



KATYANNE VIANA DA CONCEIÇÃO

**SELEÇÃO DE CLONES DE *Eucalyptus* PARA
CRESCIMENTO E QUALIDADE DA MADEIRA
ALIADA À ESTABILIDADE BIOMECÂNICA DE
ÁRVORES**

LAVRAS - MG

2016

KATYANNE VIANA DA CONCEIÇÃO

**SELEÇÃO DE CLONES DE *Eucalyptus* PARA CRESCIMENTO E
QUALIDADE DA MADEIRA ALIADA À ESTABILIDADE
BIOMECÂNICA DE ÁRVORES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Madeira como Matéria-Prima, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Sebastião Carlos da Silva Rosado
Orientador

**LAVRAS – MG
2016**

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

Conceição, Katyanne Viana da.

Seleção de clones de *Eucalyptus* para crescimento e qualidade da madeira aliada à estabilidade biomecânica de árvores / Katyanne Viana da Conceição. – Lavras : UFLA, 2016.

79 p. : il.

Dissertação(mestrado acadêmico)–Universidade Federal de Lavras, 2016.

Orientador: Sebastião Carlos da Silva Rosado.

Bibliografia.

1. Estabilidade biomecânica. 2. Melhoramento genético. 3. Produção florestal. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

KATYANNE VIANA DA CONCEIÇÃO

**SELEÇÃO DE CLONES DE *Eucalyptus* PARA CRESCIMENTO E
QUALIDADE DA MADEIRA ALIADA À ESTABILIDADE
BIOMECÂNICA DE ÁRVORES**

***SELECTION OF Eucalyptus CLONES FOR WOOD GROWTH AND
QUALITY ALLIED TO THE BIOMECHANIC STABILITY OF TREES***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Madeira como Matéria-Prima, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 12 de setembro de 2016.

Prof. Dr. Francisco Carlos Gomes UFLA

Prof. Dra. Vássia Carvalho Soares IFMG - Bambuí

Prof. Dr. Sebastião Carlos da Silva Rosado
Orientador

LAVRAS – MG

2016

À minha mãe Kátia por todo amor, carinho, apoio, confiança e dedicação.

És minha fonte de inspiração.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Ciências Florestais e Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, pela oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao meu orientador Prof. Dr. Sebastião Carlos da Silva Rosado por todo ensinamento, atenção, paciência e dedicação para que conseguíssemos desenvolver este projeto.

Ao Prof. Dr. Francisco Carlos Gomes e à Prof. Dra. Vássia Carvalho Soares, membros da banca de defesa, pelas considerações e sugestões.

Aos demais professores do PPGCTM que muito contribuíram durante estes dois anos de mestrado acadêmico.

A todos os funcionários do DCF/UFLA que com zelo e dedicação deram suporte para proporcionar ambiente de estudo limpo e organizado.

A todos os colegas de departamento, em especial aos que se tornaram companheiros da “salinha de estudo” e alguns até amigos. Aos demais amigos, também, do Pará e Minas Gerais que muito ajudaram nesta caminhada e aos que mesmo geograficamente distante tentavam se fazer presentes.

Aos meus pais, Katia e José pelo amor e apoio incondicional. Aos meus sobrinhos Emmyle, Luan, Isabela e Marcelle, minhas riquezas e fonte de inspiração, e aos demais familiares que de diferentes formas contribuíram para mais esta conquista.

Ao Michel, pelo companheirismo, amor, respeito, apoio e paciência em todos os momentos.

Muito Obrigada!!

RESUMO

Os impactos causados pela força de arraste por ventos fortes são de difícil controle por duas razões fundamentais: a primeira delas está na imprevisibilidade de sua ocorrência e de sua intensidade. Adicionalmente, a segunda razão é resultante de um importante “*trade-off*” envolvendo algumas relações alométricas de árvores que podem ser modificadas pelo melhoramento genético. Este estudo teve como objetivo propor uma metodologia para alinhar o melhoramento das dimensões das árvores com as suas propriedades de resistência biomecânica às forças do meio, por exemplo, arraste pelo vento, gravidade e acúmulo de água pela chuva ou neve. Utilizaram-se 20 clones de *Eucalyptus* spp. na idade de cinco anos e três meses, cultivados em espaçamento de 10 x 4 m, na fazenda Bom Sucesso, a qual se localiza no município de Vazante - Minas Gerais. A avaliação foi realizada por amostragem destrutiva e análise não destrutiva, sendo conduzida em três rametes (árvores) para cada clone. Avaliaram-se as características de Densidade básica (Db), Módulo de Elasticidade (E) e Módulo de Elasticidade Específico (EE), Índice de Esbeltez (IE), Altura Crítica (H_{crit}), Fator de Segurança (f), Deformação Residual (DRL) e Proporção Máxima de Madeira de Tração (PMMT). Para as estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos e predições dos valores genotípicos utilizou-se o programa computacional Selegen-REML/PLUP. No estudo do crescimento, as características de DAP e altura apresentaram herdabilidade muito alta de 0,74 e 0,83, respectivamente, e os clones 39 (DAP) e 44JC (altura) se destacaram quanto ao ganho genético. No estudo das propriedades da madeira, as características de herdabilidade foram muito altas para Db e E, com valores de 0,90 e 0,80, respectivamente. Para a DRL a herdabilidade foi igual a 0,51, de magnitude considerável. O clone 180 se destaca como superior considerando o propósito de resistência à flexão estática da madeira, densidade da madeira e crescimento em DAP, e o clone 319 que, além de ser superior para Db e E é, também, para o crescimento em altura. A estimativa de herdabilidade para as características de IE, H_{crit} e f são de boa magnitude, sendo 0,67, 0,78 e 0,65, respectivamente. Para o clone 65, pode-se prever que os rametes serão mecanicamente mais estáveis, produtivos e geradores de madeira serrada com menores níveis de defeitos. Os clones 180, 319, 48 e 35 apresentam as menores PMMT, com amplitude de 8 a 10% que, teoricamente, podem ser classificados como produtores de madeira de melhor qualidade para o processamento primário.

Palavras-chave: Estabilidade biomecânica. Melhoramento genético. Produção florestal. Ventos.

ABSTRACT

The impacts caused by the dragging force of strong winds are difficult to control for two fundamental reasons: the first is in the unpredictability of its occurrence and its intensity, the second reason is resultant of an important trade-off involving some allometric reactions of trees that can be modified by breeding. This study had the objective of proposing a methodology to align the improvement of the tree dimension with its properties of biomechanic resistance to environmental forces, such as wind dragging, gravity and water accumulation by rain or snow. We used 20 *Eucalyptus* spp. clones, at the age of five years and three months, cultivated in spacing of 10 x 4 m, at the Bom Sucesso farm, located in the municipality of Vazante, Minas Gerais, Brazil. The evaluation was done by destructive sampling and non-destructive analysis, conducted in three trees for each clone. Basic density (Db), Elasticity (E) and Specific Elasticity (SE) Module, Esbeltez Index (EI), Critical Height (H_{crit}), Safety Factor (f), Residual Deformation (DRL) and maximum Proportion of Wood Traction (MPWT) were evaluated. For the estimations of the genetic and phenotypic parameters and the prediction of the genotypic values, the Selegen-REML/PLUP computer program was used. In the growth study, the DAP traits and height presented very high heritability, of 0.74 and 0.83, respectively, and clones 39 (DAP) and 44JC (height) were highlighted regarding genetic gain. In the study of the wood properties, the heritability traits were very high for Db and E, with values of 0.90 and 0.80, respectively. For DRL, the heritability was of 0.51, of considerable magnitude. Clone 180 was highlighted as superior, considering the purpose of resistance to static flexing of the wood, wood density and growth in DAP, and clone 319, in addition to being superior for Db and E, was also for growth in height. The estimation for heritability for the IE, H_{crit} and f are of good magnitude, with the values of 0.67, 0.78 and 0.65, respectively. For clone 65, we can predict that the trees are mechanically more stable, productive and generators of sawn wood with lower levels of defects. Clones 180, 319, 48 and 35 presented the lowest MPWT, with amplitude of 8 to 10%, which, theoretically, can be classified as producers of better quality wood for primary processing.

Keywords: Biomechanic stability. Breeding. Forest production. Winds.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Representação gráfica da distribuição dos baixos valores de Proporção Máxima da Madeira de Tração (PMMT), estimadas pelos valores de Deformação Residual Longitudinal (DRL) para os clones 180, 319, 48 e 35.....64
- Figura 2 - Representação gráfica da distribuição dos médios valores na Proporção Máxima da Madeira de Tração (PMMT), estimadas pelos valores de Deformação Residual Longitudinal (DRL) para os clones 44, 44 JC, 46 e 31.65
- Figura 3 - Representação gráfica da distribuição dos máximos valores na Proporção Máxima da Madeira de Tração (PMMT), estimadas pelos valores de Deformação Residual Longitudinal (DRL) para os clones 38, 2, 71 e 26.66
- Figura 4 - Relação entre o Fator de Segurança (f) e Proporção Máxima da Madeira de Tração (PMMT) de clones de *Eucalyptus* spp. com idade de 63 meses.68

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos para as características de DAP (cm) e altura (m) em teste de 20 clones de *Eucalyptus* spp., aos 63 meses de idade cultivados no espaçamento de 10 x 4 m, no município de Vazante, MG.....36
- Tabela 2 - Médias dos valores de DAP e altura de 20 clones de *Eucalyptus* spp., aos 63 meses de idade, cultivados no espaçamento de 10 x 4 m, no município de Vazante, MG.....38
- Tabela 3 - Efeito genotípico (\hat{g}), predição do valor genotípico ($\mu+\hat{g}$), predição de ganho (G) em centímetros e em percentagem para a característica de DAP aos 63 meses de idade.....40
- Tabela 4 - Efeito genotípico (\hat{g}), predição do valor genotípico ($\mu+\hat{g}$), predição de ganho (G) em metros e em percentagem para a característica de altura aos 63 meses de idade.41
- Tabela 5 - Estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos para as características de Db (kg.m^{-3}), E (MPa) e DRL média (μm) em teste de 20 clones de *Eucalyptus* spp., aos 63 meses de idade cultivados no espaçamento de 10 x 4 m, no município de Vazante, MG.43
- Tabela 6 - Efeito genotípico (\hat{g}), predição do valor genotípico ($\mu+\hat{g}$), predição de ganho (G) em kg.m^{-3} e em percentagem para a característica de Db aos 63 meses de idade.46
- Tabela 7 - Efeito genotípico (\hat{g}), predição do valor genotípico ($\mu+\hat{g}$), predição de ganho (G) em MPa e em percentagem para a característica de E aos 63 meses de idade.....48

Tabela 8 - Efeito genotípico (\hat{g}), predição do valor genotípico ($\mu+\hat{g}$), predição de ganho (G) em μm e em percentagem para a característica de DRL média aos 63 meses de idade.	49
Tabela 9 - Estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos para as características de IE (m.m^{-1}), H_{crit} (m) e f em teste de 20 clones de <i>Eucalyptus</i> spp., aos 63 meses de idade cultivados no espaçamento de 10 x 4 m, no município de Vazante, MG.....	51
Tabela 10 - Valores médios de Índice de Esbeltez (IE), Altura Crítica para flexão do fuste (H_{crit}) e Fator de segurança (f) de 20 clones de <i>Eucalyptus</i> spp., obtidos na idade de 63 meses e cultivados no município de Vazante – MG, no espaçamento de 10 x 4 m.....	53
Tabela 11 - Efeito genotípico (\hat{g}), predição do valor genotípico ($\mu+\hat{g}$), predição de ganho (G) em m.m^{-1} e em percentagem para a característica de IE aos 63 meses de idade.	55
Tabela 12 - Efeito genotípico (\hat{g}), predição do valor genotípico ($\mu+\hat{g}$), predição de ganho (G) em metros e em percentagem para a característica de H_{crit} aos 63 meses de idade.	57
Tabela 13 - Efeito genotípico (\hat{g}), predição do valor genotípico ($\mu+\hat{g}$), predição de ganho (G) em percentagem para a característica de f aos 63 meses de idade.	58
Tabela 14 - Deformação Residual Longitudinal (DRL) de 20 clones de <i>Eucalyptus</i> spp., avaliados nos quatro pontos cardeais à altura do peito e Proporção Máxima da Madeira de Tração (PMMT).....	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivo geral	15
1.2	Objetivos específicos	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Clonagem e evolução nas florestas de <i>Eucalyptus</i> cultivadas no Brasil	17
2.2	Florestas clonais e vulnerabilidades	18
2.3	Índice de esbeltez, altura crítica de flexão do fuste e fator de segurança à flexão	21
2.4	Madeira de Reação	22
2.5	Tensões de Crescimento e Deformação Residual Longitudinal (DRL)	23
2.6	Influência da ação dos ventos na qualidade da madeira.....	24
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1	Material biológico e local de experimentação	27
3.2	Amostragem.....	27
3.3	Características avaliadas na madeira.....	27
3.3.1	Densidade Básica (Db).....	28
3.3.2	Módulo de Elasticidade (E) e Módulo de Elasticidade Específico (EE).....	28
3.3.3	Estabilidade Biomecânica da árvore	29
3.3.4	Fator de Segurança à flexão (<i>f</i>) contra as forças de arraste pelo vento	30
3.3.5	Deformação Residual Longitudinal (DRL) e madeira de tração ..	31
3.4	Análise estatística.....	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
4.1	Estudo do Crescimento: Diâmetro à Altura do Peito (DAP) e altura	35
4.1.1	Estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos e Médias	35
4.1.2	Predição dos valores genotípicos e ganhos genéticos	39
4.2	Estudo das propriedades da madeira: Densidade Básica (Db), Módulo de Elasticidade (E) e Deformação Residual Longitudinal (DRL)	42
4.2.1	Estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos	43
4.2.2	Predição dos valores genotípicos e ganhos genéticos	45
4.3	Estabilidade biomecânica de árvores: Índice de Esbeltez, Altura Crítica de flexão do fuste, Fator de Segurança à flexão do fuste	50
4.3.1	Estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos e Médias	50

4.3.2	Predição dos valores genotípicos e ganhos genéticos	53
4.3.3	Proporção Máxima da Madeira de Tração (PMMT)	59
5	CONCLUSÕES.....	71
	REFERÊNCIAS.....	73

1 INTRODUÇÃO

A mudança do sistema de cultivo dos *Eucalyptus* de florestas seminais para clonais surgiu da possibilidade de se alcançar, em um espaço de tempo relativamente curto, um maior retorno financeiro de investimentos nas atividades de reflorestamento e industriais que utilizam a sua madeira como matéria-prima.

Os atuais avanços nessas importantes atividades da economia brasileira ocorreram, principalmente, no campo do melhoramento genético e da fisiologia da propagação assexuada dos *Eucalyptus* que possibilitaram o alcance de significativos aumentos de produtividade florestal.

Desses avanços, pôde-se cultivar por clonagem cerca de 50% das florestas de *Eucalyptus* plantadas no Brasil, as quais têm apresentado novas perspectivas para se produzir madeira com maior uniformidade e com os padrões de qualidade demandados pelo setor industrial.

Por outro lado, nesse modelo de produção florestal deve-se atentar para a vulnerabilidade das árvores comercialmente cultivadas, principalmente, quando essas se deparam com as imprevisíveis modificações ambientais decorrentes de estresses bióticos e abióticos. As abordagens sobre a vulnerabilidade em florestas clonais foram quase que, exclusivamente, feitas para os obstáculos bióticos, decorrentes de pragas e doenças. Entretanto, eventos abióticos têm importantes impactos na condução das florestas cultivadas, visto que, em um único episódio, podem acarretar inevitáveis prejuízos econômicos e provocar danos ambientais que podem ser irreversíveis.

No caso específico das secas prolongadas, os danos às florestas clonais de *Eucalyptus* podem ser evitados, visto que os zoneamentos climáticos disponíveis dão grande suporte para a escolha adequada de espécies a serem cultivadas, desde que essas atendam os propósitos previamente definidos. Além disso, os impactos de eventuais deficiências hídricas do solo sobre as espécies

escolhidas podem ser minimizados pelo uso de clones reconhecidamente mais tolerantes.

Os impactos causados pela força de arraste por ventos fortes são de difícil controle por duas razões fundamentais: a primeira delas está na imprevisibilidade de sua ocorrência e de sua intensidade. Nada poderá ser feito quando esse evento ocorre em escala de dano, que é variável de acordo com a espécie, clone e condições do meio. Adicionalmente, a segunda razão é resultante de um importante “*trade-off*” envolvendo algumas relações alométricas de árvores que podem ser modificadas (“efeito colateral”) pelo melhoramento genético, tornando-as vulneráveis.

No contexto desse “*trade-off*”, os aumentos das dimensões e massa da árvore, decorrentes do melhoramento genético, podem assumir grandezas que impõem limitações biomecânicas para a sua própria sustentação, bem como para o suporte das acrescidas forças exercidas pelo vento, tornando-as vulneráveis pela perda da estabilidade.

Quando essas árvores geneticamente melhoradas se deparam com condição de ventos não tão fortes e danosos, porém dominantes, surge outro importante “*trade-off*”. As árvores com dimensões e massas aumentadas pelo melhoramento genético necessitam, para as suas estabilidades mecânicas, da formação de madeira de reação com maiores forças de tração e com maiores tensões de crescimento, cujos fenômenos ainda não foram considerados nos programas de seleção de clones. Daí o principal motivo de se ver na paisagem as florestas clonais de *Eucalyptus* com os fustes fletidos e com presumíveis reduções nos seus valores comerciais, principalmente, quando são destinados para o uso de madeira serrada.

Assim, esse segundo “*trade-off*” surge pelo fato de que o aumento, via melhoramento genético, das referidas forças de tração e de tensão de crescimento poderá dar maior estabilidade mecânica às árvores, porém, com um

conflito de escolha, visto que quando esses dois fenômenos estão mais intensos na madeira de árvores vivas, aumenta-se a sua propensão a defeitos após o abate, secagem e processamento primário.

Desta forma, do ponto de vista do melhoramento genético da estabilidade mecânica de árvores, pode-se conjecturar que a atuação nas características de crescimento associadas às propriedades da madeira e estabilidade biomecânica possibilita torná-las mais estáveis e ainda promover ganho na produtividade de acordo com a matéria-prima desejada para atender ao mercado florestal.

1.1 Objetivo geral

Para avaliar se essas possibilidades podem definir estratégias de melhoramento que associem o aumento de produtividade florestal com o aumento da estabilidade mecânica de árvores, este estudo tem como objetivo propor uma metodologia para alinhar o melhoramento das dimensões das árvores com as suas propriedades de resistência biomecânica às forças do meio, por exemplo, arraste pelo vento, gravidade e acúmulo de água pela chuva ou neve.

1.2 Objetivos específicos

- a) Estimar os parâmetros genéticos e predizer os valores genotípicos de clones para as características de crescimento em Diâmetro à Altura do Peito (DAP) e altura (H), densidade básica (Db), módulo de elasticidade (E) e Deformação Residual Longitudinal (DRL) e propriedades do fuste que conferem a sua resistência mecânica, tais como: Índice de Esbeltez (IE), Altura crítica de flexão (H_{crit}) e fator de segurança (f) à flexão, quebra e arranquio do fuste e Proporção

Máxima da Madeira de Tração (PMMT) estimada pelos valores de DRL;

- b) Estimar os Parâmetros Genéticos e Fenotípicos, bem como, proceder as predições dos valores genotípicos e ganhos genéticos de clones de *Eucalyptus*;
- c) Alinhar o melhoramento de produtividade da madeira com o melhoramento da estabilidade mecânica de árvores.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Clonagem e evolução nas florestas de *Eucalyptus* cultivadas no Brasil

A produção primária florestal obteve no ano de 2013 uma receita de R\$ 18,7 bilhões. Deste total, 76,1% (R\$ 14,1 bilhões), deve-se à silvicultura de florestas plantadas, seminais e clonais, sendo o restante 23,9% (R\$ 4,5 bilhões) o retorno a partir do extrativismo vegetal (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2013).

Os recentes avanços no melhoramento genético e na fisiologia da propagação assexuada permitiram cultivar por clonagem cerca de 50% das florestas de *Eucalyptus* plantadas no Brasil (REZENDE; RESENDE; ASSIS, 2014). Essas florestas têm apresentado novas perspectivas para se produzir madeira com maior uniformidade e com os padrões de qualidade demandados pelo setor industrial (ASSIS; RESENDE, 2011).

Nos atuais 5,56 milhões de hectares de terras brasileiras cultivados por várias espécies desse gênero, há uma evolução na produtividade média que já alcançou 39 m³/ha/ano (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ, 2015). Essa expressiva evolução de produtividade se deu, principalmente, pelos cultivos clonais que, em condições específicas de bons sítios e clones, tem propiciado uma produtividade média em torno de 60 m³/ha/ano (REZENDE; RESENDE; ASSIS, 2014).

Essa alta produtividade, que em grande parte foi proveniente do melhoramento genético, tornou-se possível pela existência de várias combinações viáveis de acasalamentos interespecíficos para a geração de híbridos entre e dentro das principais seções (maidenaria, enxertaria e transversaria) do subgênero *Symphyomyrtus* (POTTS; DUNGEY, 2004). Várias dessas combinações, dependendo dos genitores envolvidos, resultam em descendências com altos valores de heterose (ASSIS; RESENDE, 2011) e,

dentre essas, as novas seleções de clones vão constituir as futuras florestas clonais.

O ponto fundamental para o uso da clonagem de descendências híbridas com heterose é a obtenção de ganhos mais expressivos quando a variação genética não aditiva é predominante à variação genética aditiva ou mesmo quando essas se equivalem, visto que há uma redução de tempo no alcance dos ganhos genéticos almejados (MATHESON; LINDGREN, 1985; ROSVALL; LINDGREN; MULLIN, 1998).

2.2 Florestas clonais e vulnerabilidades

O sistema silvicultural de produção de florestas equianas puras de origem clonal vem substituindo o sistema de origem seminal, principalmente, para as espécies do gênero *Eucalyptus* cultivadas no Brasil. Esse sistema de produção clonal foi denominado de silvicultura clonal (ASSIS; MAFIA, 2007; XAVIER; WENDLING; SILVA, 2009) e, em muitas situações, é referido como um sistema originário de uma biotecnologia moderna que trouxe importantes avanços para o setor florestal brasileiro.

Nesse método de produção, formam-se as florestas clonais a partir de propágulos assexuados, obtidos de indivíduos geneticamente selecionados e multiplicados em escala comercial. Assis e Resende (2011) relatam que a formação dessas florestas a partir de clones obtidos de ortetes, que expressam a heterose originada de acasalamentos híbridos interespecíficos, é uma excelente estratégia para a produção de florestas clonais que atendem aos objetivos de aumentar a produtividade, adaptabilidade e de melhorar a qualidade da madeira.

Uma das maiores vantagens das florestas clonais está vinculada ao fato de que nesse sistema de produção o uso de clones obtidos, como anteriormente descrito, em comparação com o uso de sementes melhoradas, propicia o alcance de ganhos genéticos mais expressivos quando a variação genética não aditiva é

predominante sobre a variação genética aditiva e mesmo quando essas se equivalem, visto que há uma redução de tempo no alcance dos ganhos genéticos almejados (MATHESON; LINDGREN, 1985).

Nesse processo de produção florestal, também, se deve atentar para a vulnerabilidade genética das árvores comercialmente cultivadas, principalmente, quando essas se deparam com as imprevisíveis modificações ambientais decorrentes de estresses bióticos e abióticos. Quando as árvores não são selecionadas para a resistência a estes eventos, há redução na capacidade de superar obstáculos decorrentes de doenças, pragas, secas, ventos, etc. (KING, 1986).

No Brasil, principalmente, na eucaliptocultura as abordagens sobre vulnerabilidade em florestas clonais foram quase que, exclusivamente, feitas para os obstáculos bióticos, decorrentes de pragas e doenças. Somente com as recentes mudanças climáticas e as consequentes alterações hidrológicas e das condições de ventos é que, muito, se tem alertado para a excessiva mortalidade de árvores por eventos abióticos extremos como as secas prolongadas e as velocidades aumentadas dos ventos que predispõem as árvores a uma maior força de arraste. Esses eventos abióticos têm importantes impactos na condução das florestas cultivadas, visto que, em um único episódio, podem acarretar inevitáveis prejuízos econômicos e provocar danos ambientais que podem ser irreversíveis (PELTOLA et al., 2013).

Ainda com relação à vulnerabilidade de clones face às mudanças climáticas precursoras de ventos fortes e tempestades, surgiu uma recente pauta de discussão sobre os seus impactos econômicos decorrente do encurvamento definitivo ou quebra de árvores (FERREIRA et al., 2010; VALLE, 2014).

Nesse contexto de vulnerabilidade e mudanças climáticas, é importante considerar que o equilíbrio entre a estabilidade e a resiliência das populações florestais é produto de suas histórias evolutivas diante de uma série de mudanças

ambientais aleatórias já ocorridas (HOLLING, 1973) e as adaptações a essas mudanças são suficientes para conferir resiliência à nova condição de ambiente (TOMPKINS; ADGER, 2004). Portanto pode-se inferir que o alcance de maiores níveis de estabilidade se dará pela manutenção da resiliência das populações florestais.

Considerando a estabilidade em nível de populações dentro de espécies, Bradshaw (1965) relata que as plantas podem responder às mudanças ambientais, ocorridas ao longo de várias gerações, a partir de alterações genéticas. Entretanto quando essas mudanças ocorrem em um tempo mais curto que o tempo de ciclo de vida da planta, as respostas ocorrem em decorrência da plasticidade fenotípica, que, conceitualmente, é a capacidade inerente a um organismo individual para modificar a sua morfologia/fisiologia em resposta às alterações das condições ambientais (BRADSHAW, 1965; SCHLICHTING, 1986).

Apesar de a plasticidade fenotípica ser considerada como o principal meio com que as plantas interagem com a heterogeneidade ambiental, a sua capacidade de resposta não é ilimitada, ou seja, há restrições na magnitude das alterações morfológicas/fisiológicas para responder mudanças ambientais mais extremas (BRADSHAW, 1965; SCHLICHTING, 1986; VALLADARES; GIANOLI; GÓMEZ, 2007).

Nessa atuação seletiva deve-se precaver contra a redução da diversidade dentro das populações geneticamente melhoradas, uma vez que a diminuição da diversidade torna essas populações vulneráveis às mudanças ambientais. Nessa vulnerabilidade pode ocorrer uma quebra da condição de equilíbrio, impedindo que as plantas possam, de forma contínua e duradoura, fornecer à sociedade os seus produtos e serviços.

2.3 Índice de esbeltez, altura crítica de flexão do fuste e fator de segurança à flexão

A árvore apresenta estrutura característica de modo a tolerar seu peso e forças advindas do meio. O tronco é a região de uma árvore responsável pela sustentação da copa e de elevada importância econômica. A partir dele se obtém a madeira, matéria-prima que se destina a diversas finalidades (VALLE, 2014).

No uso industrial, deseja-se que o tronco seja mais reto e com maior diâmetro possível, para haver um melhor aproveitamento desta matéria-prima. Segundo Mattos (2003), o valor das árvores é determinado por características como a forma dos troncos, a altura do fuste livre de galhos e bifurcações, etc. Copas simétricas possuem maiores disposições de árvores com fustes compridos e retos (SILVA, 2007).

As árvores tendem a crescer em altura quando concorrem por luz, sendo o crescimento em diâmetro secundário. Sendo assim, estas se tornam mais altas e finas, ficando mais vulneráveis às ações externas.

O Índice de Esbeltez é uma característica que confere estabilidade ao vegetal, quanto maior o grau de esbeltez, mais instável é a árvore (ROMAN; BRESSAN; DURLO, 2009) e maior a probabilidade de receber as forças de intempéries. O Índice de Esbeltez é a razão entre a altura total da árvore em metros e o seu diâmetro à altura do peito (DAP) em centímetros. Quando o resultado desta razão é maior que um (1), sugere-se que o crescimento em diâmetro do fuste é inferior ao crescimento em altura (TONINI; ARCO-VERDE, 2005). Roman, Bressan e Durlo (2009) citam que a maior estabilidade é conferida às árvores com menor índice de esbeltez, o que demonstra que o crescimento em diâmetro é superior em relação ao crescimento em altura.

A altura máxima que uma árvore pode atingir antes que a mesma sofra flexão ou encurvamento é denominada de altura crítica de flexão, que dependendo das condições pode ocorrer até ruptura. De acordo com Niklas

(1997), a altura total da árvore é conseqüentemente inferior à altura crítica, pois caso contrário o vegetal sempre se encurvaria ou até mesmo ocorreria sua quebra.

O índice de segurança à flexão ou fator de segurança é a razão entre a altura crítica de flexão do fuste pela altura total da árvore (WAGHORN; WATT, 2013). Se este resultado for maior que um (1), mais segurança esta árvore apresentará (NIKLAS, 1997), ou seja, terá menor chance de fletir e/ou quebrar.

2.4 Madeira de Reação

As madeiras de reação ou lenho de reação são formados como consequência de forças externas do ambiente (ventos dominantes, neve, gravidade, estresse mecânico, inclinação do terreno, etc.) e, possivelmente, por estímulos dos hormônios de crescimento que tentam equilibrar a carga recebida. (BURGER; RICHTER, 1991; DU; YAMAMOTO, 2007; VIDAURRE et al., 2013).

Quando a árvore está propensa a algum tipo de ação externa que pode causar estresse, este tipo de lenho é formado para auxiliar que a mesma volte à sua posição normal.

Nas gimnospermas, surgem sempre na região suscetível à compressão (parte inferior ao caule inclinado), formando conseqüentemente o lenho de compressão, enquanto que nas angiospermas dicotiledôneas surgem na região tracionada (parte superior ao caule inclinado), formando o lenho de tração (BURGER; RICHTER, 1991; TIMELL, 1986).

A formação desses tecidos, mesmo que mínima, proporciona expressivas alterações na madeira e em sua qualidade, visto que torna sua categorização como deformidade para as indústrias (DU; YAMAMOTO, 2007; VIDAURRE et al., 2013).

Melo (2004) destaca que *Eucalyptus* cultivado em terrenos inclinados, no estado de Minas Gerais, e predisposto a ventos dominantes favoreceram o desenvolvimento de lenhos de tração.

A elevada proporção de madeira de reação no tronco é considerada um problema grave para várias aplicações industriais. Bamber (2001) descreve que confecção de pranchas e outros produtos que apresentem madeiras de reação podem torcer nas etapas de desdobro, secagem e de demais etapas até a finalização, causando a restrição no uso do material. Desta forma, o aproveitamento da madeira é reduzido e, conseqüentemente, terá baixo valor no mercado. Dentre os principais defeitos na etapa secundária pode-se citar empenamentos e rachaduras (KUBLER, 1987).

Avaliar as proporções da madeira de tração é fundamental para evitar desperdícios e obter melhores rendimentos nas indústrias que atendem a diferentes segmentos de produção em escala comercial.

2.5 Tensões de Crescimento e Deformação Residual Longitudinal (DRL)

As tensões de crescimento incidem nas árvores em decorrência de forças naturais que se desenvolvem no tecido de lenhosas e coníferas, constituindo um mecanismo de equilíbrio para que as árvores se mantenham eretas (LIMA et al., 2004; VAN WYK, 1978).

A origem destas tensões ocorre na região cambial dos troncos das árvores, no período de maturação das paredes celulares, havendo a contração longitudinal e, ao mesmo tempo tende a se expandir lateralmente (CARVALHO et al., 2010; WILHELMY; KUBLER, 1973).

Ainda não é relativamente conhecido o que determina as elevadas tensões de crescimento, no entanto, conjectura-se que a relação esteja na influência de fatores genéticos, ambientais, inclinação do fuste, características de

crescimento, entre outras (BIECHELE; NUTTO; BECKER, 2009; CARDOSO JUNIOR et al., 2005; OPIE; CURTIN; INCOLL, 1984).

Efeitos benéficos podem ser proporcionados às árvores vivas pelas tensões de crescimento (LISBOA, 1993), pois tendem a garantir estabilidade ao vegetal diante de ações ambientais, como exemplo, ventos fortes. No entanto, alguns efeitos negativos surgem após o abate das árvores e dificultam no processo de secagem e desdobro, e conseqüentemente, pode levar a deformidades como empenamento e rachaduras (CARVALHO et al., 2010; KUBLER, 1987; PÁDUA et al., 2004; TRUGILHO et al., 2007).

A partir de métodos não destrutivos é possível determinar de forma indireta as tensões de crescimento. O procedimento consiste em medir a variação da Deformação Residual Longitudinal (DRL) em árvores vivas (FOURNIER et al., 1994; LISBOA, 1993; TRUGILHO et al., 2007). Este parâmetro, de fácil mensuração, permite selecionar árvores menos predispostas a defeitos e ainda associar a outras características de maior produtividade, em programas de melhoramento genético, para atender às demandas do setor florestal (BELTRAME et al., 2012; CARVALHO et al., 2010).

Muitos autores têm correlacionado a DRL com propriedades de crescimento da madeira, porém, para melhor elucidar os efeitos das tensões de crescimento com a qualidade da madeira, faz-se necessário relacionar com outras características que avaliem estabilidade e maiores ganhos no processo industrial.

2.6 Influência da ação dos ventos na qualidade da madeira

O vento é um fenômeno natural que se forma a partir da interação de duas massas de ar, estando estas sobre diferentes pressões e em grande escala na Terra.

Quando ocorre em condições de crescente velocidade pode acarretar agravos com diversas perdas de materiais, ambientais e, em casos mais trágicos, a segurança pessoal. As ações do vento podem influenciar nas condições de crescimento e configurações arquitetônicas das árvores (TELEWSKI, 2006).

Quebras e arranque de árvores podem ocorrer se a velocidade dos ventos estiver em 55 a 65km/h e 78 a 90km/h, respectivamente, conforme determinação na escala de Beaufort. Quando ocorre estes fenômenos considera-se como irreversível, pois há perda do crescimento no eixo central do vegetal e assim causando prejuízos aos cultivos (ROSADO, 2006).

Bruchert e Gardiner (2006) relatam que as árvores apresentam limites para se habituarem às ações mecânicas às quais estão vulneráveis. A adição destas cargas mecânicas pode alterar a forma e aspecto do vegetal, bem como comprometer o desenvolvimento. Para que haja adaptação de acordo com o meio em que se encontra é fundamental modificações em sua configuração, aspectos morfológicos e propriedade estrutural.

Avaliando a qualidade da madeira em um sistema silvipastoril, Anjos et al. (2016) descrevem que maiores tensões podem ocorrer no tronco das árvores ocasionados pela maior exposição à ação dos ventos.

Boschetti et al. (2015) estudaram as características anatômicas de árvores de *Eucalyptus*, que se destinam à produção de polpa celulósica, inclinadas por ação de ventos e constataram que os índices de qualidade de fibras para produção de papel foram afetados pela inclinação do tronco

Para amenizar ou prevenir que esses eventos danosos, que ocorrem a partir das ações do vento, possam incidir sobre o vegetal, é necessário que haja pesquisa quanto à espécie a ser cultivada, sua maior ou menor vulnerabilidade às ações mecânicas, conhecer sobre suas propriedades e adaptação ao ambiente, de forma que apresente maior tolerância a estas forças (ATAÍDE et al., 2015).

Rosado et al. (2013) sugerem que novos estudos devem ser realizados visando associar as características dos clones de *Eucalyptus* à força necessária para flexionar ou tombar a árvore.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material biológico e local de experimentação

Este estudo foi conduzido em um teste clonal para seleção de materiais genéticos mais apropriados para plantios em um sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta.

O teste avalia 20 clones de *Eucalyptus* spp. na idade de sessenta e três meses e foi cultivado em espaçamento de 10 x 4 m, na fazenda Bom Sucesso, que se localiza no município de Vazante - Minas Gerais, coordenadas geográficas em: 17°36'09" S e 46°42'42" W. A altitude média é de 550 metros, com temperatura média anual de 24°C, precipitação média anual de 1450 mm e clima Aw – tropical úmido de savana, segundo a classificação de Köppen.

3.2 Amostragem

A avaliação foi realizada por amostragem destrutiva, sendo conduzida em três rametes (árvores) para cada clone. Após o abate das árvores, foram retirados três (3) toras de 3 m de comprimento, compreendendo o intervalo de 0,30 m a 9,30 m. As toras foram transportadas para a Unidade Experimental de Desdobro e Secagem da madeira do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras (DCF/ UFLA) para a retirada de um pranchão central de 8 cm de espessura e em seguida confeccionaram-se os corpos-de-prova necessários aos ensaios destrutivos na madeira.

3.3 Características avaliadas na madeira

Serão descritas a seguir os procedimentos realizados às características avaliadas na árvore como condicionantes à estabilidade.

3.3.1 Densidade Básica (Db)

Para a avaliação da densidade básica utilizou-se o método descrito na NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1997). Os corpos-de-prova foram confeccionados com as dimensões de 2,5 x 2,5 x 2,5 cm. Após o preparo foram mantidos a $\pm 103^{\circ}\text{C}$ até que a massa do corpo-de-prova se mantivesse constante. O volume saturado foi determinado em corpos-de-prova submersos em água até atingirem peso constante. A densidade básica foi calculada pela razão entre a massa seca (kg) da amostra e o volume saturado (m^3), conforme a seguinte equação:

$$Db = \frac{ms}{v} \quad (1)$$

Em que:

Db = densidade básica ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

ms = massa seca (kg)

v = volume saturado (m^3)

3.3.2 Módulo de Elasticidade (E) e Módulo de Elasticidade Específico (EE)

O Teste de flexão estática foi realizado de acordo com as determinações da American Society for Testing and Materials (ASTM, 1997), seguindo o procedimento da norma D 143 – 94. Os corpos de prova foram confeccionados com as dimensões de 41 x 2,5 x 2,5 cm, sendo, posteriormente, mantidos em sala de climatização sob temperatura de 20°C ($\pm 3^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa de 65% ($\pm 5\%$), até atingirem umidade de equilíbrio de aproximadamente 12%.

Os testes para avaliar os esforços que o material suporta e obter o módulo de elasticidade foram realizados na Máquina Universal de ensaios mecânicos modelo *Emic* DL 30.000, disponível no setor de Tecnologia da

Madeira do DCF/ UFLA. O corpo-de-prova foi apoiado nas extremidades e a força para provocar a flexão foi aplicada no seu centro com uma velocidade de 1,3 mm/min. As equações para E e EE são respectivamente:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2)$$

Em que:

E = Módulo de Elasticidade Específico (MPa)

σ = tensão aplicada (medida em MPa)

ε = deformação (adimensional)

$$EE = \frac{E}{D_b} \quad (3)$$

Em que:

EE = Módulo de elasticidade específico

E = Módulo de elasticidade (MPa)

D_b = Densidade básica (kg.m^{-3})

3.3.3 Estabilidade Biomecânica da árvore

O Índice de Esbeltez do fuste (IE) e a altura crítica de flexão do fuste (H_{crit}) foram calculados pelas respectivas equações:

$$IE = \frac{Ht}{D} \quad (4)$$

Em que:

IE = Índice de Esbeltez do fuste (m.m^{-1})

Ht = altura total da árvore (m)

D = diâmetro avaliado à altura de 1,3 m do solo (m)

H_{crit} foi estimada pela equação de Euler, descrita por Niklas (1997):

$$H_{\text{crit}} = C \left(\frac{E}{D_b} \right)^{1/3} D^{2/3} \quad (5)$$

Em que:

C = constante de proporcionalidade no qual tem variação em sua amplitude de 0,79 a 1,97, dependendo da distribuição de carga ao longo do fuste (NIKLAS, 1997). Nesse trabalho, foi admitido o valor de 0,79 dentro da referida amplitude, o que reflete um cenário mais conservador considerando os recentes trabalhos nesta área.

E = módulo de elasticidade (MPa)

D_b = densidade básica (kg.m^{-3})

D = diâmetro avaliado à altura de 1,3 m do solo (cm)

3.3.4 Fator de Segurança à flexão (f) contra as forças de arraste pelo vento

“ f ” foi estimado pela equação 6 (WAGHORN; WATT, 2013).

$$f = \frac{C \left(\frac{E}{D_b} \right)^{1/3} D^{-1/3}}{(IE)} \quad (6)$$

Em que:

f = Fator de segurança à flexão (adimensional)

C = constante de proporcionalidade = 0,79

E = módulo de elasticidade (MPa)

Db = densidade básica (Kg.m^{-3})

D = diâmetro avaliado à altura de 1,3 m do solo (cm)

IE = Índice de Esbeltez

3.3.5 Deformação Residual Longitudinal (DRL) e madeira de tração

Para os 20 clones foi avaliada a Deformação Residual Longitudinal (DRL), a qual foi utilizada como indicadora da tensão de crescimento, conforme é preconizado por Biechele, Nutto e Becker (2009). Os dados de DRL foram obtidos à altura do peito de cada árvore viva, nos pontos cardeais Norte, Leste, Sul e Oeste, fazendo-se o uso de um extensômetro e metodologia proposta por CIRAD-Forêt (FOURNIER et al., 1994).

Por meio desses dados obtidos nos quatro pontos cardeais estimou-se, empiricamente, a Proporção Máxima da Madeira de Tração (PMMT), representada pelo desvio máximo de DRL em termos percentuais em relação à média, de acordo com a seguinte equação:

$$PMMT = \frac{DRL_{mx} - DRL_m}{DRL_m} * 100 \quad (7)$$

Em que:

$PMMT$ = Proporção Máxima da Madeira de Tração (%)

DRL_{mx} = valor máximo de DRL obtido em determinado ponto cardinal da árvore.

DRL_m = valor médio de DRL obtido nos pontos cardeais de cada árvore.

3.4 Análise estatística

Para as estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos e predições dos valores genotípicos utilizou-se o programa computacional Selegen-

REML/BLUP em um procedimento (modelo 083 do *software*) que considera a avaliação de clones em várias repetições em um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, sendo que cada uma foi constituída por um ramete (árvore). As estruturas de médias e variâncias para seleção de clones são fornecidas por Garcia e Nogueira (2005):

As estruturas de médias e variâncias são dadas por:

$$E \begin{bmatrix} Y \\ g \\ p \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xb \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{Var} \begin{bmatrix} g \\ p \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1\sigma_g^2 & 0 & 0 \\ 0 & 1\sigma_p^2 & 0 \\ 0 & 0 & 1\sigma_e^2 \end{bmatrix}$$

As equações do modelo misto para estimar os efeitos fixos e prever os efeitos aleatórios são dadas por:

$$\begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{g} \\ \hat{p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'W \\ Z'X & Z'Z1\hat{\lambda}_1 & Z'W \\ W'X & W'Z & W'W + 1\hat{\lambda}_2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} X'Y \\ Z'Y \\ W'Y \end{bmatrix}$$

Em que:

$$\hat{\lambda}_1 = \frac{\hat{\sigma}_e^2}{\hat{\sigma}_g^2} = \frac{1 - \hat{h}_g^2 - \hat{c}^2}{\hat{h}_g^2}$$

$$\hat{\lambda}_2 = \frac{\hat{\sigma}_e^2}{\hat{\sigma}_p^2} = \frac{1 - \hat{h}_g^2 - \hat{c}^2}{\hat{c}^2}$$

$$\hat{h}_g^2 = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_p^2 + \hat{\sigma}_e^2}$$

$$\hat{c}^2 = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_p^2 + \hat{\sigma}_e^2}$$

I = Matriz identidade;

\hat{h}_g^2 = herdabilidade no sentido amplo;

\hat{c}^2 = correlação intraclasse devido ao ambiente comum na parcela;

$\hat{\sigma}_g^2$ = variância genotípica entre clones;

$\hat{\sigma}_p^2$ = variância entre parcelas;

$\hat{\sigma}_e^2$ = variância residual ou ambiental dentro de parcelas.

Os estimadores iterativos de componentes de variância por REML utilizados são dados pelas expressões a seguir:

$$\hat{\sigma}_e^2 = \frac{[Y'Y - \hat{b}'X'Y - \hat{g}'Z'Y - \hat{p}'W'Y]}{N - r(X)}$$

$$\hat{\sigma}_g^2 = \frac{[\hat{g}'\hat{g} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr}(C^{22})]}{q}$$

$$\hat{\sigma}_p^2 = \frac{[\hat{p}'\hat{p} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr}(C^{33})]}{s}$$

C^{22} e C^{33} Advém de:

$$C^{-1} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{21} & C_{31} \\ C_{12} & C_{22} & C_{32} \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix}$$

Em que:

C = Matriz dos coeficientes das equações do modelo misto;

tr = Operador traço matricial;

$r(X)$ = Posto da matriz X ;

N = Número total de dados;

q = Número de indivíduos;

s = Número de parcelas.

Este teste foi instalado em um único local (Vazante-MG), sendo que as análises foram realizadas pelo modelo estatístico abaixo, proposto por Resende (2007):

$$Y = Xu + Zg + e$$

Em que Y é o vetor de dados, u é o escalar referente à média geral (efeito fixo), g é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios), e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Estudo do Crescimento: Diâmetro à Altura do Peito (DAP) e altura

Nas últimas décadas a produtividade florestal nos cultivos de *Eucalyptus* teve incrementos significativos. Atualmente registram-se, para vários clones, produtividades que superam $45\text{m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ na maior parte das regiões brasileiras. Esses cultivos altamente produtivos, associados à qualidade da madeira, conferem competitividade às indústrias que, cada vez mais, demandam novos avanços na melhoria tecnológica da madeira para alinhar a qualidade de seus produtos às demandas do mercado interno e externo.

Esse alinhamento, portanto, busca a implementação de programas de melhoramento genético, estrategicamente fundamentados em eficientes metodologias de seleção de materiais genéticos que possam ser produtivos e menos vulneráveis às condições adversas do meio.

A seguir serão apresentadas as estimativas dos necessários parâmetros genéticos e previsões de ganhos advindos de seleções conduzidas para as características de crescimento em DAP e altura.

4.1.1 Estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos e Médias

As estimativas dos Parâmetros Genéticos e Fenotípicos para os caracteres de DAP e altura na idade de 63 meses do teste clonal estão apresentadas na Tabela 1.

A análise destes parâmetros é imprescindível em seleções para programas de melhoramento, pois facilita no processo de escolha e oferece suporte teórico à indicação do material genético a ser comercializado e cultivado (MAIA et al., 2009).

Tabela 1 - Estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos para as características de DAP (cm) e altura (m) em teste de 20 clones de *Eucalyptus* spp., aos 63 meses de idade cultivados no espaçamento de 10 x 4 m, no município de Vazante, MG.

Parâmetros	DAP	Altura
$\hat{\sigma}_g^2$	8,27	4,68
$\hat{\sigma}_e^2$	2,85	0,97
$\hat{\sigma}_f^2$	11,12	5,65
h_g^2	0,74 ± 0,32	0,83 ± 0,33
CV _g (%)	9,42	6,47
CV _e (%)	5,53	2,95
CV _r (%)	1,70	2,19
Média geral	30,52	33,42
Acurácia	0,94	0,97

$\hat{\sigma}_g^2$ = Variância genotípica; $\hat{\sigma}_e^2$ = Variância residual; $\hat{\sigma}_f^2$ = Variância fenotípica; h_g^2 = herdabilidade; CV_g (%) = Coeficiente de Variação genotípica; CV_e (%) = Coeficiente de Variação residual; CV_r = Coeficiente de variação relativa (CV_g/ CV_e).

As estimativas de herdabilidade (h_g^2) para as características de DAP e altura apresentaram valores de 0,74 e 0,83, respectivamente. Estes valores são muito elevados e demonstram alto controle genético na expressão desses caracteres, pouca influência do ambiente e indicam condições adequadas para a seleção de clones e alcance de ganhos genéticos significativos na taxa de crescimento. Os resultados obtidos são superiores aos apresentados por Tolfo et al. (2005) em que o DAP e altura com herdabilidade de 0,69 e 0,48, respectivamente, foram estimadas para clones *Eucalyptus* spp.

A tabela 1, também, apresenta coeficiente de variação genotípica (CV_g) de 9,42 para DAP e 6,47 para altura, sendo esses valores bem superiores ao coeficiente de variação residual (CV_e), indicando a possibilidade de alcance de ganhos significativos com a seleção. Rosado et al. (2012) e Tolfo et al. (2005) também registraram altas estimativas relativas de CV_g para as mesmas características. Valores elevados CV_g determinam ampla variabilidade genética e

corroboram para a presença da variação de natureza genética (RESENDE, 2000). O CV_e de 5,53 para DAP e 2,95 para altura, apresentados na tabela 1, são considerados muito baixos e favorecem a escolha de clones mais produtivos. Fonseca et al. (2010) descrevem que o uso de um ramete por parcela associada a várias repetições pode permitir maior controle ambiental e ser um fator condicionante à redução do coeficiente de variação experimental.

As relações entre os valores de CV_g e CV_e expressaram os coeficientes de variação relativa (CV_r) de 1,70 e 2,19 para o DAP e altura. Essa relação às características de crescimento foi bastante superior ao apresentado por Moraes et al. (2014) ao trabalharem com clones de *Eucalyptus* aos 60 meses de idade, em que o DAP foi igual a 1,33 e altura a 0,99. Desta forma, o CV_r deste estudo apresentou valor superior a um (1), ou seja, ratifica a condição favorável para a obtenção de ganhos na seleção assim como a análise da magnitude dos valores envolvidos.

A acurácia seletiva ou a correlação entre o valor predito e o verdadeiro valor genético foi de 0,94 e 0,97 para DAP e altura, respectivamente, sendo considerado muito alto para conferir excelente precisão e confiança nas estimativas dos valores genéticos. Beltrame et al. (2012) trabalharam com clones de *Eucalyptus* spp. e apresentaram valores parecidos. Esses autores apresentaram acurácias de 0,98 e 0,96 para DAP e altura, aos sete anos de idade.

As médias de DAP e altura para cada clone estudado são apresentadas na tabela 2. Observa-se nessa tabela que as médias gerais para DAP e altura foram de 30,55cm e 33,41m. Para o DAP na idade de 63 meses, quando comparado com os apresentados na literatura são relativamente altos, visto que as árvores cresceram em um teste cultivado em baixa densidade (10,0 x 4,0 m) para propósitos de integração Lavoura-Pecuária-Floresta.

Tabela 2 - Médias dos valores de DAP e altura de 20 clones de *Eucalyptus* spp., aos 63 meses de idade, cultivados no espaçamento de 10 x 4 m, no município de Vazante, MG.

	DAP		Altura
Clones	(cm)	Clones	(m)
39	34,30	44JC	37,47
180	34,07	39	36,97
65	33,97	35	36,07
26	33,23	44	35,10
16	32,90	71	34,77
23	32,80	319	34,70
35	31,50	180	34,37
181	31,43	181	34,23
71	31,40	26	34,17
38	31,23	16	33,83
7	30,97	309	33,40
31	30,83	23	33,30
44	30,10	19	33,00
19	30,10	65	32,30
319	29,80	48	32,13
44JC	29,13	7	32,13
309	28,83	38	31,37
48	26,10	46	30,27
2	24,37	31	29,57
46	23,93	2	29,13
	30,55		33,41

A tabela 2 também apresenta os valores médios para essas características por clone estudado. Nota-se uma amplitude de variação para DAP entre 23,93

(clone 46) e 34,30 cm (clone 39), e para altura entre 29,13 (clone 2) e 37,47m (clone 44JC), o que indica excelentes possibilidades de se alcançar ganhos, visto que os valores de herdabilidade foram expressivos.

Nas análises estatísticas utilizadas, os efeitos de tratamentos (clones) foram aleatórios; portanto, os testes de comparações múltiplas de médias para os clones não necessitam ser realizados como enfatiza Resende (2004). Assim pode-se considerar, como exemplo, a seleção de seis clones para ambas características para alcançar ganhos genéticos almejados como será apresentado nas tabelas 3 e 4.

4.1.2 Predição dos valores genotípicos e ganhos genéticos

As Predições dos valores genotípicos e ganhos da seleção para características de DAP e altura de clones na idade de 63 meses estão apresentados nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

Na seleção dos clones com melhores valores genotípicos obteve-se uma classificação em função dos componentes das médias em que se sobressaem até a sexta posição os seguintes genótipos: 39, 180, 65, 26, 16 e 23 para a variável DAP (tabela 3), e 44JC, 39, 35, 44, 71 e 319 para a variável altura (TABELA 4).

Os efeitos genotípicos (\hat{g}) para DAP dos 20 clones, apresentados na tabela 3, variaram de 3,39 a -6,07 cm, possibilitando a predição de valores genotípicos ($\mu + \hat{g}$) que variaram de 33,91 (clone 39) a 24,45 cm (clone 2). Os valores de \hat{g} para altura, apresentados na tabela 4, variaram de 3,78 a -3,83 m, para originar predições de $\mu + \hat{g}$ que variaram de 37,20 (clone 44JC) a 29,60 m (clone 2).

Tabela 3 - Efeito genotípico (\hat{g}), predição do valor genotípico ($\mu + \hat{g}$), predição de ganho (G) em centímetros e em percentagem para a característica de DAP aos 63 meses de idade.

Clones número	Clones Ordem	\hat{g} (cm)	$\mu + \hat{g}$ (cm)	G	
				(cm)	(%)
39	1	3,39	33,91	3,39	11,11
180	2	3,18	33,70	3,29	10,77
65	3	3,09	33,61	3,22	10,56
26	4	2,43	32,95	3,02	9,91
16	5	2,14	32,65	2,85	9,33
23	6	2,05	32,56	2,71	8,89
35	7	0,88	31,40	2,45	8,03
181	8	0,82	31,34	2,25	7,36
71	9	0,79	31,31	2,09	6,83
38	10	0,64	31,16	1,94	6,36
7	11	0,40	30,92	1,80	5,90
31	12	0,28	30,80	1,67	5,49
19	13	-0,38	30,14	1,52	4,97
44	14	-0,38	30,14	1,38	4,53
319	15	-0,65	29,87	1,25	4,08
44JC	16	-1,24	29,28	1,09	3,57
309	17	-1,51	29,01	0,94	3,07
48	18	-3,96	26,56	0,67	2,18
46	19	-5,91	24,61	0,32	1,05
2	20	-6,07	24,45	0,00	0,00

Tabela 4 - Efeito genotípico (\hat{g}), predição do valor genotípico ($\mu + \hat{g}$), predição de ganho (G) em metros e em percentagem para a característica de altura aos 63 meses de idade.

Clones número	Clones ordem	\hat{g} (m)	$\mu + \hat{g}$ (m)	G	
				(m)	(%)
44JC	1	3,78	37,20	3,78	11,31
39	2	3,31	36,74	3,55	10,61
35	3	2,47	35,90	3,19	9,54
44	4	1,57	34,99	2,78	8,33
71	5	1,26	34,68	2,48	7,42
319	6	1,19	34,62	2,26	6,77
180	7	0,88	34,31	2,07	6,18
181	8	0,76	34,18	1,93	5,78
26	9	0,70	34,12	1,77	5,29
16	10	0,38	33,81	1,64	4,89
309	11	-0,02	33,40	1,48	4,44
23	12	-0,12	33,31	1,35	4,03
19	13	-0,40	33,03	1,21	3,63
65	14	-1,05	32,37	1,05	3,15
7	15	-1,21	32,22	0,91	2,73
48	16	-1,21	32,22	0,77	2,30
38	17	-1,92	31,50	0,62	1,85
46	18	-2,95	30,47	0,41	1,24
31	19	-3,61	29,82	0,21	0,64
2	20	-3,83	29,60	0,00	0,00

Nessas tabelas 3 e 4, também se observa que o ganho percentual predito para DAP, considerando somente o clone 39, foi da ordem de 11,11% e, quando se considera os seis clones superiores (1 a 6), a referida predição passa a ser de 8,89%, o que corresponde a um ganho nominal de 2,71 cm. Quanto à altura o ganho somente para o clone 44JC foi da ordem de 11,31%, enquanto que para os seis melhores a predição é de 6,77%, sendo o ganho nominal de 2,26 m na altura.

Dentre os clones com maior ganho nas propriedades de crescimento pode-se, concomitantemente, selecionar aqueles que apresentam maiores valores de densidade básica, como será apresentado posteriormente, para aumentar a produção de massa do fuste e, assim, agregar maior valor econômico das árvores.

Entretanto esse aumento de massa deve ser acompanhado por melhorias nas propriedades da madeira e nas relações alométricas do fuste para garantir maior estabilidade mecânica das árvores quando estas se depararem com condições adversas do meio, por exemplo, as forças de arraste por ventos fortes.

4.2 Estudo das propriedades da madeira: Densidade Básica (Db), Módulo de Elasticidade (E) e Deformação Residual Longitudinal (DRL)

Quando se considera a qualidade da madeira para o seu uso industrial, bem como as propriedades de resistência mecânica contra a flexão do fuste e/ou quebra de árvores com massas aumentadas pelo melhoramento genético, torna-se fundamental avaliar a possibilidade de se selecionar clones que possam apresentar características para maior rendimento no processamento primário, maximização do seu uso e que, também, possam ser mecanicamente mais estáveis quando se depararem com as referidas forças do ambiente.

A seguir serão apresentadas as estimativas dos parâmetros genéticos necessários às previsões de ganhos advindos de seleções conduzidas para as características de propriedades da madeira que propiciam melhorias na sua qualidade, bem como na estabilidade mecânica das árvores.

4.2.1 Estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos

Essas estimativas para os caracteres Densidade básica (Db), módulo de elasticidade (E) e Deformação Residual Longitudinal (DRL) na idade de 63 meses do teste clonal estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos para as características de Db (kg.m^{-3}), E (MPa) e DRL média (μm) em teste de 20 clones de *Eucalyptus* spp., aos 63 meses de idade cultivados no espaçamento de 10 x 4 m, no município de Vazante, MG.

Parâmetros	Db	E	DRL média
$\hat{\sigma}_g^2$	2935,64	676199,99	128,52
$\hat{\sigma}_e^2$	341,18	166178,04	121,16
$\hat{\sigma}_f^2$	3276,82	842378,03	249,68
h_g^2	$0,90 \pm 0,35$	$0,80 \pm 0,33$	$0,51 \pm 0,26$
CV_g (%)	10,58	14,72	14,29
CV_e (%)	3,61	7,30	13,88
CV_r (%)	2,93	2,01	1,03
Média geral	512,00	5587,25	79,31
Acurácia	0,98	0,96	0,87

$\hat{\sigma}_g^2$ = Variância genotípica; $\hat{\sigma}_e^2$ = Variância residual; $\hat{\sigma}_f^2$ = Variância fenotípica; h_g^2 = herdabilidade; CV_g (%) = Coeficiente de Variação genotípica; CV_e (%) = Coeficiente de Variação residual; CV_r = Coeficiente de variação relativa (CV_g / CV_e).

A Densidade básica (Db) e o módulo de elasticidade (E) apresentaram estimativa de herdabilidade (h_g^2) muito alta, sendo 0,90 e 0,80, respectivamente. Nessas magnitudes de h_g^2 pode-se prever que a seleção de clones poderá gerar ganhos significativos na Db e no E. Para os esperados ganhos em Db, por consequência, possibilita prever importantes melhorias na massa do fuste e em outras importantes características tecnológicas da madeira a ela relacionada, tais como: propriedades e rendimento do carvão vegetal e celulose, bem como, nas propriedades de madeira destinadas a usos que demandam maior resistência

mecânica. Pelo lado da possibilidade de melhorias do E, também, pode-se esperar consequentes aumentos de resistência mecânica da madeira para usos em estruturas da construção civil, produção de postes, escoramentos, etc.

Para a DRL a herdabilidade foi de 0,51, também, é de magnitude considerável para se obter ganhos significativos, seja no sentido de aumentar ou diminuir as tensões de crescimento, uma vez que a DRL é uma medida indicadora dessa propriedade da madeira (BIECHELE; NUTTO; BECKER, 2009).

Assim, pode-se aumentar os valores de tensão de crescimento, aumentando o valor de DRL, para conferir maior estabilidade mecânica das árvores a serem cultivadas, predispostas às cargas exercidas pelo ambiente, por exemplo: força gravitacional, arraste por ventos fortes, acúmulo de neve, etc. Por outro lado, também, há a possibilidade de diminuir a DRL para reduzir as tensões de crescimento e, conseqüentemente, reduzir os níveis de defeito da madeira após seu processamento primário e a secagem (BELTRAME et al., 2012).

Trabalhos conduzidos em testes clonais de *Eucalyptus* também estimaram altos valores de herdabilidade para Db e E (BOLTREL et al., 2007; SANTOS; GERALDI; GARCIA, 2004; TOLFO et al., 2005), confirmando que as referidas características são de alto controle genético. Para as avaliações de DRL as estimativas de herdabilidade são superiores à apresentada no presente estudo. Valores de 94.3% são relatados por Pádua et al. (2004) e Trugilho et al. (2007).

Na tabela 5, também, são apresentados os valores de coeficiente de variação genética (CV_g) para as referidas propriedades da madeira. Os valores de CV_g para Db, E e DRL foram, respectivamente, de 10,58, 14,72 e 14,29%, sendo todas estimativas superiores aos respectivos coeficientes de variação residual (CV_e). Isso possibilitou estimativas de Coeficiente de variação relativa (CV_r).

superiores a um (1), com destaque para Db e E que assumiram valores de 2,93 e 2,01. Esses valores indicam a condição favorável para a obtenção de ganhos pela seleção de clones superiores e suportam as indicações comentadas para os altos valores de herdabilidade.

A acurácia seletiva ou a correlação entre o valor predito e o verdadeiro valor genético foi de 0,98, 0,96 e 0,87 para Db, E e DRL, respectivamente, sendo consideradas muito altas e conferem excelente precisão e confiança nas estimativas dos valores genéticos.

4.2.2 Predição dos valores genotípicos e ganhos genéticos

A Predição dos valores genotípicos para a Densidade básica (Db) na idade de 63 meses do teste clonal está apresentada na tabela 6. Observa-se que os efeitos genotípicos (\hat{g}) para Db dos 20 clones variaram de 138,95 a -60,65 kg.m^{-3} , possibilitando a predição de valores genotípicos ($\mu + \hat{g}$) em uma escala de amplitude de 650,95 kg.m^{-3} (clone 23) a 451,55 kg.m^{-3} (clone 35).

Ao considerar apenas a seleção do clone superior (clone 23) o ganho percentual predito é de 27,14%, equivalente a um ganho nominal de 138,95 kg.m^{-3} . Quando se avalia os clones superiores e classificados até a sexta posição (23, 180, 46, 319, 309 e 65) o ganho será da ordem de 11,42%, com valor de ganho nominal de 68,49 kg.m^{-3} .

Atendendo ao propósito de aumento de massa, dentre esses seis clones preferencialmente selecionáveis destacam-se o clone 180 que é também superior para DAP e o clone 319 que é superior para altura. Assim, a seleção desses clones para Db, além do referido aumento de massa, pode-se alcançar melhorias em outras importantes propriedades da madeira, como as mencionadas anteriormente.

Essas melhorias diretas e indiretas nas propriedades tecnológicas permitem a produção de madeira com maior valor comercial, dada a ampliação

das possibilidades de usos industriais. Gonçalves (2009) ratifica a importância da densidade básica devido à qualidade da madeira e à destinação final.

Tabela 6 - Efeito genotípico (\hat{g}), predição do valor genotípico ($\mu + \hat{g}$), predição de ganho (G) em kg.m^{-3} e em percentagem para a característica de Db aos 63 meses de idade.

Clones Número	Clones ordem	\hat{g} (kg.m^{-3})	$\mu + \hat{g}$ (kg.m^{-3})	G	
				(kg.m^{-3})	(%)
23	1	138,95	650,95	138,95	27,14
180	2	124,84	636,83	131,90	25,76
46	3	28,56	540,56	97,45	19,03
319	4	22,79	534,78	78,79	15,39
309	5	21,18	533,18	67,27	13,14
65	6	14,12	526,12	58,49	11,42
2	7	13,71	525,70	52,02	10,16
19	8	8,35	520,34	46,56	9,09
181	9	6,42	518,42	42,10	8,22
26	10	-7,38	504,62	37,16	7,26
44	11	-10,59	501,41	32,82	6,41
16	12	-13,79	498,20	28,93	5,65
48	13	-24,06	487,93	24,85	4,85
44JC	14	-31,76	480,23	20,82	4,07
7	15	-40,11	471,89	16,75	3,27
38	16	-40,43	471,57	13,18	2,57
71	17	-43,32	468,68	9,85	1,92
39	18	-50,06	461,94	6,52	1,27
31	19	-56,79	455,20	3,19	0,62
35	20	-60,65	451,35	0,00	0,00

A tabela 7 apresenta a predição dos valores genotípicos para a característica de módulo de elasticidade (E) avaliada para um teste clonal na idade de 63 meses. Observa-se que os efeitos genotípicos (\hat{g}) para os 20 clones variaram de 1996,83 a -1270,20 MPa. Desses efeitos realizou-se a predição dos

valores genotípicos ($\mu + \hat{g}$) para cada clone, os quais alcançaram valores em amplitude que variou de 7584,09 MPa (clone 180) a 4317,05 MPa (clone 7).

Na seleção do clone superior (clone 180) a predição do ganho em termos percentuais foi da ordem de 35,74%, equivalente à previsão de um ganho em termos nominais de 1996,83 MPa. No caso de uma seleção dos seis clones superiores (180, 23, 319, 26, 181 e 309) o ganho percentual previsto é da ordem de 15,83%, com valor de ganho nominal de 884,46 MPa.

Considerando o propósito de resistência à flexão estática da madeira, densidade da madeira e crescimento em DAP, dentre esses seis clones preferencialmente selecionáveis destacam-se o clone 180 que é também superior para DAP e o clone 319 que, além de ser superior para Db e E é, também, para o crescimento em altura.

Quando se compara a escolha de seis melhores clones superiores para Db e E (tabelas 6 e 7) nota-se que quatro desses clones (180, 319, 23 e 309) são comuns, evidenciando fortes correlações entre essas características para propiciar significativos ganhos indiretos, ou seja, na seleção para Db, que é uma característica de fácil mensuração, ocorrerá um alto ganho correlacionado em E, que é uma característica que apresenta dificuldades e custos maiores no processo de avaliação. Relações altas e positivas entre Db e E são amplamente divulgadas na literatura (BALLARIN; PALMA, 2003; SOUZA et al., 2004).

Tabela 7 - Efeito genotípico (\hat{g}), predição do valor genotípico ($\mu + \hat{g}$), predição de ganho (G) em MPa e em percentagem para a característica de E aos 63 meses de idade.

Clones número	Clones Ordem	\hat{g} (MPa)	$\mu + \hat{g}$ (MPa)	G	
				(MPa)	(%)
180	1	1996,83	7584,09	1996,83	35,74
23	2	1765,76	7353,02	1881,30	33,67
319	3	666,79	6254,04	1476,46	26,43
26	4	342,06	5929,31	1192,86	21,35
181	5	336,21	5923,46	1021,54	18,28
309	6	199,10	5786,36	884,46	15,83
19	7	158,74	5746,00	780,79	13,97
16	8	-53,23	5534,03	676,53	12,11
2	9	-66,13	5521,13	594,02	10,63
35	10	-76,95	5510,30	526,92	9,43
48	11	-135,49	5451,77	466,70	8,35
44JC	12	-224,22	5363,03	409,12	7,32
44	13	-249,48	5337,77	358,46	6,42
38	14	-267,97	5319,29	313,72	5,61
65	15	-303,40	5283,85	272,58	4,88
39	16	-459,60	5127,65	226,82	4,06
71	17	-711,01	4876,25	171,65	3,07
46	18	-743,66	4843,59	120,80	2,16
31	19	-904,18	4683,07	66,85	1,20
7	20	-1270,20	4317,05	0,00	0,00

As predições dos valores genotípicos para DRL média, na idade de 63 meses do teste clonal, estão apresentadas na tabela 8. Verifica-se que os efeitos genotípicos (\hat{g}) para os 20 clones apresentam amplitude que varia de -17,23 a 13,71 μm . Nesta variação, os clones 65 e 46 assumem, respectivamente, predições dos valores genotípicos ($\mu + \hat{g}$) de 62,08 a 93,02 μm .

Em termos de ganhos percentuais, o clone superior (clone 65) destaca-se com 21,72%, correspondendo à redução de DRL em termos nominais de

17,23 μm . Ao realizar seleção para seis clones superiores (65, 319, 7, 38, 44JC e 39), o percentual previsto é equivalente a 15,33% e redução nominal é igual a 12,16 μm .

Para indústrias de processamento primário, é de interesse que a árvore tenha o mínimo de tensões de crescimento para evitar rachaduras de topo durante a colheita e torções no processo de secagem, porém, as tensões são determinadas a partir de medições em alterações que ocorrem nos comprimentos de peças da madeira.

Tabela 8 - Efeito genotípico (\hat{g}), predição do valor genotípico ($\mu + \hat{g}$), predição de ganho (G) em μm e em percentagem para a característica de DRL média aos 63 meses de idade.

Clones número	Clones Ordem	\hat{g} (μm)	$\mu + \hat{g}$ (μm)	G	
				(μm)	(%)
65	1	-17,23	62,08	117,23	21,72
319	2	-15,45	63,86	116,34	20,61
7	3	-15,45	63,86	116,05	20,23
38	4	-14,69	64,62	115,71	19,81
44JC	5	-5,31	74,00	113,63	17,18
39	6	-4,80	74,51	112,16	15,33
2	7	-4,63	74,68	111,08	13,97
309	8	-3,03	76,28	110,07	12,70
31	9	-1,00	78,31	99,07	11,43
44	10	2,05	81,36	77,96	10,03
19	11	2,05	81,36	77,05	8,88
181	12	4,33	83,64	66,10	7,69
180	13	4,58	83,89	55,28	6,65
23	14	5,09	84,40	44,54	5,72
35	15	7,37	86,68	33,74	4,72
26	16	8,64	87,95	22,97	3,74
48	17	9,91	89,22	22,21	2,79
16	18	11,43	90,74	11,45	1,83
71	19	12,44	91,76	00,72	0,91
46	20	13,71	93,02	00,00	0,00

Os seis clones superiores se destacam para escolha do material a ser cultivado para produção de madeira serrada. O clone 65 apresenta relação expressiva com as características de DAP para esta finalidade, o qual poderá obter ganho genético de 3,22 cm equivalente a 10,56%, enquanto que a DRL redução de 17,23 μm , correspondente a 21,72%.

As deformações que ocorrem na madeira devido a altos níveis de tensões podem ser minimizadas a partir da seleção de clones melhorados e combinados com outras características e, assim, obter ganhos para espécie e promover o uso a várias finalidades.

4.3 Estabilidade biomecânica de árvores: Índice de Esbeltez, Altura Crítica de flexão do fuste, Fator de Segurança à flexão do fuste

Dentre as características que avaliam a estabilidade mecânica de árvores, quando essas se deparam com condições adversas do meio, por exemplo, ventos fortes, chuvas, neve, entre outras, são consideradas como as mais importantes o Índice de Esbeltez (IE), Altura Crítica de flexão do fuste (H_{crit}) e o Fator de Segurança (f) à flexão do fuste.

Assim, estimar os parâmetros genéticos bem como os ganhos de seleção para essas três características possibilitará o aumento da estabilidade mecânica de árvores, principalmente, para aquelas que apresentarem as suas massas aumentadas pelo melhoramento genético.

4.3.1 Estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos e Médias

Na tabela 9, estão apresentadas as estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos para os caracteres IE, H_{crit} e f de árvores na idade de 63 meses cultivadas em teste clonal.

A estimativa de herdabilidade (h^2_g) para estas três características é de boa magnitude, sendo 0,67, 0,78 e 0,65, respectivamente. É possível prever

que a partir da grandeza desses valores de h^2_g , o controle sobre estes caracteres é significativo, e pode conferir condições apropriadas para estabilidade, controle na resistência à ruptura e o grau de segurança da árvore às condições adversas do ambiente. Valores de alta magnitude para as mesmas características foram encontrados em clones de *Toona ciliata* aos três anos de idade por Valle (2014), em que a h^2_g para IE, H_{crit} e f foram, respectivamente, de 0,86, 0,92 e 0,94.

Tabela 9 - Estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos para as características de IE ($m \cdot m^{-1}$), H_{crit} (m) e f em teste de 20 clones de *Eucalyptus* spp., aos 63 meses de idade cultivados no espaçamento de 10 x 4 m, no município de Vazante, MG.

Parâmetros	IE	H_{crit}	f
$\hat{\sigma}^2_g$	87,71	8,44	0,00498
$\hat{\sigma}^2_e$	42,61	2,38	0,00271
$\hat{\sigma}^2_f$	130,32	10,83	0,00769
h^2_g	$0,67 \pm 0,30$	$0,78 \pm 0,32$	$0,65 \pm 0,30$
CV_g (%)	8,48	7,85	6,36
CV_e (%)	5,91	4,17	4,69
CV_r (%)	1,43	1,88	1,36
Média geral	110,48	37,00	1,11
Acurácia	0,92	0,96	0,92

$\hat{\sigma}^2_g$ = Variância genotípica; $\hat{\sigma}^2_e$ = Variância residual; $\hat{\sigma}^2_f$ = Variância fenotípica; h^2_g = herdabilidade; CV_g (%) = Coeficiente de Variação genotípica; CV_e (%) = Coeficiente de Variação residual; CV_r = Coeficiente de variação relativa (CV_g / CV_e).

Os valores de coeficiente de variação genética (CV_g) para as mencionadas propriedades da madeira, também, são apresentados na tabela 9. Todas as características obtiveram resultados superiores aos referentes coeficientes de variação residual (CV_e), sendo respectivamente, 8,48% (IE), 7,85% (H_{crit}) e 6,36% (f). Estes valores implicam estimativas de Coeficiente de variação relativa (CV_r) superiores a um (1), sendo de 1,43, 1,88 e 1,36 pra IE,

H_{crit} e f . Os valores de CV_r associados aos citados valores de herdabilidade indicam a possibilidade de se alcançar ganhos significativos na segurança mecânica de árvores.

A acurácia seletiva foi de 0,92, 0,96 e 0,92 para IE, H_{crit} e f , respectivamente, sendo consideradas muito altas e conferem excelente precisão e confiança nas estimativas dos valores genéticos.

As médias para estas mesmas características de cada clone são apresentadas na tabela 10. Observa-se que as médias gerais para IE foram de $110,28 \text{ m.m}^{-1}$, 37,05 m para H_{crit} e f igual a 1,11.

Na tabela 10, também são apresentados os valores médios para essas características por clone estudado. Nota-se uma amplitude de variação para IE está entre $95,09 \text{ m.m}^{-1}$ (clone 65) e $129,02 \text{ m.m}^{-1}$ (clone 44JC), para H_{crit} a variação foi de 41,23 m (clone 180) a 29,87m (clone 46), e para f os maiores e menores valores foram de 1,23 (clones 31) e 0,97 (clone 44JC). Considerando os valores máximos e mínimos para cada clone, a amplitude de variação em termos percentuais, o IE, H_{crit} e f assumiram valores de 35,7%, 40,4% e 26,8%. Observa-se, também na tabela 10, que o clone 180 se apresenta com as melhores expressões de resistência biomecânica para os fustes de seus rametes, assumindo valores de $101,03 \text{ m.m}^{-1}$, 41,23 m e 1,20, IE, H_{crit} e f , respectivamente, uma vez que se deseja menores valores de IE e maiores valores de H_{crit} e f .

A essas propriedades de resistência do clone 180, adiciona-se seu potencial de crescimento em DAP e altura (tabela 2), principalmente, para a altura de 34,37m, sendo essa bem inferior à altura crítica de flexão do fuste de 41,23m. Melhorias e ganhos, com será apresentado posteriormente, podem ser alcançados pela seleção de clones superiores, visto que os valores de herdabilidade foram expressivos (TABELA 9).

Tabela 10 - Valores médios de Índice de Esbeltez (IE), Altura Crítica para flexão do fuste (H_{crit}) e Fator de segurança (f) de 20 clones de *Eucalyptus* spp., obtidos na idade de 63 meses e cultivados no município de Vazante – MG, no espaçamento de 10 x 4 m.

Clones	IE (m.m ⁻¹)	Clones	H_{crit} (m)	Clones	f
65	95,09	180	41,23	31	1,23
31	95,93	39	40,30	38	1,21
180	101,03	26	40,30	180	1,20
38	101,22	23	39,47	65	1,20
23	101,70	35	39,27	23	1,19
26	102,83	16	39,13	26	1,18
16	103,48	65	38,67	16	1,16
7	104,10	181	38,47	181	1,12
39	107,77	38	38,07	19	1,12
181	109,13	319	37,43	35	1,09
19	109,84	71	37,13	7	1,09
71	110,75	19	36,87	39	1,09
35	114,52	31	36,50	2	1,09
309	115,87	44	36,40	319	1,08
319	116,65	44JC	36,17	309	1,07
44	116,86	309	35,67	71	1,07
2	120,01	7	35,03	48	1,05
48	123,38	48	33,67	44	1,04
46	126,48	2	31,67	46	0,98
44JC	129,02	46	29,37	44JC	0,97
	110,28		37,05		1,11

4.3.2 Predição dos valores genotípicos e ganhos genéticos

Os valores alusivos à predição genética para a característica de IE, avaliada em um teste clonal na idade de 63 meses, estão apresentados na tabela 11. Para os 20 clones avaliados neste estudo, verifica-se que os efeitos genotípicos (\hat{g}) variaram de -13,25 a 15,96 m.m⁻¹. A partir desses efeitos realizou-se a predição dos valores genotípicos ($\mu + \hat{g}$) para cada clone, os quais

obtiveram valores em uma amplitude que variou de 97,23 m.m⁻¹ (clone 65) a 126,44 m.m⁻¹ (clone 44JC).

Em termos de seleção do clone superior, ou seja, aquele que apresenta o mais baixo valor de IE e, portanto, a maior estabilidade biomecânica quanto a esse critério, o clone 65 foi o que apresentou melhor predição em termos percentuais de ganho da ordem de 11,99 % e em termos nominais foi correspondente a 13,25 m.m⁻¹. Ao considerar seleção dos seis clones superiores (65, 31, 180, 38, 23 e 26) o ganho previsto na redução do IE será da ordem de 8,45%, com valor de ganho nominal de 9,34 m.m⁻¹.

Ao avaliar o desejado baixo grau de IE (tabela 11) para que haja maior estabilidade da árvore, o pretendido menor valor de DRL (tabela 8) para que ocorra menores níveis de tensões de crescimento e a aumentada produção de madeira pelo incremento em DAP (tabela 3), nota-se grande destaque para a seleção do clone 65, pois pode-se prever que os rametes desse clone seriam mecanicamente mais estáveis, produtivos e geradores de madeira serrada com menores níveis de defeitos.

Isso revela que análises conjuntas dessas características são fundamentais no programa de melhoramento genético que visa a avanços na produtividade, na qualidade da madeira e resistência às ações adversas em plantios clonais.

Tabela 11 - Efeito genotípico (\hat{g}), predição do valor genotípico ($\mu + \hat{g}$), predição de ganho (G) em $m.m^{-1}$ e em percentagem para a característica de IE aos 63 meses de idade.

Clones número	Clones Ordem	\hat{g} ($m.m^{-1}$)	$\mu + \hat{g}$ ($m.m^{-1}$)	G	
				($m.m^{-1}$)	(%)
65	1	-13,25	97,23	13,25	11,99
31	2	-12,52	97,95	12,89	11,66
180	3	-8,13	102,35	11,30	10,23
38	4	-7,97	102,51	10,47	9,48
23	5	-7,55	102,93	9,89	8,95
26	6	-6,59	103,89	9,34	8,45
16	7	-6,02	104,46	8,86	8,02
7	8	-5,49	104,99	8,44	7,64
39	9	-2,33	108,15	7,76	7,03
181	10	-1,16	109,32	7,10	6,43
19	11	-0,55	109,93	6,51	5,89
71	12	0,23	110,71	5,94	5,38
35	13	3,48	113,96	5,22	4,72
309	14	4,64	115,12	4,52	4,09
319	15	5,31	115,79	3,86	3,49
44	16	5,49	115,97	3,28	2,97
48	17	11,11	121,59	2,43	2,20
2	18	11,58	122,06	1,65	1,49
46	19	13,77	124,25	0,84	0,76
44JC	20	15,96	126,44	0,00	0,00

Na tabela 12 é apresentada a predição dos valores genotípicos para a característica H_{crit} . Nos 20 clones avaliados, observa-se que os efeitos genotípicos (\hat{g}) variaram de 3,87 m a -6,98 m. A partir desses resultados pôde-se predizer os valores genotípicos ($\mu + \hat{g}$) para cada clone, os quais obtiveram valores em uma amplitude que variou de 40,87 m (clone 180) a 30,02 m (clone 46).

Nesta seleção, o clone 180 (clone superior) apresentou predição do ganho em termos percentuais da ordem de 10,45%, equivalente à previsão de um ganho em termos nominais de 3,87 m. Considerando a seleção dos seis clones superiores (180, 39, 26, 23, 35 e 16) o ganho percentual previsto será de 7,28%, com valor de ganho nominal de 2,69 m.

O planejamento em plantios clonais é imprescindível para segurança da produção em escala comercial, pois tem tendência a evitar desperdícios e obter o maior retorno econômico possível. Para isso, deve-se considerar as condições de crescimento e manejo das árvores e, dessa forma, estabelecer padrões de crescimento em altura (H) que não ultrapassem os limites de altura crítica de flexão (H_{crit}) do fuste. A relação H_{crit}/H quando assume valores menores que a unidade haverá grande risco de a árvore sofrer danos por carência de autossuporte para a sua própria massa (NIKLAS, 1997; WAGHORN; WATT, 2013).

A seleção quanto à H_{crit} , o clone 180 novamente se evidencia como o mais recomendável, seja pelo seu inerente maior valor de H_{crit} , quanto por apresentar altos valores nas propriedades de Db (tabela 6) e de E (tabela 7), cuja relação expressa o módulo de elasticidade específico que é diretamente proporcional ao fator de segurança da árvore (f) como se encontra na equação 6 (pg. 30). Assim, essas quatro características (H_{crit} , Db , E e f) adicionadas ao valor de crescimento em DAP fundamentam a condução de um programa de melhoramento de árvores, no qual pode-se alinhar o aumento de produtividade com aumento da estabilidade biomecânica. Resta, portanto, conhecer se tais características, quando reunidas em um mesmo clone, poderão atuar com sinergismo.

Tabela 12 - Efeito genotípico (\hat{g}), predição do valor genotípico ($\mu + \hat{g}$), predição de ganho (G) em metros e em percentagem para a característica de H_{crit} aos 63 meses de idade.

Clones número	Clones ordem	\hat{g} (m)	$\mu + \hat{g}$ (m)	G	
				(m)	(%)
180	1	3,87	40,87	3,87	10,45
39	2	3,01	40,02	3,45	9,32
26	3	3,01	40,02	3,30	8,91
23	4	2,25	39,25	3,04	8,21
35	5	2,07	39,07	2,84	7,69
16	6	1,95	38,95	2,69	7,28
65	7	1,52	38,52	2,53	6,83
181	8	1,34	38,34	2,38	6,43
38	9	0,97	37,98	2,22	6,01
319	10	0,39	37,40	2,04	5,51
71	11	0,12	37,12	1,86	5,04
19	12	-0,12	36,88	1,70	4,59
31	13	-0,46	36,54	1,53	4,14
44	14	-0,55	36,45	1,38	3,74
44JC	15	-0,76	36,24	1,24	3,35
309	16	-1,22	35,78	1,09	2,94
7	17	-1,80	35,20	0,92	2,48
48	18	-3,05	33,95	0,70	1,88
2	19	-5,57	31,44	0,37	0,99
46	20	-6,98	30,02	0,00	0,00

A predição dos valores genotípicos para a característica do referido fator de segurança (f) está apresentada na tabela 13. Os efeitos genotípicos (\hat{g}) para os 20 clones variaram de 0,10 a -0,12. Por meio desses efeitos obteve-se a predição dos valores genotípicos ($\mu + \hat{g}$) para cada clone, os quais alcançaram valores em uma amplitude que variou de 1,21 (clone 31) a 0,99 (clone 44JC).

Tabela 13 - Efeito genotípico (\hat{g}), predição do valor genotípico ($\mu + \hat{g}$), predição de ganho (G) em percentagem para a característica de f aos 63 meses de idade.

Clones número	Clones ordem	\hat{g} (1)	$\mu + \hat{g}$ (1)	G	
				(1)	(%)
31	1	0,10	1,21	0,10	9,45
38	2	0,09	1,19	0,09	8,55
180	3	0,08	1,19	0,09	8,08
65	4	0,08	1,19	0,09	7,79
23	5	0,07	1,17	0,08	7,41
26	6	0,06	1,17	0,08	7,11
16	7	0,04	1,15	0,07	6,61
19	8	0,01	1,12	0,07	5,89
181	9	0,01	1,12	0,06	5,32
7	10	-0,01	1,10	0,05	4,66
35	11	-0,01	1,10	0,05	4,13
39	12	-0,02	1,09	0,05	4,15
319	13	-0,03	1,08	0,04	3,20
309	14	-0,03	1,08	0,04	3,24
71	15	-0,04	1,07	0,03	2,36
2	16	-0,05	1,06	0,02	1,95
48	17	-0,05	1,06	0,02	1,57
44	18	-0,06	1,05	0,01	1,17
46	19	-0,11	1,00	0,01	0,58
44JC	20	-0,12	0,99	0,00	0,00

(1) Adimensional

Na escolha do clone superior (clone 31) a predição do ganho em termos percentuais foi da ordem de 9,45%, equivalente à previsão de um ganho de 0,10, em termos nominais. Considerando uma seleção dos seis clones superiores (31, 38, 180, 65, 23 e 26) o ganho percentual previsto será da ordem de 7,11%, com valor de ganho nominal de 0,08.

Para que o f seja superior à unidade e, assim, evitar que o fuste possa fletir ou quebrar é fundamental que a H_{crit} da árvore seja superior à altura total

como mencionado anteriormente. Sendo assim, o f para clone 180, também, se correlaciona com todas as três características anteriormente comentadas.

Nesses níveis de limite de fator de segurança dos seis clones superiores, os seus rametes, principalmente, as dos clones que tiveram suas características de crescimento geneticamente melhoradas terão acréscimos correspondentes nas suas propriedades de resistência mecânica para maior estabilidade quando se depararem com situações de ventos fortes e tempestades.

Os resultados aqui apresentados para *Eucalyptus* e aqueles apresentados por Rosado (2015) e Valle (2014) indicam que f se constitui em um importante índice de seleção por abranger um amplo conjunto de características, incluindo de resistência mecânica (Modulo de Elasticidade Específica), de crescimento (DAP, H) e arquitetura do fuste (IE e H_{crit}) que podem ser geneticamente melhoradas.

Adicionalmente, pode-se contextualizar que por esse índice de seleção, o “*trade-off*” no melhoramento de árvores poderá ser minimizado, visto que entre os efeitos negativos destacam-se aqueles relacionados com o aumento da massa do fuste e ao grau de sua flexão, reduzindo o valor comercial de toras e ao aumento do risco de sua queda e quebra, causando perdas econômicas e ambientais.

4.3.3 Proporção Máxima da Madeira de Tração (PMMT)

Além das considerações de resistência mecânica anteriormente feitas nos itens 5.2 e 5.3.1, os valores de DRL que foram avaliados em torno das circunferências das árvores, considerando os pontos cardeais norte, leste, sul e oeste possibilitaram estimar a PMMT de cada clone conforme apresentado na tabela 14.

Tabela 14 - Deformação Residual Longitudinal (DRL) de 20 clones de *Eucalyptus* spp., avaliados nos quatro pontos cardeais à altura do peito e Proporção Máxima da Madeira de Tração (PMMT).

Clones	DRL média (μm)				DRL Média (μm)	PMMT (%)
	Norte	Leste	Sul	Oeste		
2	58	55	95	78	71	33
7	51	55	65	63	59	11
16	87	87	86	117	94	24
19	65	95	72	94	82	16
23	94	75	89	84	86	10
26	133	42	86	103	91	47
31	74	70	76	92	78	18
35	98	91	74	92	89	10
38	75	47	62	56	60	25
39	65	74	84	70	73	15
44	65	95	72	94	82	16
46	114	112	77	87	97	17
48	98	86	84	100	92	8
65	43	51	62	69	56	23
71	103	131	94	54	96	37
180	92	90	90	69	85	8
181	97	95	73	75	85	14
309	66	93	81	61	75	23
319	56	64	60	56	59	8
44JC	82	85	59	63	72	17
					79.1	19

Nessa tabela, nota-se que os clones 180, 48 e 319 apresentaram as menores PMMT (8%) e o clone 26 a maior proporção (47%). Estes valores, dependendo do interesse do uso da madeira, fornecem interpretações distintas. No caso em que se pretende atender demandas do setor de madeira serrada os clones 180, 48 e 319, por apresentarem baixo nível de PMMT, teoricamente, serão os mais adequados, tendo em vista que madeira com menor

desenvolvimento de forças de tração terão melhores qualidades de madeira após o processamento primário.

Por outro lado, quando se pretende cultivar árvores em locais sujeitos à ação de ventos dominantes é desejável cultivar clones com maior capacidade de formar madeira de reação, que para as folhosas é a madeira de tração (BURGER; RICHTER, 1991; TIMELL, 1986). Assim o clone 26 e outros com altos valores de PMMT seriam os mais indicados.

As Figuras 1, 2 e 3 mostram, respectivamente, a distribuição de clones com baixos, médios e elevados valores de PMMT, estimadas a partir dos valores da Deformação Residual Longitudinal (DRL) nos pontos cardeais.

Os clones 180, 319, 48 e 35, apresentados na figura 1, apresentam as menores PMMT, com amplitude de 8 a 10% que, teoricamente, podem ser classificados como produtores de madeira de melhor qualidade para o processamento primário. Nesta referida classificação, nota-se uma situação de “*trade-off*” visto que clones com menores PMMT são aqueles que apresentam madeira processada de melhor qualidade, no entanto, são mais vulneráveis às forças de arraste pelo vento.

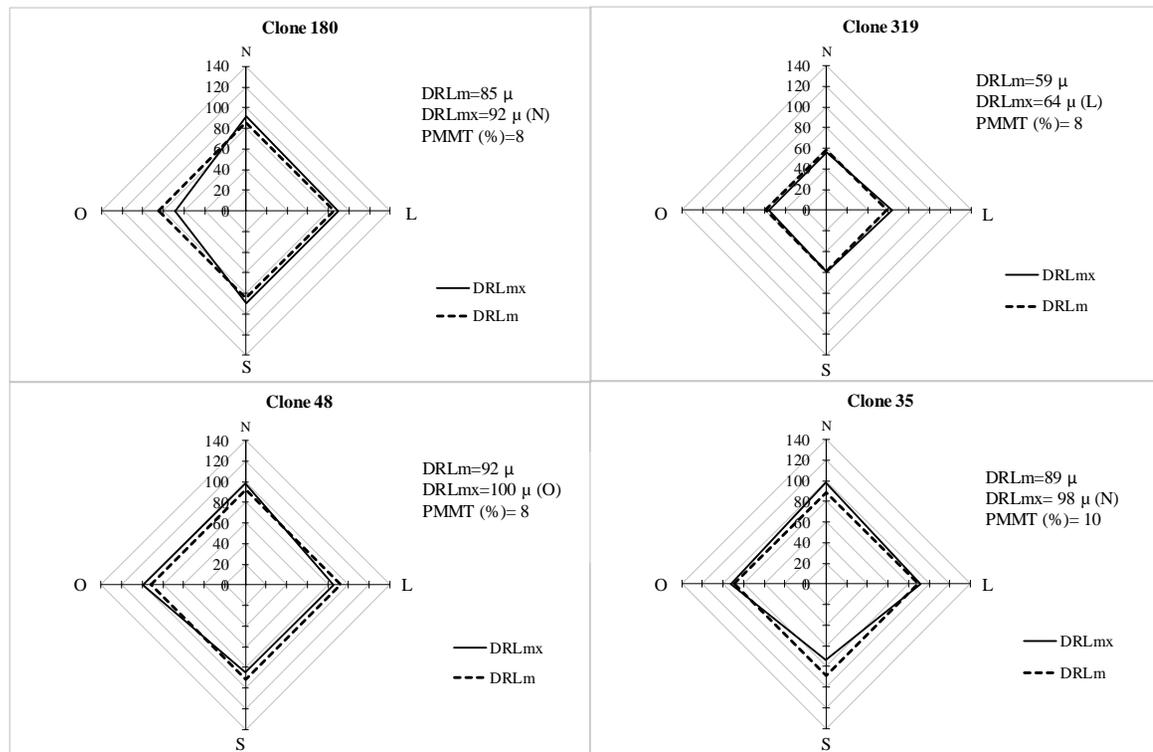
Entretanto, para o clone 180 esse “*trade-off*” pode não existir ou estar minimizado por apresentar outras propriedades que lhe conferem estabilidade mecânica, tais como, os ressaltados valores de DAP, IE, H_{crit} e f , como apresentados nas tabelas 3, 11, 12 e 14, respectivamente.

Na Figura 2 estão representados os clones 44, 44JC, 46 e 31 que apresentam valores médios de PMMT. Nessa classificação os valores de PMMT variaram de 16 a 18% que, teoricamente, apresentam qualidades de madeira para processamento primário de qualidade intermediária, porém, com resistência mecânica do fuste que pode garantir a sua estabilidade.

Na Figura 3 são apresentados os clones 38, 2, 71 e 26 que oferecem altos valores de PMMT. Nessa classificação os valores de PMMT variaram de

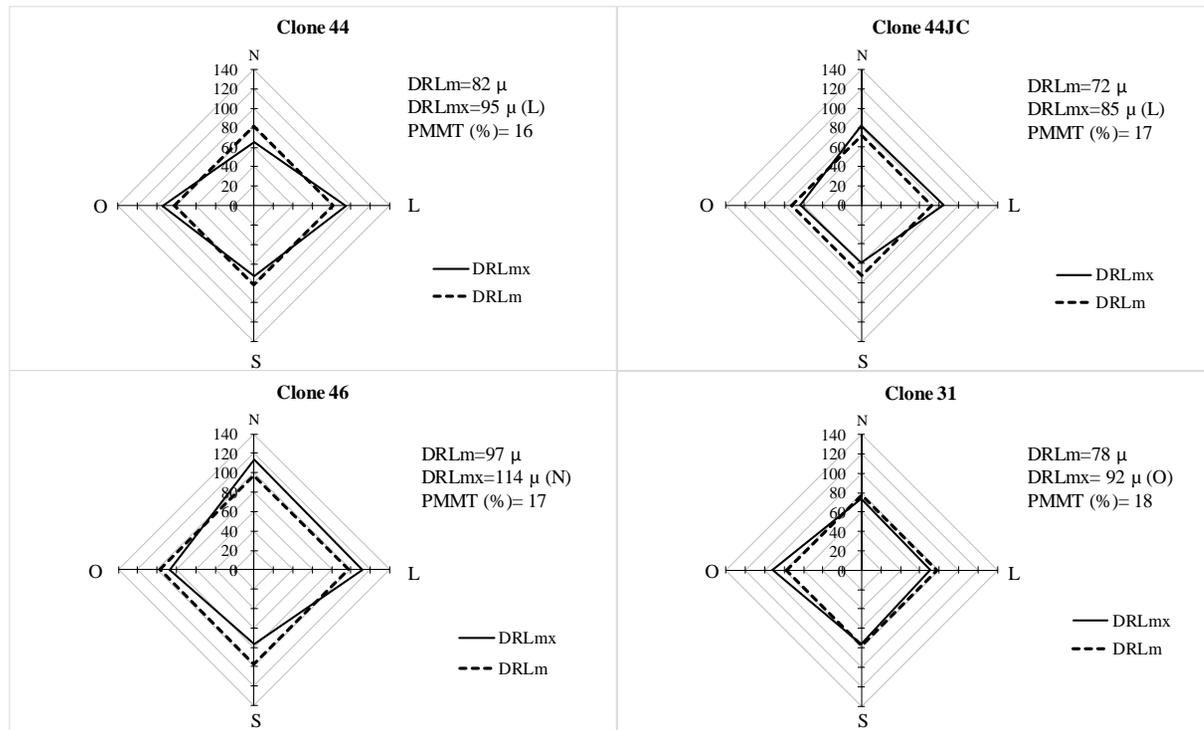
25 a 47% que, teoricamente, são valores que podem comprometer a qualidade da madeira para processamento primário, porém, esses clones podem apresentar resistência mecânica do fuste superior, e assim, melhor garantir a estabilidade das árvores. Na seleção desses clones existe outro “*trade-off*” que é previsto entre a maior estabilidade mecânica conferida por maiores PMMT e decréscimos na qualidade da madeira que podem acontecer após o processamento primário e secagem. Assim, nessa condição, outros usos como lenha, carvão e produção de celulose devem ser considerados.

Figura 1 - Representação gráfica da distribuição dos baixos valores de Proporção Máxima da Madeira de Tração (PMMT), estimadas pelos valores de Deformação Residual Longitudinal (DRL) para os clones 180, 319, 48 e 35.



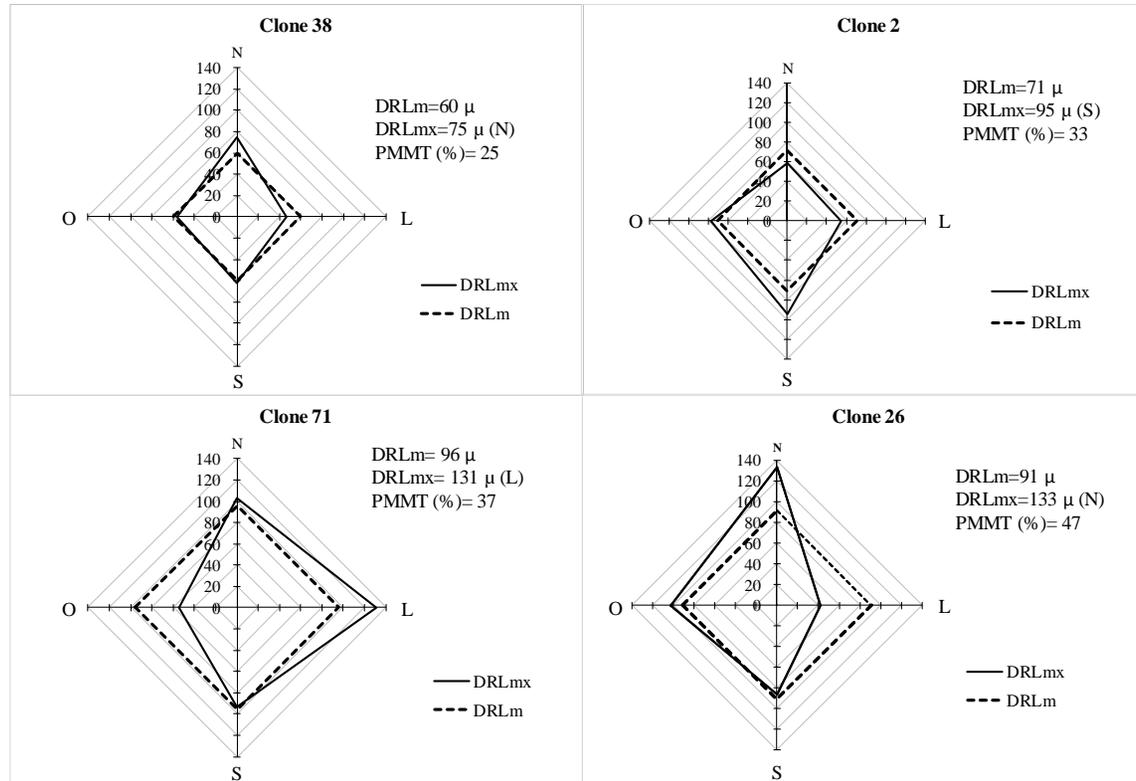
DRLm e DRLmx, são valores médios e máximos, respectivamente, nas orientações Norte, Leste, Sul e Oeste da árvore.

Figura 2 - Representação gráfica da distribuição dos médios valores na Proporção Máxima da Madeira de Tração (PMMT), estimadas pelos valores de Deformação Residual Longitudinal (DRL) para os clones 44, 44 JC, 46 e 31.



DRLm e DRLmx, são valores médios e máximos, respectivamente, nas orientações Norte, Leste, Sul e Oeste da árvore.

Figura 3 - Representação gráfica da distribuição dos máximos valores na Proporção Máxima da Madeira de Tração (PMMT), estimadas pelos valores de Deformação Residual Longitudinal (DRL) para os clones 38, 2, 71 e 26.



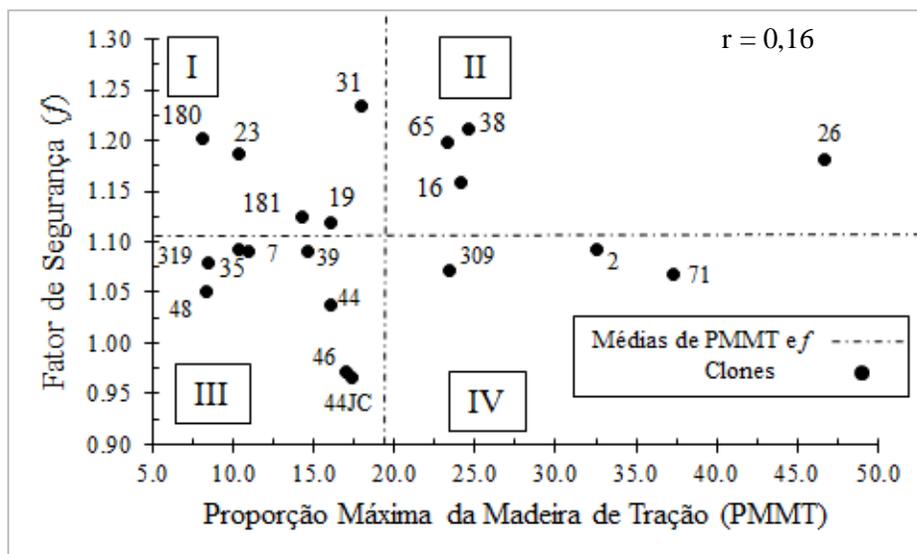
DRLm e DRLmx, são valores médios e máximos, respectivamente, nas orientações Norte, Leste, Sul e Oeste da árvore.

Para melhor compreender as referidas seleções e minimizar as implicações desses “*trade-off*” para o melhoramento, concomitante, de qualidade da madeira e da resistência mecânica de árvores contra as forças do meio que provocam a flexão e quebra dos seus fustes, construiu-se o gráfico apresentado na figura 4 que permite interpretação que considera, simultaneamente, clones que possam ter valores de f e de PMMT abaixo e acima dos valores médios estimados para os 20 clones em teste.

Nesse gráfico consta, também, o valor da correlação de *Pearson* entre ambas as características que foi da ordem 0,16, sendo não significativa pelo teste de *t* de *Student* ($p > 0,05$). Essa inexistência de correlação indica que há impossibilidade de se obter ganho correlacionado, quando se seleciona para uma das duas características, sendo, portanto, necessária a seleção em ambas propriedades para se alcançar maiores níveis de estabilidade mecânica das árvores.

Assim, na Figura 4 destacam-se quatro quadrantes com a inclusão de seus respectivos clones para permitir a condução de seleções que contornam os mencionados “*trade-off*”.

Figura 4 - Relação entre o Fator de Segurança (f) e Proporção Máxima da Madeira de Tração (PMMT) de clones de *Eucalyptus* spp. com idade de 63 meses.



Quadrante I: estão inseridos os clones que podem fornecer madeira de melhor qualidade para serraria por apresentarem baixa PMMT, e estáveis por apresentarem maiores valores de f . Nesse quadrante, o destaque é dado ao clone 180;

Quadrante II: estão incluídos os clones que podem apresentar baixos valores na qualidade da madeira para processamento primário, porém, com acrescida resistência mecânica, pois expressam altos valores de f , assim como, os mais altos valores de PMMT. Nesse quadrante destaca-se o clone 26 como sendo o mais apropriado para plantios em que as condições do meio com interferência dos ventos são mais frequentes e de maior intensidade. Portanto, do ponto de vista teórico, desconsidera-se a qualidade para uso de madeira serrada, devendo ser utilizada para outras finalidades;

Quadrante III: estão inseridos os clones que podem apresentar madeira de boa qualidade por assumir baixos valores de PMMT, mas são duplamente instáveis pelos baixos valores de f e de PMMT. Nesse quadrante destaca-se o clone 319 que tem baixo valor de PMMT, mas que somente deve ser cultivado em condições em que os seus rametes não sejam predispostos às significativas forças de arraste pelo vento e/ou onde pode ocorrer crescimento do fuste com forte alteração do seu eixo vertical com relação à copa, tal como tende a ocorrer em local mais declivoso.

Quadrante IV: encontram-se dispostos os clones que podem ser inadequados para uso como madeira serrada por apresentarem altas PMMT e que não são estáveis pelas estimativas de f . Nesse quadrante, portanto, não existem destaques significativos.

Nessas análises, o grande destaque é observado para o clone 180, a este adiciona-se seu considerável crescimento em DAP que apresentou alta predição do valor genotípico (TABELA 3).

5 CONCLUSÕES

As acurácias foram altas para as estimativas dos parâmetros genéticos e previsões dos ganhos pela seleção de clones superiores para crescimento das árvores (DAP e altura), das propriedades da madeira de densidade básica (Db), Módulo de Elasticidade Estática (E) e Deformação Residual Longitudinal (DRL), bem como, para as propriedades que conferem estabilidade biomecânica de árvores, considerando o Índice de Esbeltez (IE) do fuste, Altura Crítica (H_{crit}) de flexão do fuste e Fator de Segurança (f) à flexão e colapso do fuste;

Os valores estimados de herdabilidade foram muito altos para DAP (0,74), H_{crit} (0,78), E (0,80), altura (0,83) e Db (0,90), e altos para DRL (0,51), f (0,65) e IE (0,67).

Esses níveis de herdabilidade e as significativas previsões de efeitos genotípicos permitiram prever ganhos percentuais de 11,11% (DAP), 10,45% (H_{crit}), 35,74 % (E), 11,31 % (altura), 27,14% (Db), 21,72 % (DRL), 9,45% (f) e 11,99 % (IE).

O alinhamento do melhoramento do crescimento, qualidade da madeira e estabilidade mecânica das árvores mostrou ser possível pela minimização de “*trade-off*”, principalmente, existente entre DRL e f e entre PMMT e f , levando em consideração a necessidade de melhoria da qualidade da madeira e elevação da resistência biomecânica das árvores.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D143/94. In: _____. **Annual book of ASTM standards**. Denver, 1997. p. 23-53.
- ANJOS, A. F. T. et al. Performance and quality of wood in a clone of *Eucalyptus* in monoculture and silvipastoral system. **Nativa**, Sinop, v. 4, n. 2, p. 77-81, mar./abr. 2016.
- ASSIS, T. F.; MAFIA, R. G. Hibridação e clonagem. In: BORÉM, A. (Ed.). **Biociologia florestal**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007. p. 93-121.
- ASSIS, T. F.; RESENDE, M. D. V. Genetic improvement of forest tree species. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 11, p. 44-49, June 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.
- ATAÍDE, G. M. et al. Interação árvores e ventos: aspectos ecofisiológicos e silviculturais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 523-536, abr./jun. 2015.
- BALLARIN, A. W.; PALMA, H. A. L. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 371-380, maio/jun. 2003.
- BAMBER, R. K. A general theory for the origin of growth stresses in reaction wood: how trees stay upright. **IAWA**, Utrecht, v. 22, n. 3, p. 205-212, 2001.
- BELTRAME, R. et al. Determinação das deformações residuais longitudinais decorrentes das tensões de crescimento em *Eucalyptus* spp. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 343-351, abr./jun. 2012.
- BIECHELE, T.; NUTTO, L.; BECKER, G. Growth Strain in *Eucalyptus nitens* at different stages of development. **Silva Fennica**, Freiburg, v. 43, n. 4, p. 669-679, 2009.
- BOSCHETTI, W. T. N. et al. Características anatômicas para produção de celulose do lenho de reação de árvores inclinadas de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 50, n. 6, p. 459-467, jun. 2015.

BOTREL, M. C. G. et al. Ganho genético em propriedades físicas e mecânicas de clones de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 76, p. 13-19, dez. 2007.

BRADSHAW, A. D. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. **Advances in Genetics**, London, v. 13, p. 115-153, 1965.

BRÜCHERT, F.; GARDINER, B. The effect of wind exposure on the tree aerial architecture and biomechanics of Sitka spruce (*Picea sitchensis*, Pinaceae). **American Journal of Botany**, Lancaster, v. 93, p. 1512-1521, 2006.

BURGER, M. L.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

CARDOSO JUNIOR, A. A. et al. Deformação residual longitudinal em diferentes espaçamentos e idade em clones de híbridos de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 218-224, jul./set. 2005.

CARVALHO, A. M. et al. Correlações da altura e diâmetro com tensões de crescimento em árvores de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, p. 323-331, 2010.

DU, S.; YAMAMOTO, F. An overview of the biology of reaction wood formation. **Journal of Integrative Plant Biology**, Beijing, v. 49, n. 2, p. 131-143, 2007.

FERREIRA, S. et al. Resistência mecânica de caules de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias. **Cerne**, Lavras, v. 16, p. 133-140, jul. 2010. Suplemento.

FONSECA, S. M. et al. **Manual prático de melhoramento genético do eucalipto**. Viçosa, MG: UFV, 2010. 200 p.

FOURNIER, M. et al. Mesures de déformation résiduelle de croissance à la surface des arbres en relation avec leur morphologie: observations sur différentes espèces. **Annales des Sciences Forestières**, Paris, v. 51, p. 249-266, 1994.

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

GONÇALVES, S. V. B. **Ferramentas para avaliação das propriedades da madeira em árvores vivas de *Toona ciliata* (Roemer) e aplicações no melhoramento genético**. 2009. 61 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

HOLLING, C. S. Resilience and stability of ecological systems. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 4, p. 1-23, 1973.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Caminhamos na direção certa para valorizar e fortalecer o setor de árvores plantadas e os produtos**. 2015. 62 p. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/iba_2015.pdf>. Acesso em: 12 maio 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. Rio de Janeiro, 2013. 69 p.

KING, D. A. Tree form, height growth, and susceptibility to Wind damage in acer saccharum. **Ecology**, Durham, v. 67, n. 4, p. 980-990, 1986.

KUBLER, H. Growth stresses in trees and related wood properties. **Forest Products Abstracts**, Oxford, v. 10, n. 3, p. 61-119, Mar. 1987.

LIMA, J. T. et al. Deformações residuais longitudinais decorrentes de tensões de crescimento em eucaliptos e suas associações com outras propriedades. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 107-116, 2004.

LISBOA, C. D. J. **Estudo das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus grandis* Hill. Ex Maiden**. 1993. 275 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

MAIA, M. C. C. et al. Seleção simultânea para a produção, adaptabilidade e estabilidade genotípicas em clones de cajueiro, via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 1, p. 43-50, 2009.

MATHESON, A. C.; LINDGREN, D. Gains from the clonal and the clonal seed-orchard options compared for tree breeding programs. **Theoretical Applied Genetics**, Berlin, v. 71, p. 242- 249, 1985.

MATTOS, R. B. Possibilidade de ganho de fuste em espécies euxilóforas nativas da Região Central do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 111-120, 2003.

MELO, V. M. **Variações nas propriedades da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades.**

2004. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

MORAES, C. B. et al. Estimativas dos parâmetros genéticos para seleção precoce de clones de *Eucalyptus* para região com ocorrência de geadas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 102, p. 219-227, jun. 2014.

NIKLAS, K. J. Mechanical properties of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) wood: size- and age-dependent variations in sap- and heartwood. **Annals of Botany**, London, v. 79, p. 265-272, 1997.

OPIE, J. E.; CURTIN, R. A.; INCOLL, W. D. Stand management. In: HILLS, W. E.; BROWN, A. G. (Ed.). ***Eucalyptus for wood production***. Melbourne: CSIRO, 1984. p. 179-197.

PÁDUA, F. A. et al. Estimativas de parâmetros genéticos das tensões de crescimento em clones de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 50, n. 66, p. 152-160, dez. 2004.

PELTOLA, H. et al. **Living with storms damage to forests**. Joensuu: European Forest Institute, 2013. 129 p.

POTTS, B.; DUNGEY, H. Interspecific hybridization of *Eucalyptus*: key issues for breeders and geneticists. **New Forests**, Amsterdam, v. 27, n. 2, p. 115-138, 2004.

RESENDE, M. D. V. de. **Análise estatística de modelos mistos via Reml/Blup na experimentação em melhoramento de plantas perenes**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2000. 101 p. (EMBRAPA Florestas. Documentos, 47).

RESENDE, M. D. V. de. **Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2004. 57 p.

RESENDE, M. D. V. de. **O software Selegen Reml/Blup**. Campo grande: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2007. 299 p.

REZENDE, G. D. S. P.; RESENDE, M. D. V. de; ASSIS, T. F. de. *Eucalyptus* breeding for clonal forestry. In: FENNING, T. M. (Org.). **Challenges and opportunities for the world's forests in the 21st century: forestry sciences**. Dordrecht: Springer Science, 2014. p. 393-424.

REZENDE, G. D. S. P.; RESENDE, M. D. V.; ASSIS, T. F. Eucalyptus breeding for clonal forestry. In: FENNING, T. M. (Ed.). **Challenges and opportunities for the world's forests in the 21st century**. Dordrecht: Springer Science, 2014. p. 393-424. (Forestry Sciences, 81).

ROMAN, M.; BRESSAN, D. A.; DURLO, M. A. Variáveis morfológicas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex Steud. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 473-480, out./dez. 2009.

ROSADO, A. M. **Avaliação da tolerância de árvores de eucalipto a quebra por vento**. 2006. 43 p. Monografia (Especialização em Tecnologia de Celulose e Papel)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

ROSADO, A. M. et al. Avaliação da tolerância à quebra por vento em árvores de eucalipto via teste de resistência. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 75, p. 309-315, jul./set. 2013.

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

ROSADO, L. R. **Parâmetros genéticos em teste de procedências e progênies de *Toona ciliata* M. Roemer var. *australis***. 2015. 68 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

ROSVALL, O.; LINDGREN, D.; MULLIN, T. J. Sustainability robustness and efficiency of a multi-generation breeding strategy based on within-family clonal selection. **Silvae Genetica**, Braunschweig, v. 47, p. 307-321, 1998.

SANTOS, P. E. T. de; GERALDI, I. O.; GARCIA, J. N. Estimates of genetic parameters of wood traits for sawn timber production in *Eucalyptus grandis*. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 27, n. 4, p. 567-573, May 2004.

SCHLICHTING, C. D. The evolution of phenotypic plasticity in plants. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 17, p. 667-693, 1986.

SILVA, L. T. M. **Morfometria, qualidade do tronco e da copa de *Peltophorum dubium* (Spreng) Taub. em povoamento experimental no estado do Rio Grande do Sul**. 2007. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SOUZA, M. A. M. de et al. Deformação residual longitudinal e sua relação com algumas características de crescimento e da madeira em clones de *Eucalyptus*. **Floresta**, Curitiba, v. 33, n. 3, p. 275-284, set./dez. 2004.

TELEWSKI, F. W. A unified hypothesis of mechanoperception in plants. **American Journal of Botany**, Saint Louis, v. 93, n. 10, p. 1466-1476, 2006.

TOMPKINS, E. L.; ADGER, W. Does adaptive management of natural resources enhance resilience to climate change? **Ecology and Society**, Nova Scotia, v. 9, n. 2, p. 10, 2004.

TIMELL, T. E. **Compression wood in gymnosperms**. New York: Springer-Verlag, 1986. 3 v.

TOLFO, A. L. T. et al. Parâmetros genéticos para caracteres de crescimento, de produção e tecnológicos da madeira em clones de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 67, p. 101-110, abr. 2005.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F. Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 7, p. 633-638, jul. 2005.

TRUGILHO, P. F. et al. Deformação residual longitudinal (DRL) e sua relação com as características de crescimento da árvore em clones de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 130-137, abr./jun. 2007.

VALLADARES, F.; GIANOLI, E.; GÓMEZ, J. M. Ecological limits to plant phenotypic plasticity. **New Phytologist**, Lancaster, v. 176, p. 749-763, 2007.

VALLE, M. L. A. **Estratégias de seleção de clones de *Toona ciliata* M. Roemer var. *australis* para biomecânica de árvores e qualidade da madeira**. 2014. 71 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

VAN VYK, J. L. Hardwood sawmilling can have a bright future in South Africa. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n. 109, p. 47-53, Dec. 1978.

VIDAURRE, G. B. et al. Propriedades da madeira de reação. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 26-37, jan./mar. 2013.

WAGHORN, M. J.; WATT, M. S. Stand variation in *Pinusradiata* and its relationship with allometric scaling and critical buckling height. **Annals of Botany**, London, v. 111, n. 4, p. 675-680, 2013.

WILHELMY, V.; KUBLER, H. Stresses and cheks in log ends from relieved growth stresses. **Wood Science**, Madison, v. 6, n. 2, p. 136-142, 1973.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. Viçosa, MG: UFV, 2009. 272 p.