do melhorista em função do rigor desejado. Para as cultivares em que o Índice de Confiança for maior que 100, significa que aquela cultivar, no nível de significância de 25% terão desempenho superior à média do ambiente (RAMALHO et al., 2012a).

Nem sempre a interação indica diferença na adaptabilidade dos genótipos testados. Pode-se detectar interação, em razão de dados não se ajustarem ao modelo estatístico adotado na análise. Por exemplo, caso a interação detectada numa situação em que o efeito ambiental sobre o tratamento genético ocorra de forma multiplicativa, ao invés de aditiva como preconizado pelo modelo de análise. Nesse caso, será detectada interação significativa, embora isso não ocorra. A possibilidade da escolha errônea do modelo nos mostra a importância de testarmos a aditividade do modelo (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2012).

2.5 Estimativa de parâmetros genéticos e quantificação da interação G x A

Uma das grandes contribuições da Genética quantitativa é a avaliação dos ganhos a serem obtidos, por uma determinada estratégia de seleção. Essa informação permite orientar os programas de melhoramento, além de predizer seu sucesso, escolher ou descartar população e concentrar esforços na mensuração de caracteres de maior importância e potencialidade de ganho (CRUZ, 2012).

A estimativa adequada dos parâmetros genéticos, ambientais e da interação dependem da escolha adequada das áreas a serem utilizadas na rede de experimentação. Essa escolha dos campos experimentais para ensaios comparativos de produtividade deve representar bem as áreas de cultivo comercial da empresa. No entanto, muitas vezes, essa escolha é arbitrária, em razão de áreas previamente alocadas para as equipes de pesquisa, incluindo a de melhoramento. Alguns autores defendem que os locais ideais para a implantação dos ensaios devem ser de alta produtividade, para que o genótipo expresse todo o seu potencial. Ao contrário, outros autores indicam que as áreas experimentais devam ser representativas daquelas a serem utilizadas em futuro cultivo comercial (BOREM; MIRANDA, 2013).

A metodologia atualmente disponível para seleção baseia-se no valor genético predito, obtido após rigorosa correção dos efeitos ambientais. No entanto, a acurácia do processo de seleção é afetada tanto pelo tamanho da parcela quanto pelo número de repetições utilizadas nos experimentos (FONSECA et al., 2010).

Para a estimação de parâmetros, é praticamente impossível medir todos os indivíduos de uma população. Por essa razão, os pesquisadores trabalham com dados amostrais ou experimentais. Sendo assim, todas as análises estatísticas são baseadas em distribuições amostrais e na teoria probabilística (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2012).

A caracterização da variação fenotípica e sua decomposição é a base do trabalho dos melhoristas de plantas. Para compreender as bases hereditárias dos caracteres de interesse comercial, é necessário distinguir os dois componentes da variabilidade: o genético e o não genético ou ambiental, e a proporção dos seus efeitos. Para isso, existem métodos estatísticos apropriados que são amplamente utilizados (BUENO; MENDES; CARVALHO, 2006).

O conhecimento da associação entre caracteres também é de grande importância nos trabalhos de melhoramento, principalmente se um deles apresenta dificuldades ou imprecisões na sua avaliação, quer seja por medição ou classificações. Por meio da medida de dois caracteres, em determinados números de indivíduos de uma população, pode-se estimar a correlação fenotípica entre esses caracteres. No entanto, essa correlação tem causas genéticas

e ambientais, porém, só as genéticas envolvem uma associação de natureza herdáveis (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004). Com experimentação e métodos estatísticos é possível separar a correlação fenotípica nos seus componentes genético e ambiental.

A avaliação do potencial genético de um indivíduo e de uma população requer a aplicação adequada de delineamentos e modelos estatísticos que proporcionem a obtenção de máxima acurácia seletiva e a minimização dos efeitos ambientais. Nesse sentido, quanto maior o número de repetições, maior será a acurácia seletiva. No entanto, vale ressaltar que existem limitações orçamentárias, de mão de obra e técnicas, como restrições de área, que também irão restringir o número de repetições possíveis em um experimento (FONSECA et al., 2010).

Além do delineamento experimental, a escolha de um modelo estatístico adequado também é fundamental para se estabelecer as fontes de variação e para as estimativas acuradas dos componentes de variância (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2012).

Com base nos valores de médias e variâncias é possível obter estimativas de parâmetros genéticos úteis para a avaliação da potencialidade de populações para fins de melhoramento. Isso porque com esses parâmetros é possível estimar a herdabilidade do caráter e o ganho de seleção, permitindo estabelecer estratégias eficazes de seleção (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Experimentos utilizados para avaliação de clones

Os experimentos utilizados, neste trabalho, foram implantados em novembro e dezembro de 2002, nas propriedades da CENIBRA – Celulose Nipo-Brasileira. Os clones utilizados foram oriundos de uma seleção massal de híbridos naturais (conhecimento somente do genitor feminino) de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* de polinização aberta, no município de Pingo d' Água, Minas Gerais.

Os genótipos utilizados são pertencentes ao programa de melhoramento genético da empresa. As matrizes selecionadas foram propagadas por estaquia e multiplicados em casa de vegetação para posterior plantio nas unidades de avaliação de experimentos da empresa.

Foram plantados 46 clones em Teste Clonal em quatro locais distintos com o propósito de selecionar clones híbridos superiores para as características desejadas. Os experimentos foram instalados em delineamento de blocos ao acaso, com cinco repetições em parcela linear de cinco plantas, no espaçamento de 3 x 2 metros. O manejo silvicultural das áreas avaliadas foi realizado conforme as recomendações técnicas e operacionais da empresa.

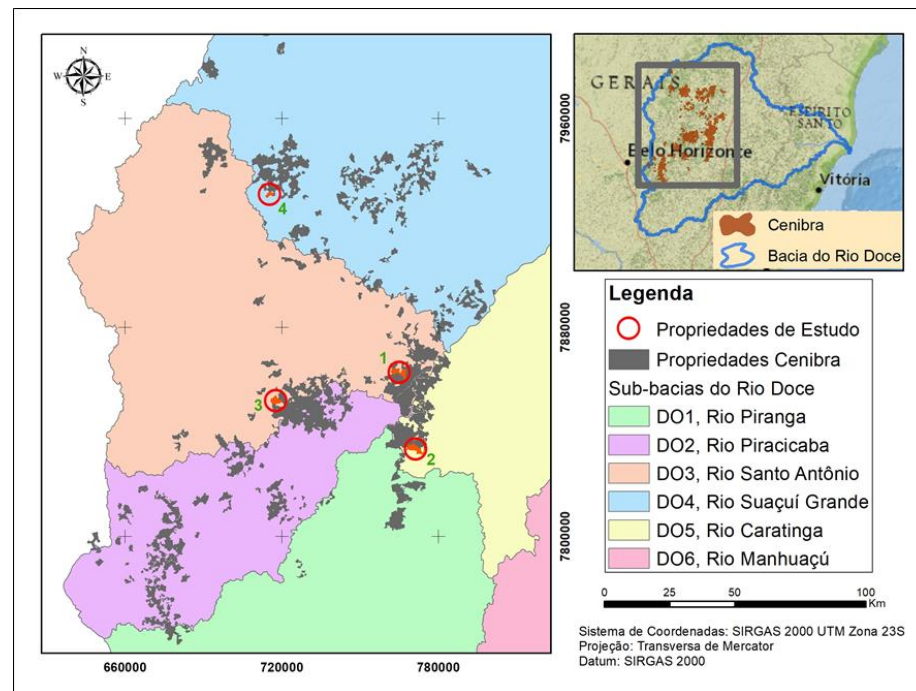
3.2 Área de estudo

As áreas da CENIBRA estão localizadas na região centro-leste do estado de Minas Gerais. As propriedades estão inseridas, em sua grande maioria, na Bacia Hidrográfica do Rio Doce, sub-bacias do Rio Piracicaba, Rio Santo Antônio, Rio Suaçui Grande e Rio Caratinga (FIGURA 1).

Os ensaios foram conduzidos, em quatro localidades distintas, nos municípios de Belo Oriente, Pingo d'Água, Ferros (Cocais) e Sabinópolis, todos no estado de Minas Gerais, região do Vale do Rio Doce e sub-bacias. Os dados edafoclimáticos de cada local foram obtidos das estações meteorológicas pertencentes à empresa, localizadas próximas às áreas de estudo (TABELA 1).

Particularmente, nesse estudo, os clones foram avaliados em dois sítios com baixa altitude e, portanto, mais quentes (Belo Oriente e Pingo d'Água) e dois locais mais altos (Cocais e Sabinópolis). Essas duas condições têm sido usadas pela empresa como base para a estratificação dos ambientes para as recomendações de plantio.

Figura 1 – Localização das áreas da CENIBRA na Bacia do Rio Doce.



Fonte: Do autor (2020).

As áreas planas da região de baixa altitude que margeiam o Rio Doce possuem solos de baixa drenagem e, conseqüentemente, baixo potencial produtivo. Porém, as áreas de encosta e topo de morro possuem, desde latossolos de boa drenagem (baixo a médio potencial produtivo), a cambissolos (baixo a médio potencial produtivo).

Tabela 1 – Dados edafoclimáticos da área de estudo.

(continua)

| Variáveis edafoclimáticas | Local | | | |
|--|--------------|--------------|---------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | Belo Oriente | Pingo d'Água | Cocais | Sabinópolis |
| Altitude (m) | 240 | 310 | 1.273 | 1.012 |
| Temperatura mínima (°C) | 18,7 | 19,1 | 15,0 | 16,0 |
| Temperatura máxima (°C) | 30,7 | 27,7 | 23,3 | 25,3 |
| Temperatura média (°C) | 24,2 | 23,0 | 19,5 | 20,9 |
| Umidade relativa do ar (%) | 72,2 | 72,4 | 75,3 | 69,4 |
| Precipitação (mm) | 1.197,7 | 1.152,7 | 1.262,5 | 1.124,8 |
| Déficit hídrico (mm) | 350,7 | 332,7 | 126,1 | 225,4 |
| Déficit de pressão de vapor (hPa) | 8,1 | 8,8 | 4,1 | 6,0 |
| Radiação global (M Jm ² /dia) | 17,0 | 17,0 | 14,0 | 15,8 |

Tabela 1 – Dados edafoclimáticos da área de estudo.

(conclusão)

| Variáveis edafoclimáticas | Local | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Radiação fotossintética ativa (mmol/m ² /s) | 33.311 | 34.334 | 30.315 | 34.199 |
| Velocidade do vento (m/s) | 1,0 | 2,3 | 4,4 | 3,5 |
| Matéria orgânica (dag/kg) | 0,83 | 1,23 | 2,11 | 2,53 |
| Profundidade efetiva (m) | 1,0 - 2,5 | 2,5 - 5,0 | 1,5 - 3,0 | 2,5 - 4,0 |
| Soma de bases (Cmol/kg) | 1,46 | 0,38 | 0,12 | 0,17 |

Fonte: Do autor (2020).

3.3 Coleta dos dados de crescimento

Os clones foram avaliados, aos 36 e 72 meses (três e seis anos após plantio), quanto ao diâmetro à altura do peito (DAP, cm) e altura total (ALT, m). As medições foram realizadas nas árvores, individualmente, para determinar o volume florestal. O DAP foi medido de forma direta com o uso de suta e a altura total foi medida de forma indireta com hipsômetro. Com base nessas variáveis, foi estimado o volume comercial com casca, utilizando o modelo proposto por Leite, Guimarães e Campos (1995) que engloba as propriedades estatísticas do modelo de Shumacher e Hall (1933 apud CAMPOS; LEITE, 2006), mais as propriedades de estimar com uma só equação os volumes total e comercial, com ou sem casca.

Para estimativa de volume de madeira, o ideal é que sejam utilizadas equações específicas, utilizando os dados da cubagem rigorosa de árvores-amostra em diferentes idades e locais (CAMPOS; LEITE, 2006). Assim, os coeficientes das fórmulas para estimativa de volume foram ajustados em função das características das árvores em cada local: Belo Oriente (EQUAÇÃO 1), Pingo d' Água (EQUAÇÃO 2), Cocais (EQUAÇÃO 3) e Sabinópolis (EQUAÇÃO 4), respectivamente.

$$V = e^{-10,2924+1,7653 \ln(dap) + 1,2206 \ln(H)} \quad (1)$$

$$V = e^{-10,1646+1,8638 \ln(dap) + 1,0913 \ln(H)} \quad (2)$$

$$V = e^{-10,3545+1,7359 \ln(dap) + 1,2683 \ln(H)} \quad (3)$$

$$V = e^{-10,1237+1,8636 \ln(dap) + 1,0980 \ln(H)} \quad (4)$$

Onde,

V : volume de madeira até a altura comercial para celulose;

dap : diâmetro, em cm, medido na altura 1,3 m;

H : altura total em metros.

3.4 Análises estatísticas

A partir da estrutura de delineamento de blocos completos casualizados, empregada nos testes clonais, procederam-se as análises de cada local, de acordo com o seguinte modelo estatístico:

$$y_{ij} = \mu + b_j + c_i + e_{ij} \quad (5)$$

Onde,

y_{ij} : observação referente ao clone i , no bloco j ;

μ : média geral;

b_j : efeito aleatório do bloco j ;

c_i : efeito aleatório do clone i ;

e_{ij} : efeito aleatório do erro experimental associado à observação y_{ij} .

Considerando uma análise de variância em blocos ao acaso, em cada um dos ambientes em que se avaliam g genótipos e b repetições, têm-se os resultados das análises individuais (TABELA 2).

Tabela 2 – Quadro da análise de variância individual e as esperanças do quadrado médio de acordo com o modelo de delineamento em blocos ao acaso.

| FV | GL | QM | E(QM) |
|-----------|------------------|-----|--------------|
| Blocos | $b - 1$ | QMB | $V_e + gV_b$ |
| Genótipos | $g - 1$ | QMG | $V_e + bV_g$ |
| Resíduo | $(b - 1)(g - 1)$ | QMR | V_e |

Fonte: Do autor (2020).

V_e : Variância residual; V_g : Variância genotípica; V_b : Variância genotípica de blocos.

Para a análise conjunta dos quatro experimentos, foi avaliada a pressuposição de homogeneidade de variâncias, de acordo com o método de Gomes (2000). De acordo com

essa metodologia, as variâncias residuais são consideradas homogêneas quando o quociente entre o maior e o menor quadrado médio residual, dentre as ANOVA individuais, for inferior a sete. Atendido a esse pressuposto, os dados dos quatro experimentos foram avaliados em conjunto, permitindo avaliar também os efeitos de local e da interação dos genótipos com os locais, utilizando o seguinte modelo estatístico:

$$y_{ijk} = \mu + b_{j(k)} + c_i + a_k + ca_{ik} + e_{ijk} \quad (6)$$

Onde,

y_{ijk} : observação do clone i dentro do bloco j, no ambiente k;

μ : média geral;

$b_{j(k)}$: efeito aleatório do bloco j dentro do ambiente k;

c_i : efeito aleatório do clone i;

a_k : efeito fixo do ambiente k;

ca_{ik} : efeito aleatório da interação entre o clone i e o ambiente k;

e_{ijk} : efeito aleatório do erro experimental.

O esquema da análise de variância conjunta com as respectivas esperanças dos quadrados médios, para o experimento em blocos ao acaso (TABELA 3).

Tabela 3 – Quadro da análise de variância conjunta e as esperanças do quadrado médio de acordo com o modelo de delineamento em blocos ao acaso.

| FV | GL | QM | E(QM) |
|------------------|-------------------|------|----------------------|
| Blocos/Ambientes | (b - 1) a | QMB | |
| Clones (G) | (g - 1) | QMG | $V_e + bV_i + baV_g$ |
| Locais (A) | (a - 1) | QMA | |
| G x A | (g - 1) (a - 1) | QMGA | $V_e + bV_i$ |
| Resíduo | (g - 1) (b - 1) a | QMR | |

Fonte: Do autor (2020).

V_e : Variância residual; V_g : Variância genotípica; V_i : Variância da interação G x A.

Para avaliar a decomposição da variação G x A em simples e complexa, foi utilizado o método de Cruz e Castoldi (1991), conforme a seguinte equação:

$$V_{LS} = \frac{1}{2} (\sqrt{V_{L1}} - \sqrt{V_{L2}})^2 + (1 - r_{g12})\sqrt{V_{L1}V_{L2}} \quad (7)$$

Em que:

V_{L1} é a variância genética do local 1; V_{L2} é a variância genética do local 2; r_{g12} é a correlação genética entre os ambientes 1 e 2.

$\frac{1}{2} (\sqrt{V_{L1}} - \sqrt{V_{L2}})^2$ corresponde à parte simples da interação entre os locais 1 e 2.

$(1 - r_{g12})\sqrt{V_{L1}V_{L2}}$ corresponde à parte da interação complexa entre os ambientes 1 e 2.

As análises estatísticas foram conduzidas no software R (R CORE TEAM, 2018), utilizando-se o pacote doBy para a obtenção das estimativas de mínimos quadrados das variáveis de crescimento (IMA) dos clones nos diferentes locais.

Para a análise correlação genética entre os ambientes foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson entre as estimativas de mínimos quadrados obtidas para os clones em cada local. Além disso, a interação também foi interpretada de forma gráfica, observando-se a ocorrência ou não trocas de ranqueamento entre as estimativas de produtividade dos clones nas diferentes idades (três e seis anos), bem como nos diferentes locais. Para isso, foi utilizado o pacote ggplot2 no R (WICKHAM, 2016).

A interação também foi avaliada, por meio da predição de ganhos com a seleção indireta em um outro ambiente. Ou seja, quando há forte interação de genótipo com ambientes espera-se que os clones selecionados em um ambiente não tenham bom desempenho nos demais ambientes. Com isso, o ganho com a seleção indireta em um outro ambiente deve ser reduzido. Esse ganho de seleção indireta foi estimado com a seguinte equação:

$$GS_{i(j)} = h^2_j DS_{i(j)} \quad (8)$$

Em que:

$GS_{i(j)}$: Ganho de seleção no ambiente i resultante da seleção no ambiente j;

h^2_j : Herdabilidade no ambiente j;

$DS_{i(j)}$: Diferencial de seleção no ambiente i, no qual os indivíduos selecionados são aqueles de melhor desempenho no ambiente j.

Para o estudo da estabilidade, foi utilizado o Método de Annichiárico (1992 apud RAMALHO et al., 2012a) que estima o risco de selecionar uma cultivar, levando em conta

decisões econômicas. Essa metodologia estima o risco da adoção de uma cultivar, relativamente, à média das demais cultivares em avaliação.

Na análise de estabilidade, os clones plantados em cada local, são classificados, conforme o padrão de resposta e, segundo o seu nível médio de produtividade nos ambientes avaliados. Portanto, calcula-se a média de cada cultivar em cada ambiente e depois transforma esses valores em porcentagens relativas à média do ambiente. Posteriormente, é estimado o desvio padrão das porcentagens de cada cultivar nos vários ambientes. Com esses parâmetros, média das porcentagens para cada cultivar nos ambientes testados e a estimativa do desvio padrão das porcentagens de cada cultivar, estimam-se o parâmetro de estabilidade de Annichiárico (1992 apud RAMALHO et al., 2012a), Reliability Index ou de Índice de Confiança da cultivar i (I_i), que é dado pela expressão:

$$I_i = p_i - Z_{(1-\alpha)}S_i \quad (9)$$

Onde,

I_i : índice de confiança;

p_i : média do clone i em todos os ambientes;

$Z_{(1-\alpha)}$: quantil da distribuição normal padronizada;

α : nível de significância pré-fixado;

S_i : desvio padrão da média.

Segundo Annichiárico (1992 apud RAMALHO et al., 2012a, p. 428), “o nível de significância comumente empregado na área de economia é de 25%, podendo esse ser extrapolado, conforme a decisão do melhorista em função do rigor desejado [...]”. Para as cultivares em que o Índice de Confiança (I_i) for maior que 100, significa que a cultivar, no nível de significância de 25%, tem desempenho superior à média dos ambientes (RAMALHO et al., 2012a).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estimativas dos parâmetros genéticos são importantes no direcionamento dos programas de melhoramento, uma vez que auxiliam o processo seletivo e servem como referencial teórico para suporte às recomendações dos clones comerciais. Avaliando os dados dos experimentos aos seis anos, o maior valor de variância genotípica (V_g) foi encontrado em Sabinópolis (685,71), seguido por Cocais (163,86), Pingo d'Água (145,12) e Belo Oriente (142,30). Como essas estimativas foram elevadas, torna-se evidente a existência de variação genética entre os clones, o que permite afirmar que há boas chances de sucesso na seleção quanto ao caráter volume de madeira (MAIA et al., 2009).

Tabela 4 – Parâmetros genéticos estimados para cada local e na análise conjunta aos seis anos após plantio.

| Parâmetros | Belo Oriente | Pingo d'Água | Cocais | Sabinópolis | Conjunta |
|------------|--------------|--------------|---------|-------------|----------|
| V_e | 57,88 | 42,49 | 31,95 | 144,92 | 70,04 |
| V_g | 142,30* | 145,12* | 163,86* | 685,71* | 151,17* |
| h^2_{mc} | 0,91 | 0,93 | 0,95 | 0,95 | 0,56 |
| V_i | - | - | - | - | 103,07* |
| r_{gg} | 0,95 | 0,97 | 0,98 | 0,97 | 0,75 |
| cV_g | 0,48 | 0,43 | 0,43 | 0,59 | 0,39 |
| cV_e | 0,31 | 0,23 | 0,19 | 0,27 | 0,26 |
| rCv | 1,57 | 1,85 | 2,26 | 2,18 | 1,47 |
| M | 24,12 | 27,77 | 29,38 | 43,53 | 31,20 |

Fonte: Do autor (2020).

* significativo $p < 0,0001$; V_e : Variância residual; V_g : Variância genotípica; h^2_{mc} : Herdabilidade média de clones; V_i : Variância da interação G x A; r_{gg} : Acurácia seletiva na média de clones; cV_g : Coeficiente de variância genético; cV_e : Coeficiente de variância residual; rCv : Coeficiente de variação relativa; M: IMA médio ($m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano$).

As estimativas dos parâmetros genéticos analisados demonstraram uma menor variância residual (V_e) em Cocais (31,95), seguido por Pingo d'Água (42,49), Belo Oriente (57,88) e Sabinópolis (144,92).

A herdabilidade média dos clones (h^2_{mc}) avaliados nos quatro locais apresentou valores de alta magnitude, o que indica boa precisão experimental e grande potencial para a seleção de clones de eucalipto de alta produtividade. Os maiores valores foram encontrados em Cocais e Sabinópolis (0,95), seguido por Pingo d'Água (0,93) e Belo Oriente (0,91). A herdabilidade é um dos mais importantes parâmetros genéticos, pois quantifica a fração da variação fenotípica de natureza herdável. Os valores elevados de herdabilidade (acima de

90%) permitem antever o sucesso na seleção de clones superiores (RESENDE; DUARTE, 2007).

As acurácias seletivas detectadas (r_{gg}) para o carácter avaliado, foram sempre muito altas, conforme classificação de Resende e Duarte (2007), demonstrando boa qualidade experimental e segurança na seleção de clones nesses ambientes. A acurácia seletiva na média dos clones foi superior em Cocais (0,98), seguido de perto por Sabinópolis e Pingo d'Água (0,97) e, por último, Belo Oriente (0,95). A alta acurácia é indicativa de ótima relação entre os valores preditos e os reais.

Os valores encontrados para o coeficiente de variação genotípico (CV_g), também, caracterizam a existência de variabilidade genética entre os clones nos quatro locais e indica que grande parte da variação total é de natureza genética. O coeficiente de variação genotípico (CV_g) foi superior em Sabinópolis (0,59), seguido de Belo Oriente (0,48), e por Cocais e Pingo d'Água (0,43), que tiveram, praticamente, os mesmos valores. Quanto maior o valor do CV_g , maiores são as chances de se obter ganhos genéticos na seleção de clones (RESENDE, 2002).

O coeficiente de variância residual (CV_e) foi superior em Belo Oriente (0,31), seguido de Sabinópolis (0,27), Pingo d'Água (0,23) e Cocais (0,19). No caso do carácter volume, espera-se que o CV_e seja mais elevado, uma vez que a variável é obtida, indiretamente, com o acúmulo dos erros experimentais das variáveis diâmetro e altura, utilizadas no cálculo (ROSADO et al., 2012).

O coeficiente de variação relativa (rCv) é obtido pela relação do coeficiente de variação genotípico (CV_g) e ambiental (CV_e). Os resultados de coeficiente de variação relativa (CV_r) foram superiores em Cocais (2,26), seguido por Sabinópolis (2,18), Pingo d'Água (1,85) e Belo Oriente (1,57). Quando o rCv é a igual a 1 ou superior, há uma situação favorável para a obtenção de ganhos na seleção (VENCOVSKY, 1987).

Em relação aos resultados da análise conjunta, foram encontrados os valores de 70,04 para variância residual (V_e) e 151,17 para variância genotípica (V_g). A variância da interação G x A (V_i) foi de 103,7. A herdabilidade média de clones (h^2_{mc}) estimada foi de 0,56 na análise conjunta; enquanto nas análises individuais os valores apresentados foram bem maiores, conforme apresentado acima. A menor herdabilidade encontrada na análise conjunta ocorre, em razão da interação G x A, que causa dificuldade de seleção de clones superiores comuns aos quatro ambientes.

Ainda considerando a análise conjunta, foram encontrados os valores de 0,39 para o coeficiente de variância genético (Cv_g); 0,26 para o coeficiente de variância residual (Cv_e) e de 1,47 para o coeficiente de variação relativa (rCv).

A região alta foi a que apresentou a maior produtividade, com $43,53 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ em Sabinópolis e $29,38 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ em Cocais, respectivamente; enquanto na região baixa, Pingo d'Água apresentou uma superioridade em relação a Belo Oriente com $27,77 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ e $24,12 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, respectivamente. Esses resultados evidenciam as diferenças edafoclimáticas de cada ambiente em particular. Apesar de Cocais apresentar o menor déficit hídrico, também apresentou uma menor radiação fotossintética ativa que os demais ambientes. Isso pode explicar, em parte, uma menor produtividade média, comparada a Sabinópolis (ambos da região alta).

Analisando os dados de crescimento desses mesmos experimentos aos três anos após o plantio, foram encontrados os valores de variância residual (V_e) de 71,12 para Pingo d'Água; 66,51 para Sabinópolis; 45,99 para Belo Oriente; 24,53 para Cocais e 52,02 para análise conjunta (TABELA 5).

Para a variância genotípica (V_g), os valores encontrados foram de 358,97 para Sabinópolis; 220,97 para Pingo d'Água; 140,72 para Belo Oriente; 130,57 para Cocais e 121,75 para análise conjunta. A variação de clones dentro de cada ambiente foi maior que em todos ambientes analisados conjuntamente.

Para herdabilidade média dos clones (h^2_{mc}) foram encontrados os valores iguais de 0,96 para Cocais e Sabinópolis; 0,93 para Pingo d'Água; 0,92 para Belo Oriente e 0,61 para análise conjunta (TABELA 5). Clones multiespécies de eucalipto avaliados, no Rio Grande do Sul, apresentaram valores bem inferiores a esses de herdabilidade média de clones (h^2_{mc}) avaliados aos três anos de idade (SANTOS et al., 2012).

Tabela 5 – Parâmetros genéticos estimados para cada local e na análise conjunta aos três anos após plantio.

| (continua) | | | | | |
|-------------|--------------|--------------|---------|-------------|----------|
| Parâmetros* | Belo Oriente | Pingo d'Água | Cocais | Sabinópolis | Conjunta |
| V_e | 45,99 | 71,12 | 24,53 | 66,51 | 52,02 |
| V_g | 140,72* | 220,97* | 130,57* | 358,97* | 121,75* |
| h^2_{mc} | 0,92 | 0,93 | 0,96 | 0,96 | 0,61 |
| V_i | - | - | - | - | 66,27* |
| r_{gg} | 0,96 | 0,96 | 0,98 | 0,98 | 0,78 |
| cV_g | 0,40 | 0,38 | 0,34 | 0,45 | 0,31 |
| cV_e | 0,23 | 0,22 | 0,15 | 0,19 | 0,20 |

Tabela 5 – Parâmetros genéticos estimados para cada local e na análise conjunta aos três anos após plantio.

| Parâmetros* | (conclusão) | | | | |
|-------------|--------------|---------------|--------|-------------|----------|
| | Belo Oriente | Pingo d' Água | Cocais | Sabinópolis | Conjunta |
| rCv | 1,75 | 1,76 | 2,31 | 2,32 | 1,53 |
| M | 29,31 | 38,92 | 33,43 | 41,41 | 35,77 |

Fonte: Do autor (2020).

*significativo $p < 0,0001$; V_e : Variância residual; V_g : Variância genotípica; h^2_{mc} : Herdabilidade média de clones; V_i : Variância da interação G x A; r_{gg} : Acurácia seletiva na média de clones; cV_g : Coeficiente de variância genético; cV_e : Coeficiente de variância residual; rCv: Coeficiente de variação relativa; M: IMA médio ($m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$).

Em relação à acurácia seletiva (r_{gg}), foram encontrados os valores iguais de 0,98 para Cocais e Sabinópolis; 0,96 para Belo Oriente e Pingo d' Água e 0,78 para análise conjunta. Rosado et al. (2012), analisando outros vinte e um clones nesses mesmos ambientes e idade, utilizando delineamento de blocos ao acaso, com 21 repetições e uma planta por parcela encontrou valor maior de acurácia seletiva, (r_{gg}) quando avaliou os quatro ambientes conjuntamente. Esse resultado é explicado, em decorrência do maior número de repetições, ou seja, quanto menor for o coeficiente de variação relativa (Cv_r), maior será a necessidade de repetições para alcançar maior acurácia seletiva (r_{gg}) (VENCOSVSKY, 1987).

Coeficiente de variância residual (cV_e) abaixo de 10% são considerados baixos e refletem alta precisão experimental; entre 10 e 20% são considerados médios e indicam boa precisão experimental e acima de 20% são altos e demonstram baixa precisão experimental (GOMES, 1985).

Os coeficientes de variação residual (cV_e) encontrados nos experimentos avaliados aos três e seis anos variaram entre 0,15 e 0,31. Esses resultados demonstram uma baixa e média qualidade experimental, pelo método de Gomes (1985). Porém, de acordo com a classificação de Resende e Duarte (2007), o melhor critério para aferir a qualidade dos experimentos é a Acurácia Seletiva (r_{gg}). Portanto, os experimentos apresentaram uma ótima qualidade e segurança para a seleção de clones nos ambientes avaliados.

A variância da interação G x A foi de 66,27 na análise conjunta. Esse valor foi menor que o obtido aos seis anos de idade, ou seja, a interação teve maior participação na variação fenotípica total. Clones avaliados no sul da Bahia e Espírito Santo tiveram resultados inversos a esses, ou seja, apresentaram maior variação da interação G x A aos três anos, conforme apresentados em trabalhos semelhantes (NUNES et al., 2002).

O coeficiente de variação relativa encontrado (rCv) foi de 2,32 para Sabinópolis; 2,31 para Cocais; 1,78 para Pingo d' Água; 1,75 para Belo Oriente e 1,53 na análise conjunta. Essas

diferenças encontradas nos parâmetros genéticos, obtidos aos três e seis anos, podem ser justificadas, em razão das épocas distintas de análises (TEIXEIRA, 2019).

Em relação à produtividade (M), diferentemente, dos resultados aos seis anos, Pingo d'Água apresentou o melhor desempenho em relação a Cocais. No entanto, Sabinópolis é o ambiente mais produtivo da empresa nas diferentes idades de plantio. A produtividade média dos 4 ambientes, aos três anos, foi de 35,77 m³.ha⁻¹.ano⁻¹; enquanto em experimentos avaliados na mesma idade, no Rio Grande do Sul obteve média de 32,84 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ (SANTOS et al., 2015).

A estimativa da correlação genética pode auxiliar no entendimento sobre a complexidade da interação. Nesse caso, as baixas estimativas da correlação genética indicam pouca coincidência no valor genotípico relativo dos clones nos diferentes locais, confirmando o fato da interação clones x locais ser elevada (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2012).

Tabela 6 – Correlação genética aos seis anos entre os ambientes.

| | Belo Oriente | Pingo d' Água | Cocais | Sabinópolis |
|---------------|---------------------|----------------------|---------------|--------------------|
| Belo Oriente | 1 | 0,551 | 0,383 | 0,345 |
| Pingo d' Água | | 1 | 0,558 | 0,620 |
| Cocais | | | 1 | 0,878 |
| Sabinópolis | | | | 1 |

Fonte: Do Autor (2020).

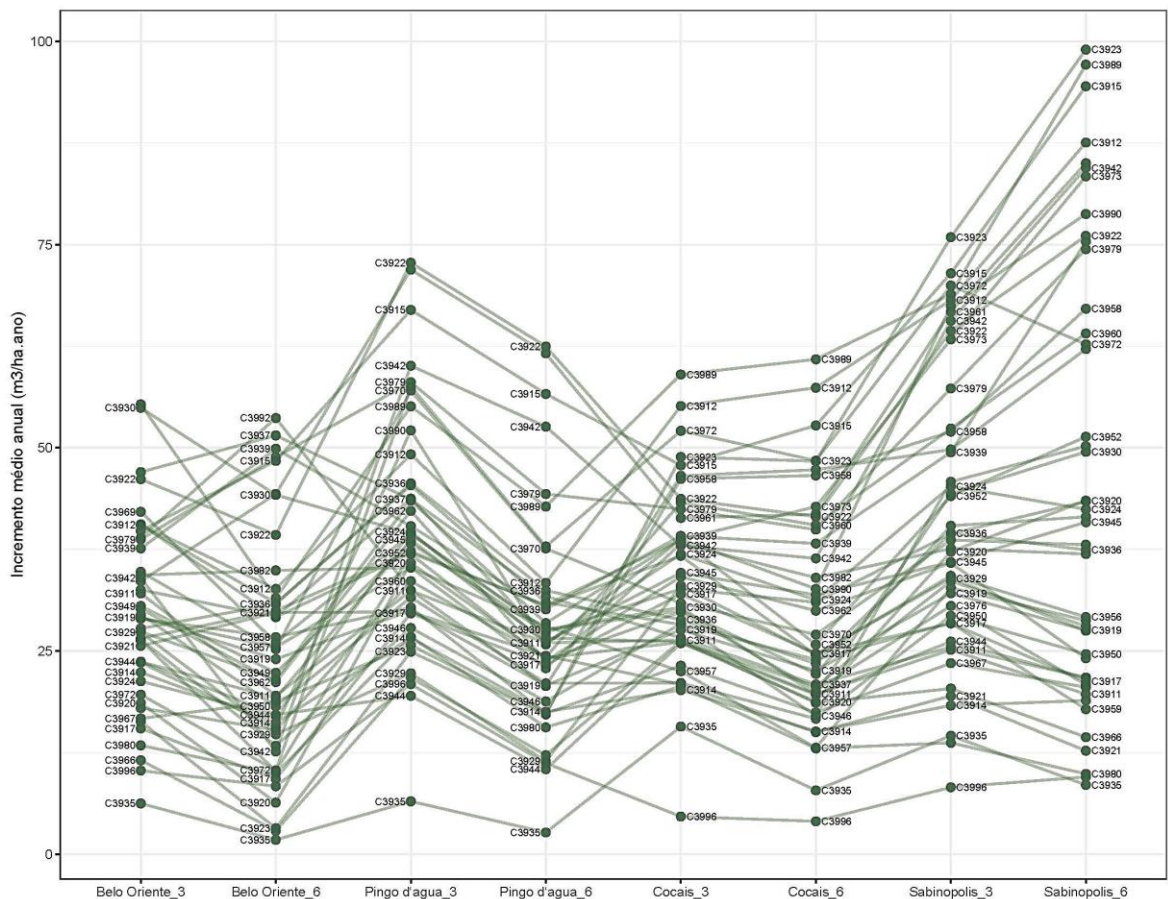
Na Tabela 6, estão apresentados os resultados da correlação genética (r) entre os locais. A menor correlação foi de 0,345 entre Belo Oriente e Sabinópolis; seguido por 0,383 entre Belo Oriente e Cocais; 0,551 entre Belo Oriente e Pingo d'Água; 0,558 entre Pingo d'Água e Cocais; 0,62 entre Pingo d'Água e Sabinópolis e 0,878 entre Cocais e Sabinópolis. As correlações genéticas (r) menores que 0,50 são classificadas como baixas; entre 0,5 a 0,70 são consideradas moderadas; entre 0,70 a 0,90 são consideradas altas e superior a 0,90 são ditas como muito altas (RESENDE; DUARTE, 2007). Portanto, a correlação genética é considerada baixa entre Belo Oriente-Sabinópolis e Belo Oriente-Cocais; moderada entre Belo Oriente-Pingo d'Água e Pingo d'Água-Cocais e alta entre Cocais-Sabinópolis.

Os dois ambientes da região alta (Sabinópolis e Cocais) apresentam similaridade edafoclimáticas e, com isso, a produtividade relativa dos clones se manteve estável entre esses dois locais. Portanto, esses ambientes podem receber uma única recomendação de clones para plantios comerciais e serem agrupados como uma unidade experimental representativa para a

região. Ao contrário, nos dois ambientes da região baixa (Belo Oriente e Pingo d'água), uma única recomendação pode não ser viável.

O incremento médio anual (IMA) aos três anos dos plantios da região baixa é maior, em relação aos seis anos. Na prática, o ritmo de crescimento desses plantios não é constante, durante todo o ciclo médio da floresta até a idade de corte, entre seis e sete anos. Diante disso, caso seja necessário antecipar a colheita, por alguma demanda não planejada, a região baixa deve ser priorizada, uma vez que as florestas da região alta possuem um ritmo de crescimento superior nas idades próximas aos sete anos de plantio (FIGURA 2).

Figura 2 – Produtividade de madeira ($m^3/ha.ano$) dos 46 clones nos diferentes ambientes e idades (três e seis anos) após plantio.



Fonte: Do autor (2020).

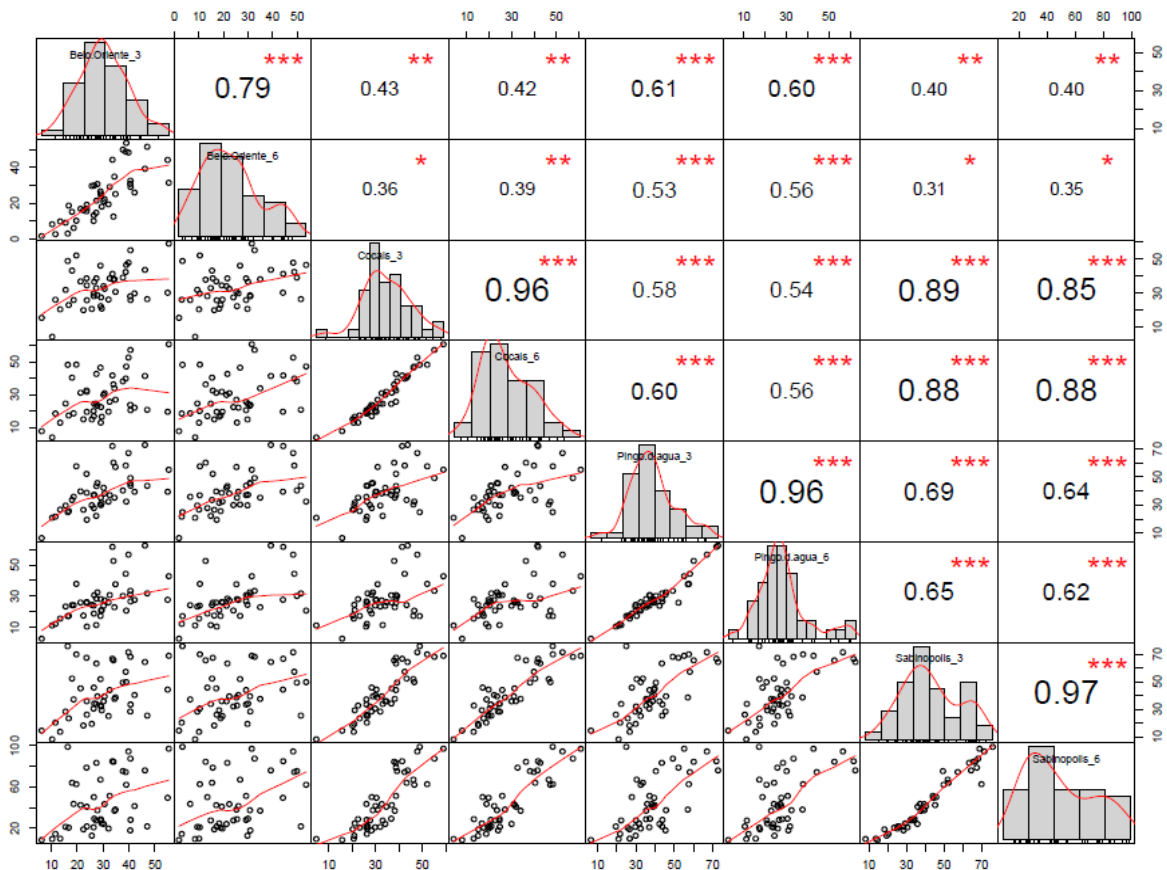
Estudos realizados, na região nordeste da Bahia, demonstraram que o ritmo de crescimento das florestas varia em função da precipitação média e idade (MIRANDA et al., 2014). Esses resultados corroboram com o comportamento dos clones avaliados neste estudo.

As estimativas de mínimos quadrados para a produtividade nos experimentos analisados aos três e seis anos de idade, demonstram que as classificações das correlações

genéticas entre as idades não sofreram grandes alterações. Esses resultados indicam que a idade é muito menos importante que os locais para a interação G x A.

Comparando os mesmos ambientes aos três e seis anos, Belo Oriente apresentou uma correlação entre as idades de 0,79; a correlação entre as idades em Cocais foi de 0,96; a de Pingo d'Água, também, 0,96 e Sabinópolis foi de 0,97. A alta correlação entre as produtividades das diferentes idades, dentro de cada local, é um indicativo que a seleção precoce pode ser realizada. No entanto, é preciso cautela, pois ocorrem trocas de postos entre alguns clones nas diferentes idades (FIGURA 3), ou seja, apesar de possível, com a seleção precoce diminui-se a acurácia seletiva.

Figura 3 – Correlação genética entre os ambientes e idades. Na diagonal está a distribuição dos dados de produtividade de cada ambiente em cada idade (aos três e seis anos). Abaixo da diagonal estão os gráficos de dispersão da produtividade dos locais e idades dois-a-dois.



Fonte: Do autor (2020).

Vários estudos comprovam que a seleção precoce pode ser utilizada para diminuir os ciclos e aumentar o ganho genético de seleção. A seleção precoce pode ser realizada em diferentes idades, considerando caracteres de crescimento, como: diâmetro, altura e volume.

Estudos realizados, no Rio Grande do Sul, concluíram que a seleção precoce aos três anos, após o plantio pode ser empregada para identificar clones, com vigor de crescimento (BELTRAME et al., 2012).

A possibilidade de seleção precoce é consubstanciada pelos elevados valores de correlação genética obtido para os dados de produtividade, nas diferentes idades, para um mesmo local (FIGURA 3). Os valores de correlação são muito altos ($> 0,95$) para Cocais, Pingo d'água e Sabinópolis. Uma correlação menor foi observada em Belo Oriente (0,79), indicando que, nesse local, a seleção precoce pode gerar maiores erros do que nos demais ambientes.

Beltrame et al. (2012), comprovaram que os caracteres de crescimento, altura e DAP, aos 3 anos, são altamente correlacionados com esses mesmos caracteres, aos sete anos de idade. Esses resultados também indicam que ganhos genéticos satisfatórios podem ser obtidos com a seleção precoce de clones.

Seleção precoce de clones de *Eucalyptus urophylla* realizadas aos três anos em Guanhães, município vizinho a Sabinópolis, que foi um dos ambientes deste estudo, apresentou uma eficácia de 97,94% em relação ao DAP e 95,73% para altura (PINTO et al., 2014). Em outras avaliações, foram encontradas eficiências de 87,95; 71,51 e 88,80% na seleção praticada aos 25 meses para DAP, altura e volume, respectivamente, comparativamente à seleção praticada aos 72 meses de idade (MASSARO et al., 2010).

Um outro enfoque a ser considerado no estudo da interação genótipos x ambientes é a sua natureza: simples e composta. A primeira é decorrente de magnitudes das diferenças de variabilidade entre os genótipos; e a segunda, depende da correlação dos genótipos nos ambientes, o que conduz a mudanças na classificação das linhagens nos locais avaliados (CRUZ; CASTOLD, 1991).

Nesse estudo, a maior parte da interação foi estimada como sendo de origem complexa, com proporções variando de 54,63% a 99,99%, exceto entre os locais Cocais e Sabinópolis em que a interação simples foi maior que a complexa, com 68,65% e 31,35%, respectivamente (TABELA 7). Essa menor proporção de interação complexa entre Cocais e Sabinópolis é explicada pela baixa interação entre esses dois ambientes, conforme já observado pela correlação genética (TABELA 6). No geral, esses resultados demonstram a especificidade e alternância da classificação dos clones com maiores valores de Incremento Médio Anual (IMA) em cada local.

Tabela 7 – Decomposição da interação de Cruz e Castold (1991).

| Ambientes dois a dois | r_{gg} | Simple | Complexa |
|------------------------------|-----------------------|---------------|-----------------|
| Belo Oriente-Pingo d' Água | 0,551 | 0,01 | 99,99 |
| Belo Oriente-Cocais | 0,383 | 0,40 | 96,60 |
| Belo Oriente-Sabinópolis | 0,345 | 33,18 | 66,82 |
| Pingo d' Água-Cocais | 0,558 | 0,41 | 99,59 |
| Pingo d' Água-Sabinópolis | 0,620 | 45,47 | 54,63 |
| Cocais-Sabinópolis | 0,878 | 68,65 | 31,35 |

Fonte: Do autor (2020).

A maior parte da interação genótipos x ambientes de clones de eucalipto avaliados no estado de Goiás também foi do tipo interação complexa. Os resultados apresentados em Goiás variaram entre 96,47 e 99,97% de contribuição da parte complexa (TEIXEIRA, 2019). Nos ambientes avaliados, neste estudo, as interações não foram similares em todos os ambientes dois a dois (TABELA 7).

Nunes et al. (2002), avaliando experimentos em teste clonal de eucalipto plantados no sul da Bahia e Espírito Santo, identificou percentuais próximos a 50% de interação simples e complexa. Por outro lado, Teixeira (2019) encontrou valores próximos a 100% de interação complexa para todos os pares de ambiente. Para os ambientes avaliados, nesse estudo, os pares de ambientes Pingo d' Água-Sabinópolis e Cocais-Sabinópolis tiveram valores próximos de 50% para cada tipo de interação (simples e complexa). Os demais ambientes, apresentaram valores de interação complexa maior que a simples (TABELA 7).

Quando há predominância da parte simples, o trabalho de seleção é facilitado, pois a classificação genotípica, nos diferentes ambientes não se altera significativamente. Nesse caso, a seleção pode ser feita na média dos ambientes. Do contrário, quando a parte complexa é mais expressiva, o melhoramento se torna mais difícil, uma vez que, nesse caso, existem genótipos que são bem adaptados a ambientes específicos (RAMALHO et al., 2012a).

Na Tabela 6, é apresentada a classificação dos clones com os valores de Incremento Médio Anual em cada local e média geral de cada local. Em Belo Oriente, aos seis anos de idade, os clones com os maiores valores de IMA foram C3982 ($53,7 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$), C3937 ($51,63 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) e o C3939 ($49,98 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$). Em Pingo d' Água, os maiores valores de IMA correspondem aos clones C3922 ($62,72 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$), C3961 ($61,86 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) e C3915 ($56,87 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$). Em Cocais os melhores clones foram C3989

(61,36 m³.ha⁻¹.ano⁻¹) C3912 (57,86 m³.ha⁻¹.ano⁻¹) e C3915 (53,22 m³.ha⁻¹.ano⁻¹). Em Sabinópolis, valores superiores de IMA referiram-se aos clones C3923 (97,43 m³.ha⁻¹.ano⁻¹), C3989 (95,58 m³.ha⁻¹.ano⁻¹) e C3915 (92,92 m³.ha⁻¹.ano⁻¹).

Esses mesmos clones foram avaliados aos três anos de idade e o desempenho silvicultural nos quatro locais, encontrou os clones C3989 (55,34 m³.ha⁻¹.ano⁻¹), C3930, (54,90 m³.ha⁻¹.ano⁻¹) e C3937 (47,00 m³.ha⁻¹.ano⁻¹) como sendo os três mais produtivos. Em Pingo d'Água, foram os clones C3922 (72,76 m³.ha⁻¹.ano⁻¹), C3961 (71,91 m³.ha⁻¹.ano⁻¹) e C3915 (66,96 m³.ha⁻¹.ano⁻¹). Já, em Cocais, os três clones mais produtivos foram C3989 (59,01 m³.ha⁻¹.ano⁻¹), C3912 (55,13 m³.ha⁻¹.ano⁻¹) e C3972 (52,08 m³.ha⁻¹.ano⁻¹) e em Sabinópolis os clones C3923 (75,90 m³.ha⁻¹.ano⁻¹), C3915 (71,46 m³.ha⁻¹.ano⁻¹) e C3972 (69,96 m³.ha⁻¹.ano⁻¹).

Ao selecionarmos os dez melhores clones de cada local em relação ao IMA, encontramos as seguintes coincidências: Belo Oriente vs Pingo d'Água – seis clones (60%); Belo Oriente vs Cocais – cinco clones (50%); Belo Oriente vs Sabinópolis – cinco clones (50%); Pingo d'Água vs Cocais – cinco clones (50%); Pingo d'Água vs Sabinópolis – cinco clones (50%) e Cocais vs Sabinópolis – seis clones (60%).

A seleção dos dez melhores clones de eucalipto em Goiás, apresentou resultados de no máximo 40% de coincidência nos pares de ambientes, sendo os ambientes de Luziânia e Catalão os de maior coincidência entre os clones selecionados (TEIXEIRA, 2019).

Tabela 8 – Classificação dos dez melhores clones aos três e seis anos nos quatro locais e média local.

(continua)

| Ordem | Belo Oriente | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Clone (3) * | IMA (3) * | Clone (6) ** | IMA (6) ** |
| 1 | C3989 | 55,34 | C3992 | 53,77 |
| 2 | C3930 | 54,90 | C3937 | 51,63 |
| 3 | C3937 | 47,00 | C3939 | 49,98 |
| 4 | C3922 | 46,13 | C3979 | 48,95 |
| 5 | C3969 | 42,11 | C3915 | 48,22 |
| 6 | C3987 | 40,57 | C3961 | 44,15 |
| 7 | C3912 | 40,52 | C3930 | 44,04 |
| 8 | C3959 | 40,51 | C3922 | 39,12 |
| 9 | C3915 | 39,77 | C3982 | 35,02 |
| 10 | C3992 | 38,91 | C3912 | 32,47 |
| Média local (m³/ha.ano) | | 29,31 | | 24,12 |

Tabela 8 – Classificação dos dez melhores clones aos três e seis anos nos quatro locais e média local.

(conclusão)

| Pingo d'Água | | | | |
|---|-------|--------------|-------|--------------|
| Ordem | Clone | IMA (3) | Clone | IMA (6) |
| 1 | C3922 | 72,76 | C3922 | 62,72 |
| 2 | C3961 | 71,91 | C3961 | 61,86 |
| 3 | C3915 | 66,96 | C3915 | 56,87 |
| 4 | C3942 | 60,09 | C3942 | 52,85 |
| 5 | C3979 | 58,05 | C3979 | 44,56 |
| 6 | C3972 | 57,51 | C3989 | 43,02 |
| 7 | C3970 | 57,02 | C3972 | 38,10 |
| 8 | C3989 | 55,09 | C3970 | 37,85 |
| 9 | C3990 | 52,12 | C3912 | 33,63 |
| 10 | C3912 | 49,18 | C3936 | 32,68 |
| Média local (m³/ha.ano) | | 38,92 | | 27,77 |
| Cocais | | | | |
| Ordem | Clone | IMA (3) | Clone | IMA (6) |
| 1 | C3989 | 59,01 | C3989 | 61,36 |
| 2 | C3912 | 55,13 | C3912 | 57,86 |
| 3 | C3972 | 52,08 | C3915 | 53,22 |
| 4 | C3923 | 48,86 | C3972 | 48,90 |
| 5 | C3915 | 47,84 | C3923 | 48,83 |
| 6 | C3992 | 46,54 | C3992 | 47,78 |
| 7 | C3958 | 46,16 | C3958 | 47,07 |
| 8 | C3922 | 43,70 | C3973 | 43,22 |
| 9 | C3960 | 43,25 | C3961 | 42,31 |
| 10 | C3979 | 42,44 | C3922 | 42,00 |
| Média local (m³/ha.ano) | | 33,43 | | 29,38 |
| Sabinópolis | | | | |
| Ordem | Clone | IMA (3) | Clone | IMA (6) |
| 1 | C3923 | 75,90 | C3923 | 97,43 |
| 2 | C3915 | 71,46 | C3989 | 95,58 |
| 3 | C3972 | 69,96 | C3915 | 92,92 |
| 4 | C3989 | 68,90 | C3912 | 86,00 |
| 5 | C3912 | 68,17 | C3961 | 83,46 |
| 6 | C3990 | 67,45 | C3942 | 82,89 |
| 7 | C3961 | 66,75 | C3973 | 81,84 |
| 8 | C3942 | 65,62 | C3990 | 77,21 |
| 9 | C3922 | 64,38 | C3922 | 74,52 |
| 10 | C3973 | 63,34 | C3939 | 73,82 |
| Média local (m³/ha.ano) | | 43,53 | | 41,41 |

Fonte: Do autor (2020).

Quando analisado o desempenho dos clones, aos três anos de idade, encontramos as seguintes coincidências: Belo Oriente vs Pingo d'Água – quatro clones (40%); Belo Oriente vs Cocais – cinco clones (50%); Belo Oriente vs Sabinópolis – seis clones (60%); Pingo d'Água vs Cocais – sete clones (70%); Pingo d'Água vs Sabinópolis – oito clones (80%) e Cocais vs Sabinópolis – seis clones (60%).

Na Tabela 9, estão as estimativas de ganho com a seleção direta obtida, a partir dos dez melhores clones de cada local. Ou seja, foram selecionados os 21,74% melhores clones em cada local.

Tabela 9 – Estimativas de ganhos a partir da seleção direta dos dez clones com maiores produtividade nos quatro ambientes aos seis anos de idade.

| Ambientes | X_s | X_0 | DS | h^2 | GS | GS% |
|---------------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|
| Belo Oriente | 44,73 | 24,122 | 20,61 | 0,91 | 18,757 | 77,76 |
| Pingo d' Água | 46,41 | 27,769 | 18,64 | 0,93 | 17,339 | 62,44 |
| Cocais | 49,26 | 29,375 | 19,88 | 0,95 | 18,886 | 64,29 |
| Sabinópolis | 84,57 | 43,533 | 41,03 | 0,95 | 38,981 | 89,54 |

Fonte: Do autor (2020).

X_s : População selecionada ($m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$); X_0 : População original ($m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$); DS: Diferencial de seleção ($m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$); h^2 : Herdabilidade; GS: Ganho de seleção ($m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$); GS%: Ganho de seleção em percentual.

Sabinópolis foi o ambiente que obteve a maior estimativa de ganho com a seleção (89,54%), enquanto, Pingo d' Água apresentou a menor estimativa de ganho (62,44%). Clones avaliados no Sul da Bahia e Espírito Santo obtiveram ganhos com a seleção direta entre 43,27 e 87,18% (NUNES et al., 2002). Já em avaliações realizadas no estado de São Paulo, os ganhos obtidos ficaram entre 19,8 a 33%, com uma intensidade de seleção de 20% (SOUZA, 2016).

Nas condições de expressiva interação, em que as empresas cultivam enormes áreas com diferentes qualidades de sítios, é necessário identificar clones específicos para os ambientes. Essa estratégia é bem complicada, pois seriam necessárias grandes redes experimentais e um grande número de clones a serem produzidos no viveiro, com um controle rigoroso de manejo.

Essa estratégia de ter clones específicos só será vantajosa, se a interação for muito expressiva e se houver grande disponibilidade de recursos e mão de obra treinada para a multiplicação e manejo de uma grande diversidade de clones. Quando isso não ocorre, a opção é identificar clones com boa adaptação e maior estabilidade fenotípica possível. A estabilidade também é importante, porque não se pode prever com precisão as condições climáticas futuras, a serem enfrentadas nos plantios comerciais. Ou seja, ao selecionar clones

mais estáveis, diminuem-se os riscos associados a eventuais mudanças ou flutuações climáticas inesperadas.

Nesse contexto, a avaliação de clones selecionados em um ambiente e plantados em outros ambientes é uma estratégia para reduzir a quantidade de clones para manejar. A seleção indireta pode ser uma boa opção para contornar esses inconvenientes, desde que seja conhecido se os ganhos de seleção indireta serão satisfatórios.

A resposta indireta à seleção pode ser utilizada também como outro método de estudo da interação de genótipos com ambientes, por exemplo, selecionando-se os clones, no ambiente 1 e avaliando o ganho obtido com esses clones no ambiente 2. Ou seja, avalia-se o ganho, no ambiente 2, resultante da seleção no ambiente 1. Se o ganho for pequeno, isso indica que a seleção tem que ser feita de forma local-específica, porque a interação é significativa. Dessa maneira, obtêm-se as estimativas de ganhos indiretos entre pares de ambientes, o que fornecerá uma ideia sobre a interação de genótipos com ambientes (TABELA 10).

Tabela 10 – Ganhos obtidos pela seleção direta (na diagonal) e indireta nos quatro ambientes.

| Seleção no ambiente | h ² | Resposta no Ambiente | | | |
|---------------------|----------------|----------------------|---------------|---------------|---------------|
| | | Belo Oriente | Pingo d' Água | Cocais | Sabinópolis |
| Belo Oriente | 0,91 | 18,757 | 8,278 | 7,443 | 15,118 |
| Pingo d' Água | 0,93 | 6,256 | 17,339 | 10,868 | 28,648 |
| Cocais | 0,95 | 5,736 | 8,628 | 18,886 | 30,444 |
| Sabinópolis | 0,95 | 4,638 | 11,200 | 13,506 | 38,981 |

Fonte: Do autor (2020).

Como consequência da própria expressão utilizada para o cálculo dos ganhos seletivos, a resposta direta de seleção, valores na diagonal, sempre será superior à resposta indireta. Os ambientes cujo comportamento dos clones é menos similar são Belo Oriente e Sabinópolis (4,68 m³.ha⁻¹.ano⁻¹). Esse resultado é consistente com a menor correlação genética observada entre esses dois locais (TABELA 10).

O ambiente Sabinópolis, seguido de Cocais e Pingo d' Água, é o que maximiza os ganhos em todos os ambientes considerados. Por outro lado, os clones selecionados em Belo Oriente geraram os menores ganhos quando testados nos demais ambientes.

Nos experimentos avaliados no sul da Bahia e Espírito Santo, em nove ambientes, os ganhos obtidos com a seleção indireta variou entre 23,80 e 49,98% entre os pares de ambientes, prevalecendo os maiores ganhos na seleção direta (NUNES et al., 2002).

Uma vez identificada a interação e suas implicações sobre o ganho com a seleção, é importante que medidas sejam empregadas para atenuar o seu efeito. Entre essas alternativas, destacam-se o uso de cultivares com maior estabilidade. Para isso, o método de Annicchiarico foi utilizado para se estimar um índice de confiança, que reflete o risco da adoção de cada clone.

Pereira et al. (2009) demonstraram que os métodos de Lin & Bins, Lin & Bins modificado e Annicchiarico possuem alta correlação com as médias de produtividade, o que indica que os genótipos identificados como mais estáveis e adaptados, por esses métodos deverão figurar entre os mais produtivos. Portanto, esses métodos são recomendados, pois apresentam simplicidade e identificação de genótipos estáveis e adaptados.

Os clones da Tabela 11 tiveram desempenho superior à média do ambiente, sendo, portanto, os de melhor índice de confiança, utilizando um nível de significância de 25%. O clone C3915 foi o que apresentou o melhor índice de confiança, com valor de 190,62, o que significa que esse clone deve ter um desempenho 90,62% acima da média, considerando os quatro ambientes avaliados. O clone C3915 também foi o que apresentou as melhores posições de produtividade dentro dos ambientes. Porém, cabe ressaltar que em nenhum dos ambientes ele foi o clone mais produtivo, ressaltando o balanço que existe entre estabilidade e adaptabilidade no processo de seleção clonal.

Tabela 11 – Estimativa de média local; índice de confiança de Annicchiarico com classificação por local e média dos dez melhores clones em cada ambiente aos seis anos de idade.

| Ordem | Clone | Annicchiarico | Belo Oriente | Pingo d'Água | Cocais | Sabinópolis |
|--|-------|---------------|--------------|--------------|--------|-------------|
| 1 | C3915 | 190,62 | 5° | 3° | 3° | 3° |
| 2 | C3961 | 163,51 | 6° | 2° | 9° | 5° |
| 3 | C3922 | 151,57 | 8° | 1° | 10° | 9° |
| 4 | C3989 | 148,94 | 11° | 6° | 1° | 2° |
| 5 | C3979 | 148,84 | 4° | 5° | 12° | 11° |
| 6 | C3912 | 135,27 | 10° | 9° | 2° | 4° |
| 7 | C3939 | 125,43 | 3° | 15° | 13° | 10° |
| 8 | C3992 | 108,89 | 1° | 35° | 6° | 15° |
| 9 | C3973 | 101,82 | 24° | 16° | 8° | 7° |
| Média local m ³ /ha.ano) | | | 24,12 | 27,77 | 29,38 | 43,53 |
| Média Annicchiarico (m ³ /ha.ano) | | | 41,04 | 42,51 | 47,43 | 78,45 |
| Média 10 melhores m ³ /ha.ano) | | | 44,73 | 46,41 | 49,26 | 84,57 |

Fonte: Do autor (2020).

Estudos realizados com 84 clones de eucalipto, aos três anos de idade, na empresa CMPC, usou os métodos de Annicchiarico e Lin & Bins para identificação de genótipos com estabilidade, adaptabilidade e alto potencial produtivo. Dos 84 clones avaliados, 18 clones obtiveram resultados acima de 100%, enquanto dos 46 clones avaliados, neste trabalho, nove clones obtiveram resultados acima de 100%, números relativamente bem parecidos. Porém, os ganhos apresentados na CMPC não passaram de 113,33% pelo método de Annicchiarico (SANTOS et al., 2018).

5 CONCLUSÃO

Existe interação genótipos por ambientes, para os locais avaliados, indicando ser difícil para a equipe de melhoramento selecionar clones, dentro das áreas da empresa. A exceção da região alta (Cocais e Sabinópolis), todos os demais pares de locais exibiram média a forte interação de genótipos com ambientes.

A região alta é a mais produtiva da empresa e apresentou baixa interação de genótipos com ambientes entre os locais, sendo Sabinópolis o local de maior performance.

A indicação de clones por ambientes, para os ensaios de campo, deve ser específica para cada local da região baixa e pode ser única para os locais da região alta.

A seleção precoce, aos três anos, pode ser praticada para as próximas etapas do programa de melhoramento. Porém, existem riscos na recomendação direta para plantios comerciais.

A seleção direta apresentou ganhos expressivos em todos os locais avaliados. Destaque para Sabinópolis que obteve 89,54% de ganho com a seleção.

Em Sabinópolis a variação genética foi maior, indicando que esse é um bom local para discriminar os clones a serem recomendados para a região alta.

Dos 46 clones, nove tiveram desempenho acima da média dos ambientes e podem minimizar riscos, por serem os mais estáveis considerando o método de Annicchiarico.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, T. F.; ABAD, J. I. M.; AGUIAR, A. M. Melhoramento genético do eucalipto. In: SHUMACHER, M. V.; VIEIRA, M. (Org.). **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. Santa Maria: Ed. UFSM, 2016. p. 225-247.
- BELTRAME, R. et al. Desempenho silvicultural e seleção precoce de clones de híbridos de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 6, p. 791-796, jun. 2012.
- BOREM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 6. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2013. 523 p.
- BORGES, J. S. **Modulador edáfico para uso em modelo ecofisiológico e produtivo potencial de povoamentos de eucalipto**. 2012. 80 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.
- BUENO, L. C. S.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, S. P. **Melhoramento genético de plantas: princípios e procedimentos**. 2. ed. Lavras: Ed. UFLA, 2006.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2006.
- CHAVES, L. J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L. L. et al. (Org.). **Recursos genéticos e melhoramento: planta**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 673-713.
- CHAVES, L. J.; VENCOVSKY, R.; GERALDI, I. O. Modelo não-linear aplicado ao estudo da interação de genótipos x ambientes em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 24, n. 2, p. 259-268, fev. 1989.
- CRUZ, C. D. **Princípios de genética quantitativa**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2012. 394 p.
- CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. L. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 38, n. 219, p. 422-430, 1991.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 1997. 390 p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2004. 480 p.
- FONSECA, S. M. et al. **Manual prático de melhoramento genético do eucalipto**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2010. 210 p.
- GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 12. ed. São Paulo: Nobel, 1985. 467 p.
- GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: Nobel, 2000. 475 p.

- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório 2019**. São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2020.
- LEITE, H. G.; GUIMARÃES, D. P.; CAMPOS, J. C. C. Descrição e emprego de um modelo para estimar múltiplos volumes de árvores. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 19, n. 1, p. 65-79, 1995.
- MAIA, M. C. C. et al. Seleção simultânea para produção, adaptabilidade e estabilidade genotípica em clones de cajueiro via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 1, p. 43-50, 2009.
- MASSARO, R. A. M. et al. Viabilidade de aplicação da seleção precoce em testes clonais de *eucalyptus spp.* **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 597-609, 2010.
- MIRANDA, R. O. V. de et al. Modelagem do crescimento e produção em classes de precipitação pluviométrica para *eucalyptus sp.* **Revista Floresta**, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 117-28, 2014.
- MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 112 p.
- NUNES, G. H. S. de et al. Implicações da interação genótipos x ambientes na seleção de clones de eucalipto. **Revista Cerne**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 49-58, 2002.
- PEREIRA, H. S. et al. Comparação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 4, p. 374-383, abr. 2009.
- PINTO, S. P. et al. Seleção precoce para características de crescimento em testes clonais de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 102, p. 251-257, 2014.
- QUEIROZ, L. R. S.; BARRICHELO, L. E. G. **O eucalipto: um século no Brasil**. São Paulo: Ed. A. Belline, 2007. 127 p.
- R CORE TEAM. **R: a language and environment for Statistical Computing**. Vienna: Foundation for Statistical Computing, 2018. Disponível em: <<https://www.R-project.org>>. Acesso em: 10 jun. 2019.
- RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Ed. UFLA, 2012a. 522 p.
- RAMALHO, M. A. P. et al. **Genética na agropecuária**. 5. ed. Lavras: Ed. UFLA, 2012b.
- RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 3. ed. Lavras: Ed. UFLA, 2012. 323 p.
- RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Colombo: Ed. Embrapa Florestas, 2002. 975 p.

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

ROSADO, A. M. et al. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com a produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 7, p. 964-971, 2012.

SANTOS, G. A. et al. Interação genótipos x ambientes para a produtividade de clones de *Eucalyptus*, L'Her. no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 39, n. 1, p. 81-91, 2015.

SANTOS, G. A. et al. Potencial da silvicultura clonal de *Eucalyptus benthamii* para o sul do Brasil. In: SILVA, L. D.; HIGA, A. R.; SANTOS, G. A. (Org.). **Silvicultura e melhoramento genético de *Eucalyptus benthamii***. Curitiba: Ed. FUPEF, 2012. p. 77-103.

SANTOS, O. P. dos et al. Métodos de adaptabilidade e estabilidade aplicados ao melhoramento de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 53, n. 1, p. 53-62, jan. 2018.

SOUZA, I. C. G. de. **Seleção e melhoramento em populações clonais de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden**. 2016. 70 p. Tese (Doutorado em Genética)-Universidade Paulista Campus de Botucatu, Botucatu, 2016.

SQUILASSI, M. G. **Interação de genótipos com ambientes**. Aracaju: Ed. Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2003. 47 p.

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**, Amsterdam, v. 259, p. 1686-1694, 2010.

TEIXEIRA, C. H. **Seleção de clones de *Eucalyptus* spp. para o estado de Goiás**. 2019. 39 p. Monografia (Graduação em Agronomia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E. (Org.). **Melhoramento e a produção de milho no Brasil**. Piracicaba: Fundação Cargill, 1987. p. 137-214.

WICKHAM, H. **GGPLOT2: elegance graphics for data analysis**. 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 2016. 259 p.

APÊNDICE A – PRODUTO TÉCNICO

CIRCULAR TÉCNICA MELHORAMENTO GENÉTICO FLORESTAL - CENIBRA



**CIRCULAR
TÉCNICA CNB 01**

**Autor:
Márcio de Souza Reis**

IMPLICAÇÕES DA INTERAÇÃO GENÓTIPOS x AMBIENTES NA SELEÇÃO DE CLONES DE EUCALIPTO EM AMBIENTES CONTRASTANTES

INTRODUÇÃO

A interação de genótipos com ambientes é um fenômeno prevalente e que dificulta de forma significativa o melhoramento e a recomendação de clones. O objetivo desse trabalho foi estudar a interação genótipos x ambientes em áreas com altitudes contrastantes da empresa, para recomendação de clones híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*, com base na produtividade. Foram avaliados 46 clones, aos três e seis anos de idade. Os experimentos foram instalados em quatro locais diferentes, sendo dois de elevada altitude (>1000 m) e dois de baixa (<350 m), em delineamento de blocos completos ao acaso, com cinco repetições em parcela linear de cinco plantas cada (FIGURA 1).

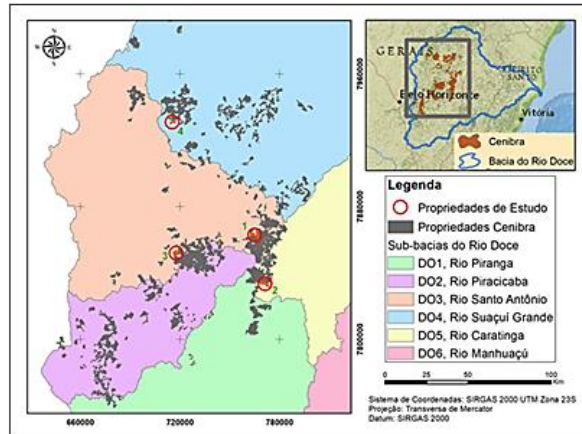


Figura 1 – Localização dos experimentos de campo.

METODOLOGIA

Os ensaios de campo foram conduzidos, em quatro localidades distintas, Projeto Milagre, Região Belo Oriente (Baixa), Projeto Ribeirão do Boi, Região de Pingo d'Água (Baixa), Projeto Capelinha, Região de Cocais (Alta) e Projeto Inhambu, Região de Sabinópolis (Alta).

Os dados edafoclimáticos de cada local foram obtidos das estações meteorológicas pertencentes à empresa, localizadas próximas às áreas de estudo (TABELA 1).

Os clones foram avaliados quanto ao diâmetro à altura do peito (DAP) e altura da planta, permitindo a estimativa do volume comercial com casca.

As significâncias dos efeitos de blocos e clones foram avaliadas para cada local, utilizando-se análises de variância individuais (GOMES, 2000).

Verificada a pressuposição de homogeneidade da variância residual, foi realizada a análise conjunta dos experimentos, permitindo a verificação dos efeitos de local e da interação dos genótipos com os locais (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2012).

As análises estatísticas foram conduzidas no software R (R CORE TEAM, 2018), utilizando-se o pacote doBy para a obtenção das estimativas.

Para a análise correlação genética entre os ambientes foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson entre as estimativas de mínimos quadrados obtidas para os clones em cada local (TABELA 2).

Além disso, a interação também foi interpretada de forma gráfica, observando-se houve ou não troca de ranqueamento entre as estimativas de produtividade dos clones nas diferentes idades (três e seis anos), bem como nos locais (WICKHAM, 2016).

Tabela 1 – Dados edafoclimáticos da área de estudo.

| Variáveis edafoclimatológicas | Local | | | |
|---|--------------|--------------|-------------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | Belo Oriente | Pingo d'Água | Sabinópolis | Cocais |
| Altitude (m) | 240 | 310 | 1.012 | 1.273 |
| Temperatura Mínima (C°) | 18,7 | 19,1 | 16,0 | 15,0 |
| Temperatura Máxima (C°) | 30,7 | 27,7 | 25,3 | 23,3 |
| Temperatura Média (C°) | 24,2 | 23,0 | 20,9 | 19,5 |
| Umidade Relativa (%) | 72,2 | 72,4 | 69,4 | 75,3 |
| Precipitação (mm) | 1.197,7 | 1.152,7 | 1.124,80 | 1.262,50 |
| Déficit Hídrico (mm) | 350,7 | 332,7 | 225,4 | 126,1 |
| Déficit de Pressão de Vapor (hPa) | 8,1 | 8,8 | 6,0 | 4,1 |
| Radiação Global (M Jm ² /dia) | 17,0 | 17,0 | 15,8 | 14,0 |
| Radiação Fotossinteticamente Ativa (mmol/m ² /s) | 33,311 | 34,334 | 34,199 | 30,315 |
| Velocidade do vento (m/s) | 1,0 | 2,3 | 3,5 | 4,4 |
| Matéria Orgânica (dag/kg) | 0,83 | 1,23 | 2,53 | 2,11 |
| Profundidade Efetiva (m) | 1,0 - 2,5 | 2,5 - 5,0 | 2,5 - 4,0 | 1,5 - 3,0 |
| Soma de Bases (Cmolc/kg) | 1,46 | 0,38 | 0,17 | 0,12 |

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A região alta foi a que apresentou a maior produtividade, aos seis anos de idade, com 43,53 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ em Sabinópolis e 29,38 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ em Cocais; enquanto na região baixa, Pingo d'Água apresentou uma superioridade em relação a Belo Oriente, com 27,77 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ e 24,12 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, respectivamente.

O incremento médio anual (IMA) aos três anos dos plantios da região baixa é maior, em relação aos seis anos. Na prática, o ritmo desses plantios não é constante, durante todo o ciclo médio da floresta. Diante disso, caso seja necessário antecipar a colheita, por alguma demanda não planejada, a região baixa deve ser priorizada, uma vez que as florestas da região alta possuem um ritmo de crescimento superior nas idades próximas aos sete anos de plantio.

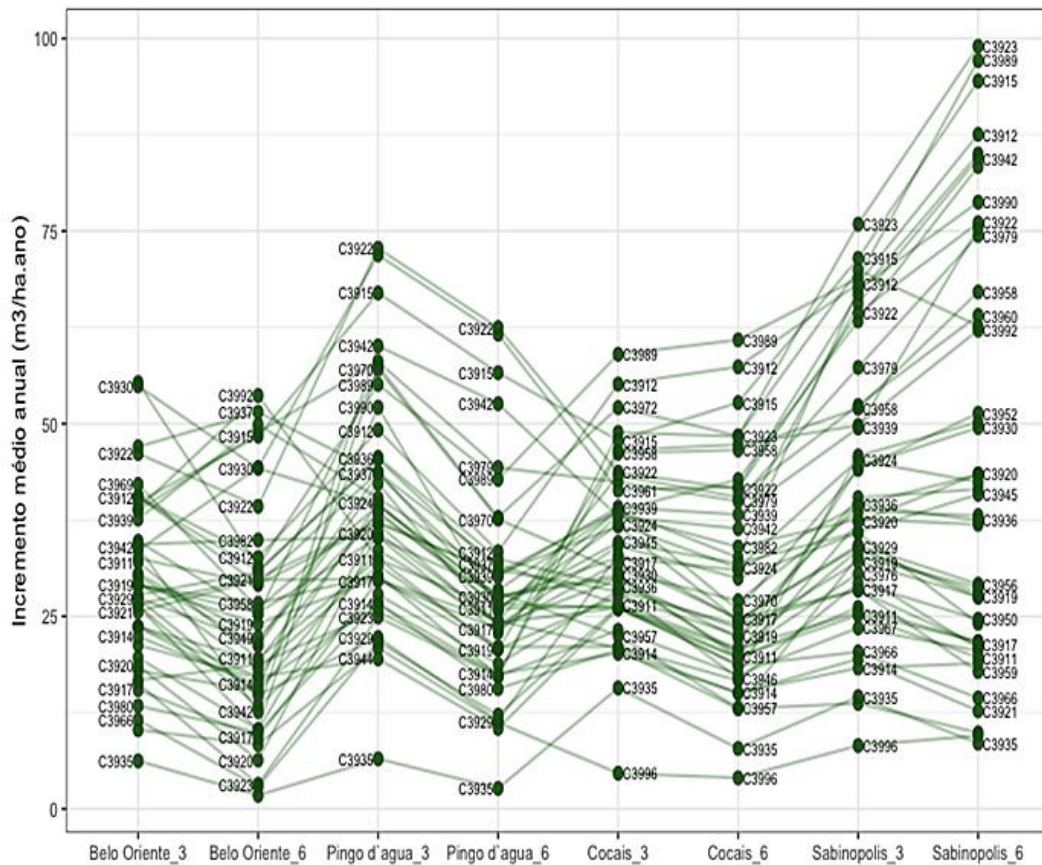


Figura 2 – Produtividade de madeira ($\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) dos 46 clones nos diferentes ambientes e idades (três e seis anos) após plantio.

Os dois ambientes analisados da região alta (Sabinópolis e Cocais) apresentam similaridade edafoclimáticas e, com isso, a produtividade relativa dos clones se manteve estável entre esses dois locais (TABELA 2). Portanto, esses ambientes podem receber uma única recomendação de clones para plantios comerciais e serem agrupados como uma unidade experimental representativa para a região. Ao contrário, nos dois ambientes da região baixa (Belo Oriente e Pingo d'Água), uma única recomendação pode não ser viável (FIGURA 2).

De acordo com a produtividade nos experimentos aos três e seis anos de idade, as classificações dos clones não sofreram grandes alterações. Esses resultados demonstram que a idade é muito menos importante que os locais para a interação genótipos x ambientes. A alta correlação entre as produtividades das diferentes idades, dentro de cada local, é um indicativo que a seleção precoce pode ser realizada. No entanto, é preciso cautela, pois ocorrem trocas de postos entre alguns clones nas diferentes idades e nos diferentes ambientes.

Tabela 2 – Interação genética aos seis anos.

| | Belo Oriente | Cocais | Pingo d'Água | Sabinópolis |
|---------------------------------|--------------|--------|--------------|-------------|
| Belo Oriente | 1 | 0,383 | 0,551 | 0,345 |
| Cocais | | 1 | 0,558 | 0,378 |
| Pingo d'Água | | | 1 | 0,62 |
| Sabinópolis | | | | 1 |
| Volume (m ³ /ha/ano) | 29,31 | 33,43 | 38,52 | 41,60 |

Nas condições de expressiva interação, em que as empresas cultivam enormes áreas com diferentes qualidades de sítios, é necessário identificar clones específicos para os ambientes. Essa estratégia é bem complicada, pois seriam necessárias grandes redes experimentais e um grande número de clones a serem produzidos no viveiro, com um controle rigoroso de manejo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. Existe interação genótipos por ambientes para os locais avaliados nas áreas da empresa. A exceção da região alta, todos os demais pares de locais exibiram média a forte interação de genótipos com ambientes.
2. A região alta é a mais produtiva da empresa e apresentou baixa interação de genótipos com ambientes entre os locais.
3. A indicação de clones e ambientes, para os ensaios de campo, deve ser específica para cada local da região baixa e única para os locais da região alta.
4. A seleção precoce, pode ser praticada para as próximas etapas do programa de melhoramento. Porém, existem riscos na recomendação direta para plantios comerciais.

REFERÊNCIAS

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: Nobel, 2000. 475 p.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 3. ed. Lavras: Ed. UFLA, 2012. 323 p.

R Core Team. **R: a language and environment for Statistical Computing**. Vienna: Foundation for Statistical Computing, 2018. Disponível em: <<https://www.R-project.org>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

WICKHAM, H. **GGPLOT2: elegance graphics for data analysis**. 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 2016. 259 p.