



**LUCAS RODRIGUES ROSADO**

**PARÂMETROS GENÉTICOS EM TESTE DE  
PROCEDÊNCIAS E PROGÊNIES DE *TOONA*  
*CILIATA M. ROEMER VAR. AUSTRALIS***

**LAVRAS – MG  
2015**

**LUCAS RODRIGUES ROSADO**

**PARÂMETROS GENÉTICOS EM TESTE DE PROCEDÊNCIAS E  
PROGÊNIES DE *TOONA CILIATA* M. ROEMER VAR. *AUSTRALIS***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciências Florestais, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientadora

Dra. Dulcinéia de Carvalho

**LAVRAS - MG  
2015**

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

Rosado, Lucas Rodrigues.

Parâmetros genéticos em teste de procedências e progênies de  
*Toona ciliata* M. Roemer var. *australis* / Lucas Rodrigues Rosado.  
– Lavras: UFLA, 2015.

68 p.

Dissertação (mestrado acadêmico) – Universidade Federal de  
Lavras, 2015.

Orientador (a): Dulcinéia de Carvalho.

Bibliografia.

1. Melhoramento genético florestal. 2. Flambagem. 3. Vento. 4.  
Esbelteza. 5. Ganho genético. I. Universidade Federal de Lavras. II.  
Título.

**LUCAS RODRIGUES ROSADO**

**PARÂMETROS GENÉTICOS EM TESTE DE PROCEDÊNCIAS E  
PROGÊNIES DE *TOONA CILIATA* M. ROEMER VAR. *AUSTRALIS***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADO em 09 de julho de 2015.

Dr. Alisson Moura Santos	EMBRAPA/FLORESTA
Dr. Lucas Amaral de Melo	UFLA
Dra. Flávia Maria Avelar Gonçalves	UFLA

Dra. Dulcinéia de Carvalho  
Orientadora

**LAVRAS - MG  
2015**

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos ao Dr. Sebastião C. da Silva Rosado, que além de ser pai, me guiou diariamente no percurso da Eng. Florestal. Seu conhecimento amplo e suas constantes ajudas na parte técnica e teórica foram essenciais no sucesso desta pesquisa de dissertação.

A minha orientadora, Dra. Dulcinéia de Carvalho, por me acolher no Laboratório de Conservação Genética de Espécies Florestais e por confiar em mim. Obrigado por sempre estar disponível para acompanhar o andamento desta dissertação.

Obrigado aos membros da banca, Dra. Flávia Maria Avelar Gonçalves, Dr. Lucas Amaral de Melo e ao Dr. Alisson Moura Santos, pelas críticas, sugestões e correções que me ajudaram a melhorar este trabalho.

Agradeço, também, à Pós-Graduação em Engenharia Florestal, à Universidade Federal de Lavras (UFLA), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Associação dos Produtores Florestais do Sudoeste de Minas Gerais (APFLOR) e à empresa Bela Vista Florestal, pois o suporte administrativo, financeiro e estrutural é essencial para o desenvolvimento de pesquisas.

A todos os meus amigos que participaram direta e indiretamente neste trabalho. Vocês foram igualmente importantes nessa caminhada.

Acima de tudo, um agradecimento especial para minha família, por desempenhar um importante papel em todos os meus sucessos em geral. O apoio contínuo e a presença de vocês, em todos os momentos, me deram forças para continuar esse caminho acadêmico.

## RESUMO

Os aumentos das dimensões das árvores, pelo melhoramento genético, sem considerar as suas arquiteturas, podem torná-las mecanicamente instáveis diante de situações de ventos fortes. Como consequências podem ocorrer quedas, quebras e flambagem permanente dos fustes, ocasionando perdas econômicas e danos ambientais. No presente estudo teve-se como objetivo estimar parâmetros genéticos e prever os ganhos para produção de madeira com melhorias na arquitetura das árvores. Utilizou-se um teste de procedências/progênes/plantas de *Toona ciliata* M. Roemer var. *australis*, implantado em Campo Belo, MG, com 74 meses de idade. Esse teste envolveu 12 procedências de sementes com ampla distribuição na costa leste australiana. Dados de diâmetro à altura do peito (DAP), altura total da árvore (Ht), volume (Vol), coeficiente de esbelteza ( $CE=Ht.DAP^{-1}$ ) e forma do fuste (For), aos 31, 54 e 74 meses de idade, foram obtidos em indivíduos de 63 progênes de todas as procedências. Os parâmetros genéticos e a predição dos valores genotípicos foram estimados pelo método REML/BLUP. Observou-se grande variabilidade genética entre e dentro das procedências, mostrando que o teste possui um importante papel para o melhoramento e conservação da espécie *ex situ*. Considerando o critério de se ter maior frequência de árvores com CE menor ou igual a 0,75, estabelecido pelo valor médio da população, verificou-se que o DAP das árvores com 54 meses de idade foi a característica mais apropriada para a seleção, dado o maior tamanho efetivo da população selecionada. Assim, nessa idade de 54 meses, foram estimados os valores de herdabilidade no sentido restrito de 0,34, 0,37, 0,31, 0,14 e 0,29, respectivamente, para as características DAP, Ht, Vol, CE e For. As correlações genéticas entre DAP x Ht, DAP x Vol e Ht x Vol, foram de 0,92, 0,96 e 0,88, respectivamente. As correlações genéticas entre as características de crescimento e arquitetura do fuste como: DAP x CE, DAP x For, Ht x CE e Ht x For foram, respectivamente de -0,51, 0,69, -0,20 e 0,68. Para os ganhos correlacionados, o DAP foi a melhor característica preditora para melhorar a produção de madeira e o CE. Por outro lado, a seleção pela altura como característica preditora de ganho correlacionado deve ser evitada, pois o volume de madeira pode ser aumentado, porém sem que ocorram as desejáveis reduções de CE e consequentemente na melhoria da estabilidade mecânica das árvores.

Palavras-chave: Melhoramento genético florestal. Flambagem. Vento. Esbelteza. Ganho genético.

## ABSTRACT

The increase the dimensions of the trees, by genetic improvement, without considering their architectures can make them mechanically unstable in situations of high winds. As consequence may occur falls, breaks and permanent buckling of stems, causing economic losses and environmental damage. In the present study had as objective to estimate genetic parameters and predict wood production gains with improvements in the trees architecture. It was used a test of provenances/progenies/plants of *Toona ciliata* M. Roemer var. australis, established in *Campo Belo, MG*, with 74 months old. This test involved 12 provenances of seeds widely distributed in the Australian east coast. Data of diameter to breast height (DBH), total tree height (Ht), volume (Vol), slenderness coefficient ( $S = \text{Ht} \cdot \text{DBH}^{-1}$ ) and stem form (For), at 31, 54 and 74 months of age, there were obtained in individuals of 63 progenies from all provenances. The genetic parameters and prediction of genotypic values were estimated by REML/BLUP method. There was great genetic variability among and within provenances, showing that the test has an important role for the improvement and conservation of the species *ex situ*. Whereas the criterion of having a higher frequency of trees with low S or equal to 0.75, established by the average value of the population, it was found that DBH of the trees with 54 months of age was the most suitable characteristic for the selection, given the large size effective of the population selected. Thus, in this age 54 months were estimated heritability values in the narrow sense of 0.34, 0.37, 0.31, 0.14 and 0.29, respectively, for the characteristics DBH, Ht, Vol, S and For. Genetic correlations among DBH x Ht, DBH x Vol and Ht x Vol, were 0.92, 0.96 and 0.88, respectively. The genetic correlations between the growth characteristics and stem architecture as: DBH x S, DBH x For, Ht x S and Ht x For were, respectively -0.51, 0.69, -0.20 and 0.68. For related gains, the DBH was the best predictor feature to improve the wood production and the S. On the other hand, the selection by height as the characteristic gain predictor correlated should be avoided, since the timber volume can be increased, but without occurring desirable reductions of S and thus, improving the mechanical stability of the trees.

Keywords: Forest tree improvement. Buckling. Wind. Slenderness. Genetic gain.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Tabela 1	Coefficientes de variação genotípica (CV <sub>g</sub> ), ambiental (CV <sub>e</sub> ), herdabilidade clonal (h <sup>2</sup> <sub>c</sub> ) e ganho genético (G%), estimados em testes clonais de <i>Eucalyptus</i> .....	23
Tabela 2	Relação das procedências de <i>Toona ciliata</i> com as respectivas informações regionais das sementes importadas da Austrália (progênes).....	29
Tabela 3	Percentual de sobrevivência das árvores e desvio padrão em teste de progênie de meio-irmãos, registrados por procedência das sementes de <i>Toona ciliata</i> var. <i>australis</i> , aos 31 meses de idade.....	35
Tabela 4	Análise de deviance (ANADEV) para os caracteres de diâmetro à altura do peito (DAP), altura total do fuste (Ht), coeficiente de esbelteza (CE), forma do fuste (For) e volume (Vol), medidos em teste de procedência/progênes/planta de <i>Toona ciliata</i> , aos 31, 54 e 74 meses de idade de cultivo em Campo Belo-MG.....	37
Tabela 5	Estimativas dos componentes de variâncias para as características DAP, Ht, Vol, CE e For, realizadas em nível de indivíduos de famílias de meio-irmãos de <i>Toona ciliata</i> , aos 31, 54 e 74 meses de idade.....	41
Tabela 6	Valores de correlação fenotípica, genotípica e residual para as características de diâmetro a altura do peito (DAP), altura total (Ht), coeficiente de esbelteza (CE), volume (Vol) forma do fuste (For), nas idades de 31, 54 e 74 meses. Todos os valores foram significativos a 1% de probabilidade pelo teste t.....	45
Tabela 7	Ganhos genéticos (ΔG), respostas correlacionadas (ΔRC) e eficiências relativas (ER) nas seleções de indivíduos de <i>Toona ciliata</i> .....	49
Figura 1	Distribuição mundial de <i>Hypsipyla grandela</i> e <i>H. robusta</i> e de seus hospedeiros <i>Swietenia</i> , <i>Cedrela</i> , <i>Khaya</i> , <i>Toona</i> e <i>Chukrasia</i> .....	15
Figura 2	Distribuição geográfica das procedências de cedro australiano na costa leste da Austrália.....	28
Figura 3	Número ideal (NI) de indivíduos para se obter 100% das árvores com CE menor ou igual a 0,75 para <i>Toona ciliata</i> .....	48



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>Descrição, ocorrência e usos da madeira do cedro australiano.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>Potencialidades silviculturais do cedro australiano.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3</b>	<b>Melhoramento genético de espécies florestais.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Variação entre e dentro de espécies florestais.....</b>	<b>19</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Parâmetros genéticos e seleção.....</b>	<b>20</b>
<b>2.4</b>	<b>Evidências para a variação genética e melhoramento do cedro australiano.....</b>	<b>24</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
<b>3.1</b>	<b>Material biológico.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2</b>	<b>Local e caracterização da área experimental.....</b>	<b>29</b>
<b>3.3</b>	<b>Instalação, condução dos experimentos e coleta dos dados.....</b>	<b>30</b>
<b>3.4</b>	<b>Estimativas dos parâmetros genéticos e estatísticos.....</b>	<b>31</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>34</b>
<b>4.1</b>	<b>Sobrevivência.....</b>	<b>34</b>
<b>4.2</b>	<b>Variabilidade entre procedências e progênies.....</b>	<b>35</b>
<b>4.3</b>	<b>Parâmetros genéticos.....</b>	<b>38</b>
<b>4.4</b>	<b>Correlações genéticas, fenotípicas e ambientais.....</b>	<b>42</b>
<b>4.5</b>	<b>Ganhos genéticos e respostas correlacionadas nas seleções.....</b>	<b>47</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>54</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>56</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>66</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As dimensões e a massa da árvore, forma e inclinação do seu fuste podem assumir grandezas que impõem limitações biomecânicas para o autossuporte das cargas exercidas pela gravidade e arraste do vento. Por meio do dimensionamento dessas características da árvore e com o emprego de modelos apropriados, podem-se prever o fator de segurança ( $f$ ) que define o limite para a sua segurança de autossuporte e, conseqüentemente, para que permaneça na condição de estabilidade (ALMÉRAS; FOURNIER, 2009; BRUCHERT; GARDINER, 2006; MACMAHON, 1976; NIKLAS; SPATZ, 2000; SPATZ; BRÜECHERT, 2000).

A estabilidade de árvores, diante dessas forças da natureza, está associada ao grau de deslocamento de massa em relação ao presumível eixo vertical do fuste (ALMÉRAS; FOURNIER, 2009; KING, 1986), ao nível de esbelteza do fuste (KING et al., 2009; SELLIER; FOURCAUD, 2009) e a área de vela da copa, isto é, a área de copa que intercepta o vento (NIKLAS; SPATZ, 2006; PELTOLA; KELLOMÄKI, 1993).

As cargas exercidas pelo vento, dependendo de sua grandeza, provocam consideráveis danos aos povoamentos florestais. A queda, a quebra e flambagem de fustes causam expressivas perdas econômicas (HANEWINKED; PEYRON, 2013; ZENG et al., 2004) e ambientais decorrentes da perda de habitats, seja por danos nas bordas ou pelas aberturas de clareiras em povoamentos florestais (PELTOLA; GARDINER; NICOLL, 2013). Perdas consideráveis também são relacionadas à redução do rendimento da madeira e ao aumento no custo de condução da floresta em decorrência da necessidade de desbastes não programados (PELTOLA; KELLOMÄKI; VÄISÄNEN, 1999).

Mesmo nas condições de ventos não tão fortes e danosos, porém dominantes, pode ocorrer a redução do valor comercial de toras decorrente da

flambagem e/ou inclinação do fuste que induzem a formação de lenho de reação (FOURCAUD; LAC, 2003; PLOMION; LEPROVOST; STOKES, 2001). A formação desse lenho é consequência de uma reação gravimétrica (WILSON; ARCHER, 1977) que decorre de um padrão de crescimento assimétrico da árvore que é induzido, principalmente, pela força de arraste do vento (ALMÉRAS; FOURNIER, 2009). Além disso, essa reação gravimétrica pode gerar tensões de crescimento aumentadas e assimétricas que, geralmente, são observadas em torno da circunferência do fuste (ALMÉRAS; FOURNIER, 2009; TRUGILHO et al., 2006).

As relações entre as forças da natureza e seus consequentes estresses impostos às árvores ainda necessitam ser mais bem compreendidas. Contudo, o que já se conhece é que os níveis de danos e a vulnerabilidade das árvores são inversamente proporcionais às suas capacidades de autossuporte em termos de resistência mecânica da madeira e são diretamente ligadas às configurações arquitetônicas das árvores.

Entre as propriedades da madeira que confere resistência mecânica do fuste, destacam o módulo de elasticidade de Young (MOE) e a densidade da madeira (Db) como é descrito por Niklas (1994), Waghorn e Watt (2013) e Watt et al. (2006). Entre as configurações arquitetônicas das árvores, destaques são dados para o coeficiente de esbelteza (CE) do fuste (ALMÉRAS; FOURNIER, 2009; ANCELIN; COURBAUD; FOURCAUD, 2004; STERCK; BONGERS, 1998; WATT et al., 2006) que é definido pela razão entre a sua altura total (Ht) e o seu diâmetro a 1,3 m da superfície do solo (DAP). A grande importância dessa relação alométrica se dá pela sua inerente facilidade de coleta de dados de Ht e DAP, bem como na sua qualidade como suporte nas decisões de escolhas de práticas silviculturais adequadas para a minimização dos danos causados pelos ventos (KAMIMURA et al., 2008; MOORE et al., 2003).

Do ponto de vista do melhoramento genético de árvores, frequentemente, o que se tem feito é o aumento de suas dimensões com o objetivo de se alcançar maior produção, tanto em termos de volume, quanto de massa. Como a estabilidade mecânica das árvores não foi considerada nesse tipo de melhoramento, as florestas plantadas se tornaram mais vulneráveis às forças do vento. Essa vulnerabilidade é ainda maior nas florestas clonais que têm árvores com plasticidade fenotípica reduzida e que podem ter fustes com reduzido grau de resiliência devido à ausência ou à pouca variabilidade genética.

Por essa razão e pelos efeitos dos ambientes modificados pelas variações climáticas, a referida vulnerabilidade e seus consequentes impactos econômicos devem ser incluídos nas pautas de discussão específicas para considerar o melhoramento genético da produtividade florestal alinhado com o melhoramento das propriedades de resistência das árvores contra as forças do vento e tempestade.

Normalmente, há o interesse de que os testes genéticos sejam mantidos íntegros no campo e por tempo indefinido. Por isso, torna-se necessário o aperfeiçoamento de técnicas que possam avaliar essas propriedades da madeira em árvores vivas de modo preciso e com o mínimo de dano possível. Esse interesse se torna ainda maior quando se tratam de testes combinados de procedência, progênes e plantas, visto que eles são importantes unidades de conservação genética que prestarão suporte aos futuros programas de melhoramento.

A avaliação do alcance de ganhos genéticos no fator de segurança ( $f$ ) das árvores estimado com dados de módulo de elasticidade específico, obtidos em árvores vivas, ainda carece de estudos preliminares. Para contornar essa lacuna, o melhoramento de ( $f$ ) deverá ser pela redução da relação alométrica de CE, visto que essa relação é altamente e inversamente correlacionada com ( $f$ ) e que

pode ser indicada por resultados apresentados na literatura (VALLE, 2014; WAGHORN; WATT, 2013).

Portanto, o presente estudo teve o objetivo geral de estimar parâmetros genéticos e prever os ganhos para produção de madeira com melhorias na arquitetura das árvores.

Os objetivos específicos foram:

- i) estimar os parâmetros genéticos e prever os valores genotípicos de indivíduos em teste combinado de procedência e progênies de polinização livre em *Toona ciliata*;
- ii) estimar correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais entre as características de arquitetura do fuste e de crescimento das árvores;
- iii) estimar ganhos genéticos diretos e correlacionados na arquitetura do fuste pela seleção nas características de crescimento; e
- iv) propor uma metodologia para alinhar o melhoramento das dimensões da árvore com as propriedades arquitetônicas que conferem estabilidade mecânica contra as forças de arraste pelo vento.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Descrição, ocorrência e usos da madeira do cedro australiano

A subfamília Swietenioideae, pertencente à família Meliaceae, é constituída por várias espécies arbóreas tropicais que produzem as mais valiosas madeiras para uso na indústria moveleira e da construção civil. Nessa família estão incluídos os gêneros *Cedrela*, *Toona*, *Swietenia*, *Khaya* e *Chukrasia* (BYGRAVE; BYGRAVE, 2005).

Entre as espécies dessa subfamília destaca-se o cedro australiano (*Toona ciliata* M.Roeme var *australis*), que é uma árvore de rápido crescimento, podendo alcançar de 20-30 m de altura (WORLD AGROFORESTRY CENTRE, 2006). Ricken et al. (2011) relatam dimensões de árvores que podem alcançar altura de 40 metros e diâmetro de 3 metros.

A *T. ciliata* tem ocorrência natural na Índia, sudeste da Ásia e Austrália. As principais pragas das espécies da subfamília Swietenioideae são a *Hypsipila grandela* e *Hypsipila robusta* e as suas amplitudes de ocorrência bem como das respectivas espécies hospedeiras estão representadas na figura 1.

A *T. ciliata* tem hábitat natural em regiões de climas subtropicais. Na origem tem ocorrências em altitudes que variam de 0 a 1500 m e com precipitação média anual variando de 750- 4000 mm. Prefere solos férteis, profundos e bem drenados. A sua madeira apresenta alborno com coloração amarelo-marrom, rosado-branco ou pálido e o cerne marrom pálido. O cerne é moderadamente resistente à decomposição. A madeira apresenta densidade moderada e apresenta ampla utilização, como por exemplo: na construção de mobílias de luxo e embarcações, na produção de compensados, laminados, ornamento de interior, marcenaria, instrumentos musicais, caixas e engradados, entre outros. Relata-se também a extração de taninos e de substâncias de uso na produção de inseticidas e medicamentos (WORLD AGROFORESTRY CENTRE, 2006).

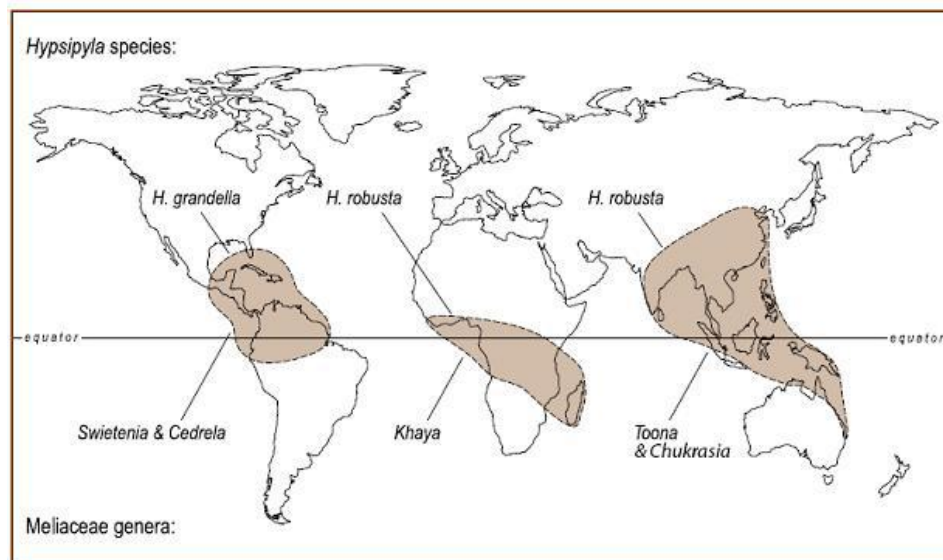


Figura 1 Distribuição mundial de *Hypsipyla grandella* e *H. robusta* e de seus hospedeiros *Swietenia*, *Cedrela*, *Khaya*, *Toona* e *Chukrasia*  
 Fonte: (BYGRAVE; BYGRAVE, 2005)

## 2.2 Potencialidades silviculturais do cedro australiano

O grande potencial de crescimento em áreas reflorestadas, a excelente forma do fuste e qualidade da madeira colocam o cedro australiano como uma das principais espécies, para uso em projetos de reflorestamento.

O primeiro reflorestamento com *T. ciliata* ocorreu no Zimbábue em 1903. Nesse país, atualmente, essa espécie é uma das mais plantadas. Em Zâmbia o emprego da *T. ciliata* em reflorestamentos ocorre desde 1917 e com resultados satisfatórios em altitudes de até 1200 m. A *T. ciliata* também é extensivamente plantada na Tanzânia, África do Sul e Uganda (WORLD AGROFORESTRY CENTRE, 2006).

Nas áreas de ocorrência natural, a *T. ciliata* tem o crescimento significativamente reduzido em decorrência do ataque da *Hypsipyla robusta*. Os

intensos ataques nas plantações comerciais caracterizam o lepidóptero como uma das principais pragas da *T. ciliata* (CUNNINGHAM; FLOYD, 2006).

Apesar de muitos anos de pesquisa, não há ainda nenhuma estratégia economicamente viável para o seu controle. Somente nos últimos anos a experimentação com materiais genéticos de diferentes procedências e progênies tem mostrado que a seleção de material apropriadamente resistente ou tolerante à referida praga pode se constituir em uma estratégia promissora (BYGRAVE; BYGRAVE, 2005).

Com relação ao emprego desta estratégia, Cunningham e Floyd (2002) apresentam resultados que evidenciam que árvores de *T. ciliata*, provenientes de Atherton na Austrália, produziram troncos com maiores dimensões em Laos, Tailândia e Filipinas. Isso mostra que as seleções genéticas entre e dentro de procedências podem propiciar maior crescimento das árvores e gerar troncos mais altos, sem perda da dominância apical e com maior valor comercial.

Cunningham e Floyd (2004), estudando a composição química de árvores de *T. ciliata* por meio de espectroscopia do infravermelho próximo (NIR) para prever a variação na intensidade de ataques de *H. robusta* sugeriram a existência de uma ligação entre as características químicas das folhas das árvores hospedeiras e o comportamento da *H. robusta*.

*H. robusta* tem uma ocorrência natural bem mais ampla que a *H. grandella*. A ocorrência da primeira é observada de leste a oeste da África, bem como na Ásia/pacífico, enquanto que a segunda tem ocorrência natural na América do sul tropical e central, bem como no Caribe e Flórida (CUNNINGHAM; FLOYD, 2006).

No Havaí, a *T. ciliata* é cultivada desde 1914 e nenhuma incidência da *H. robusta* foi observada. Em 1959 a área reflorestada para produção de madeira foi da ordem de 1600 ha (ARES; FOWNES, 2000).



Na Austrália, onde a *T. ciliata* é nativa e intensamente atacada pela *H. robusta*, vários experimentos foram instalados em Queensland por Cameron e Jermyn (1991) para avaliar o seu desenvolvimento e crescimento em condições de plantios em sub-bosque de cultivos de *Grevillea robusta*, *Araucaria cunninghamii*, *Agathis robusta* e *Flindersia brayleyana*. Esses autores concluíram, com base em dados colhidos aos três anos de idade, que a *T. ciliata* apresenta os melhores incrementos quando cultivada sob as árvores de *F. brayleyana* e *G. robusta*.

Os resultados obtidos por Keenan, Lamb e Sexton (1995), também, no estado de Queensland e em plantios puros de *T. ciliata* e em mistos com *G. robusta*, em diferentes idades, evidenciaram maior sobrevivência e menor ataque de *H. robusta* quando a *T. ciliata* é cultivada no sub-bosque de árvores mais velhas de *G. robusta*. Como forma de manejo desses plantios mistos, esses autores sugeriram a retirada das árvores de *G. robusta* aos dez anos e o corte raso da *T. ciliata* aos 50 anos, produzindo cerca de 150 árvores por ha.

Um exemplo de plantios bem sucedidos de árvores de *T. ciliata* pode ser observado em Kempsey - New South Wales. Em 1986 o Kempsey Shire Council plantou árvores de *T. ciliata* na arborização de uma rodovia na costa do Pacífico. Em 2005, segundo Bygrave e Bygrave (2005) essas árvores exibiam alturas de 10 a 15 metros e diâmetros em torno de 30 cm.

Em condições brasileiras as pesquisas com *T. ciliata* são poucas e não há relatos de ataque de *H. robusta* e nem de *H. grandella* em plantações comerciais, tornando essa espécie potencialmente apta para reflorestamento, principalmente no Sudeste, onde o seu crescimento em plantios puros é bastante destacado e o seu cultivo consorciado em sistemas agroflorestais tem sido apontado como uma boa alternativa de renda para as pequenas e médias propriedades rurais (CARDOSO et al., 2004).

Há relatos de plantios comerciais no Brasil que apresentam, aos dez anos de idade, um estoque volumétrico da ordem de  $150 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ . Nessa taxa de crescimento pode-se prever uma idade de rotação de 12 anos, dependendo das condições do povoamento (SOUZA; BARROSO; CARNEIRO, 2010). Recente estudo conduzido por Nassur et al. (2013) mostrou que toras produzidas no Espírito Santo, em uma rotação de 18 anos, são altamente qualificadas para as operações de desdobro.

### **2.3 Melhoramento genético de espécies florestais**

O melhoramento genético no contexto florestal brasileiro é uma ciência nova e, principalmente, tem focado as espécies exóticas dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*. Para as essências nativas, os estudos de melhoramento genético são consideravelmente escassos.

Em um programa de melhoramento genético, fundamentado na seleção, pressupõe-se a existência de variabilidade genética herdável, na qual se pode aplicar uma determinada intensidade de seleção para alcançar ganhos, nas características de interesse, nas gerações subsequentes. Esses programas, quando aplicados para essências florestais, normalmente visam ao aumento da produtividade, resistência a pragas e doenças e a qualidade do tronco e da madeira. Isso pode ser alcançado pelo uso da variabilidade genética entre e dentro de procedências distintas, bem como pela implementação da hibridação intra e interespecífica entre as espécies de interesse e compatíveis. Portanto, a estimativa da variação genética e outros parâmetros genotípicos, fenotípicos e ambientais são necessários para a predição do ganho e a escolha da melhor e da mais viável estratégia de melhoramento genético (KAGEYAMA, 1980).

### 2.3.1 Variação entre e dentro de espécies florestais

Para o melhoramento genético florestal, as variações clinais e ecotípicas se manifestam entre e dentro de regiões geográficas e o reconhecimento dos seus padrões e magnitudes são fundamentais para o estabelecimento das estratégias de melhoramento genético. Nessas variações, principalmente nas ecotípicas, é que surgem as teorias evolucionárias e adaptativas das espécies diante das alterações ambientais (MAYR, 1954).

Além da proteção contra as mudanças ambientais e climáticas, essas variações constituem as bases para a seleção e cruzamento, principalmente, em hibridações intraespecíficas, as quais são importantes mecanismos de adaptação no contexto da evolução biológica (GIENAPP et al., 2008; HOFFMANN; SGRO, 2011). Assim, tais variações desempenharão importantes papéis na mitigação dos efeitos negativos das atuais e futuras variações climáticas (MILIEN et al., 2006).

Wright (1964) ressalta que definir a natureza da variação envolvida em uma espécie florestal é de fundamental importância em um programa de melhoramento e, principalmente no caso da variação ecotípica, é importante conhecer os seus limites, tendo em vista que ela está relacionada com a plasticidade fenotípica das espécies e frequentemente pode ser reconhecida como um fenômeno mitigador dos efeitos da interação de genótipos por ambiente (VIA; LANDE, 1985) ou também, pode estar relacionada com um dos maiores mecanismos do processo evolucionário (JONG, 2005).

Kageyama (1980) cita que, dentro de uma espécie com ampla distribuição geográfica, a variação genética entre populações, seja ela clinal ou ecotípica, é muito maior que aquelas existentes em famílias selecionadas em uma mesma população e em um mesmo local.

### 2.3.2 Parâmetros genéticos e seleção

Os testes de progênies, tanto a partir de sementes de polinização livre, quanto de cruzamentos controlados, são de grande importância nos programas de melhoramento, já que é a partir deles que se pode avaliar o valor genético aditivo para selecioná-los (RESENDE, 2002).

Namkoong, Snyder e Stonecypher (1966), por sua vez, propõe a utilização de um pomar de sementes por mudas a partir da seleção dos melhores indivíduos das melhores famílias avaliadas nos testes de progênies, não sendo necessário retornar às árvores matrizes, que originaram as progênies. Este autor relata, ainda, que para a condução da mencionada ação se deve conhecer os valores genotípicos dos melhores indivíduos, para dar continuidade ao processo, através das seleções recorrentes.

Robinson e Cockerham (1965) demonstram que os principais parâmetros genéticos de interesse a serem estimados são as variâncias genéticas (aditivas e não aditivas), o coeficiente de herdabilidade (sentido amplo e restrito), as interações entre os efeitos genéticos e ambientais e as correlações genéticas.

Kageyama (1980) descreveu que os objetivos principais a serem alcançados com a estimativa dos parâmetros genéticos são basicamente a predição de ganhos provenientes da seleção e como realizar as estratégias alternativas para o melhoramento genético

O conhecimento da herdabilidade é um dos principais objetivos no estudo genético para as características quantitativas ou métricas. O reconhecimento da sua magnitude orienta a tomada de decisões e de procedimentos a serem empregados no processo de melhoramento genético. Do ponto de vista da reprodução sexuada, o termo herdabilidade no sentido restrito é quantitativamente e conceitualmente conhecido como sendo a relação entre a variação genética aditiva e variação fenotípica para uma característica de

interesse econômico, ou seja, ela é uma medida da confiança em se expressar o valor genético a partir do valor fenotípico (FALCONER; MACKAY, 1996). Este parâmetro também pode ser expresso no sentido amplo, envolvendo a variação genética total (aditiva e não aditiva) em relação à variação fenotípica. O coeficiente de herdabilidade pode variar de 0 a 1, ou seja, característica sem qualquer controle genético em comparação com característica com total controle genético. Teoricamente, para o primeiro caso, diz-se que a característica é altamente influenciada pelo ambiente e para o segundo diz-se que ela é altamente influenciada pelos efeitos genéticos.

Kageyama (1983) cita que as magnitudes dos parâmetros genéticos variam com a idade dos indivíduos. Isso foi observado em *Eucalyptus grandis*, havendo maior correlação genética entre 2 e 5 anos de idade, do que entre 1 e 2 anos e 1 e 5 anos. Isso, segundo o autor, demonstra a possibilidade de seleção precoce somente a partir dos 2 anos de idade em *E. grandis*.

Normalmente, as características de crescimento apresentam valores de herdabilidade que variam de baixo a médio. Mesmo assim, em *Eucalyptus*, ganhos no crescimento da ordem de 60% podem ser obtidos no primeiro ciclo de seleção (ROSADO; TRUGILHO; LIMA, 2002).

Por outro lado, as características da madeira apresentam herdabilidade com valores que podem ser considerados de médio a alto. Isso, dependendo dos níveis de variação genética nas populações florestais de interesse, pode propiciar ganhos genéticos (Tabela 1) de alta magnitude para, assim, produzir madeiras com alta agregação de valor.

Quando se alcança ganhos genéticos significativos, na taxa de crescimento das árvores, os materiais gerados a partir da seleção e multiplicados de forma massal podem propiciar a prática de cortes precoces das árvores. A madeira produzida dessa forma, apesar de apresentar uma alternativa potencial de produção de energia e de papel e celulose, apresenta algumas restrições próprias e inerentes ao uso de florestas jovens, em que os níveis de tensão de crescimento se manifestam de

forma mais proeminente do que em florestas maduras. Há ainda outros obstáculos adicionais ao seu uso, como a ocorrência de colapso, nós, empenamentos, variação dimensional, entre outros (ROSADO; TRUGILHO; LIMA, 2002).

Devido a esses problemas, torna-se evidente a necessidade do desenvolvimento de programas de melhoramento florestal que procurem solucionar ou minimizar tais inconvenientes. Os pontos fundamentais na implementação desses programas são a existência de variabilidade nas propriedades tecnológicas e o grau de controle genético na expressão das mesmas (ZOBEL; TALBERT, 1984). A existência desses pontos em níveis satisfatórios gera ganhos quantitativos expressivos nas características sob seleção. Contudo, dois preceitos nessa ação devem ser ressaltados: o primeiro é que a seleção apresenta respostas efetivamente favoráveis se recair sobre diferenças herdáveis e o segundo é que a seleção não cria variabilidade, atuando apenas sobre a que já existe (ALLARD, 1999).

Na tabela 1 verifica-se, também, que a DRL (Deformação Residual Longitudinal), característica que permite avaliar as tensões de crescimento em árvores vivas, apresenta alta herdabilidade e permite a obtenção de 28,2% de ganho pela seleção de 1 em 10 clones avaliados. Souza (2002), com os resultados resumidos na tabela 1, mostrou que ganhos genéticos diretos da ordem de 75% podem ser alcançados nos índices de rachaduras das tábuas após desdobro, também efetuando a seleção de 1 em 10 clones.

Contudo, no melhoramento florestal deve-se ficar atento para o fato de que em um conjunto de genótipos selecionados pode ocorrer comportamentos diferenciados em relação aos diversos ambientes nos quais são cultivados, isto é, genótipos que são superiores em um ambiente podem não apresentar a mesma resposta em outro ambiente. A esse comportamento diferencial entre genótipos em relação a diferentes ambientes dá-se o nome de interação genótipos por ambientes (KAGEYAMA, 1980).

Tabela 1 Coeficientes de variação genotípica ( $CV_g$ ), ambiental ( $CV_e$ ), herdabilidade clonal ( $h^2_c$ ) e ganho genético (G%), estimados em testes clonais de *Eucalyptus*

Propriedades da madeira	$CV_g$ (%)	$CV_e$ (%)	$h^2_c$	G (%)*
DRL (Souza, 2002)	30,6	12,8	94,0	28,2
IR (Souza, 2002)	48,2	30,1	88,8	75,0
DB (Moura, 2000)	8,9	4,3	98,5	12,0
CR (Moura, 2000)	13,0	10,3	96,0	10,9
CT (Moura, 2000)	15,7	7,9	98,0	12,1
CV (Moura, 2000)	15,0	9,0	98,0	4,9
EC (Moura, 2000)	17,3	12,4	97,0	12,8
Ef (Moura, 2000)	8,9	9,4	93	9,2

Propriedades: DRL (Deformação Residual Longitudinal); IR (índice de rachamento de tábuas); CR, CT e CV (contração radial, tangencial e volumétrica da madeira); Ec e Ef (módulos de elasticidade – compressão e flexão). \* Ganhos previstos pela seleção de 10%.

Kageyama (1980) descreve que as interações entre genótipos e ambientes refletem as suas respostas às diferentes condições ambientais, ou seja, existe uma falta de uniformidade na resposta de dois ou mais grupos de plantas, em dois ou mais ambientes. Segundo Zobel e Talbert (1984) quando um teste genético é implantado em um local, os componentes da variação genética e da interação genótipos por ambientes são confundidos e não podem ser separados, isso pode conduzir a uma superestimativa dos ganhos na seleção.

Vencovsky e Barriga (1992) citam que, como estratégias de melhoramento genético de plantas existem duas linhas básicas a serem seguidas. A primeira delas refere-se à obtenção de genótipos especialistas para condições específicas de ambiente, na segunda linha sugere-se a obtenção de genótipos generalistas que podem ser cultivados em condições ambientais mais abrangentes.

#### 2.4 Evidências para a variação genética e melhoramento do cedro australiano

Em um estudo utilizando aloenzimas e conduzido pela SCIRO (AUSTRALIAN TREE RESOURCES NEWS, 2002) constatou-se baixa diversidade genética em populações naturais em *T. ciliata* da Austrália, Papua Nova Guiné e Bangladesh. Pesquisas posteriores a esse resultado estão sendo conduzidas para esclarecer as razões desse baixo nível de diversidade genética.

Por outro lado, as variações entre plantas quanto às propriedades físicas da madeira e resistência ao ataque de *H. robusta* podem ser importantes. Griffiths (2000) constatou variações intraespecíficas importantes no crescimento do tronco e na descuidade das árvores de *T. ciliata* produzidas a partir de sementes colhidas de uma ampla faixa de distribuição geográfica, que se entendeu do Sudeste ao Nordeste da costa Australiana.

Variações consideráveis parecem estar associadas à fonte da semente, entre essas se destacam as diferenças na cor e no nível da folhagem, o grau de pubescência da folha e da cor avermelhada das folhas jovens. Variações em função da fonte de sementes também são verificadas no crescimento em altura (GRIFFITHS, 2000).

Importantes coleções de sementes de *T. ciliata*, cobrindo amplas áreas de ocorrência natural na costa leste da Austrália têm sido obtidas e estudadas por Larmour (1999) no sentido de avaliar as variações entre procedências, quanto à taxa de crescimento.

Na Austrália, algumas questões importantes estão sendo discutidas no que concerne às variações na resistência ao ataque da *H. robusta*, forma das árvores, dominância apical e vigor das árvores. Neste contexto, a melhor maneira de quantificar essas variações entre árvores é por meio da propagação vegetativa, tendo em vista que várias espécies de meliáceas apresentam uma boa capacidade de enraizamento (COLLINS; WALKER, 1998).

Para o melhoramento genético do cedro australiano pode-se citar a tese de Santos (2011) e o artigo publicado por Ferreira et al. (2012) que apresentaram as



evidências de que altos ganhos genéticos advindos da seleção podem ser alcançados para as condições do Sudeste do Brasil. Entretanto, os significativos ganhos genéticos mencionados por esses autores, referem-se às taxas de crescimento, sendo, portanto necessário avaliar a possibilidade de obter ganhos em características morfológicas do tronco, como por exemplo; na redução do coeficiente de esbelteza, para assim obter maior resistência à deflexão do tronco decorrente de forças estáticas causadas pelo vento (PELTOLA, 2006).

Para o cedro australiano essa característica é muito relevante, dados ao seu crescimento rápido e aos baixos valores de densidade da madeira (GONÇALVES, 2009) que reduzem a magnitude das propriedades mecânicas da madeira, principalmente a resistência à flexão (PANSIN; DE ZEEUW, 1980).

No Brasil, o cultivo do cedro australiano vem sendo amplamente difundido devido aos excelentes resultados obtidos em termos de crescimento vegetativo e adaptação às condições de solo e clima das diferentes regiões. Além disso, as suas árvores apresentam excelente forma florestal que possibilita altos rendimentos na operação de desdobro de toras (NASSUR et al., 2013). Isso se deve ao seu crescimento monopodial, sem perda da dominância apical em decorrência da resistência natural contra os ataques da broca dos cedros. Adicionalmente, ressalta-se o seu potencial para produção de madeira com qualidades comparáveis às do cedro brasileiro que são espécies produtoras de madeira com alto valor de mercado (MURAKAMI, 2008). Todas essas referidas vantagens têm demonstrado aos produtores rurais e empresários do setor madeireiro o valor do cedro australiano para novas oportunidades de negócio e geração de renda.

No Brasil, a produtividade média do cedro australiano é de cerca de 15 m<sup>3</sup>/ha/ano (PINHEIRO; LANI; COUTO, 2003). Ganhos em produtividade na atividade de reflorestamento poderão ser maiores, tendo em vista a carência de estudos em condições brasileiras, principalmente, daqueles voltados para a nutrição, melhoramento genético e clonagem do cedro australiano. Como exemplo, dos

*Eucalyptus*, que no passado apresentavam uma produtividade média de 15 m<sup>3</sup>/ha/ano e que, hoje, alcançam uma produtividade de 60 m<sup>3</sup>/ha/ano, ou seja; um aumento de 400%.

Mesmo sem almejar tamanha grandeza no ganho de produtividade, espera-se que o melhoramento genético do cedro australiano possa permitir a seleção de genótipos superiores e capazes de garantir uma maior produtividade e qualidade do tronco e da madeira a serem produzidos em futuros projetos de reflorestamento. Isso permitirá que os produtores florestais possam ter uma maior competitividade no mercado de madeira e obter um maior retorno econômico.

Do ponto de vista social e ambiental, uma floresta de cedro australiano em pequenas e médias propriedades rurais pode se constituir em uma opção altamente favorável, principalmente, em regiões onde há o predomínio da agricultura familiar e que carece de novas perspectivas para o uso sustentado da terra e para a obtenção de renda de forma duradoura e suficiente para atender às suas demandas e necessidades.

Com relação à geração de empregos, a cadeia de custódia da atividade de reflorestamento é uma das mais longas e envolve atividades que se estendem desde a produção de mudas no viveiro, passando pelas fases de implantação e exploração florestal, indo até a industrialização da madeira, principalmente para a produção de móveis e para a construção civil.

Entre os diversos gêneros de espécies arbóreas de interesse econômico, plantadas comercialmente nas zonas tropicais e subtropicais do globo, inegavelmente, o *Eucalyptus* está entre os mais bem sucedidos. Isso se deve, principalmente, ao seu rápido crescimento e à grande diversidade de espécies. No entanto, há espécies de outros gêneros com características silviculturais semelhantes e promissoras para o cultivo. A *Toona ciliata* é uma delas, destacando-se pela boa adaptação às condições de solo e clima nas diversas regiões do Brasil (SANTOS, 2011).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

O presente trabalho foi realizado com dados do programa de melhoramento genético do cedro australiano (*Toona Ciliata* M. Roemer var. *australis*) realizado por meio da parceria entre a Universidade Federal de Lavras (UFLA), a Associação dos Produtores Florestais do Sudoeste de Minas Gerais (APFLOR), a empresa Bela Vista Florestal e o Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais (IEF). Os trabalhos foram iniciados em 2007, nas dependências da empresa Bela Vista Florestal, localizadas em Campo Belo, MG, com o objetivo de definir estratégias de seleção no programa de melhoramento genético do cedro australiano.

### **3.1 Material biológico**

Uma coleção de lotes de sementes, individualmente colhidas em 192 árvores de *Toona ciliata* var. *australis* de 23 procedências australianas, foi obtida no ano de 1998 pela *Australian Tree Seed Center* (ATSC), CSIRO *Forestry and Forest Products* (LARMOUR, 1999). Da disponibilidade desses lotes, importou-se para o Brasil um total de 100 lotes englobando 16 procedências.

O ATSC constituiu essa coleção com o objetivo principal de estabelecer testes de procedências de *T. ciliata* para avaliar a variabilidade dentro e entre populações de uma ampla região de ocorrência natural. Dessa forma, as coletas de sementes se estenderam desde Kangaroo Valley, localizada ao Sul de Sydney (lat. 34°35'S) até Pascoe River, península de Cap York, localizada no Norte de Queensland (lat. 12°33'S).

Os 100 lotes importados foram semeados no ano de 2007 em tubetes de polietileno, preenchidos com 50 cm<sup>3</sup> de substrato constituído de uma mistura de casca de *Pinus*, casca de arroz carbonizada e vermiculita fina. As adubações

foram realizadas conforme protocolo usual da empresa Bela Vista Florestal para *T. ciliata*.

Um ano após a germinação foi possível produzir 3744 plantas experimentais para constituir um teste de procedências/progênes/plantas, contendo 16 procedências e 78 progênes de polinização livre.

As avaliações conduzidas em plantas jovens, antes dos 31 meses de idade, mostraram a necessidade de excluir quatro procedências (Dorrigo, Teviot Brook, Eungella e Blue Mountains) por terem somente a representação de uma ou duas progênes nessas procedências.

Portanto, foi possível estudar, em condição brasileira, a variação entre e dentro de 12 procedências australianas, localizadas entre as regiões de Kangaroo Valley e Pascoe River (Figura 2 e Tabela 2).



Figura 2 Distribuição geográfica das procedências de cedro australiano na costa leste da Austrália

Tabela 2 Relação das procedências de *Toona ciliata* com as respectivas informações regionais das sementes importadas da Austrália (progênies)

Procedência	Estado	Região	Latitude/Longitude	Nº de progênies
1	New South Wales	Allyn River	32.11S / 151.30E	7
2	Queensland	Atherton	17.19S / 145.30E	12
3	Queensland	Baldy Mountain	17.18S / 145.26E	4
4	New South Wales	Coledale Wollongong	34.17S/150.56E	4
5	New South Wales	Dairy Flat	28.26S/152.47E	6
6	New South Wales	Dorrigo*	30.14S/152.40E	2
7	Queensland	Pascoe River	12.33S/143.04E	6
8	New South Wales	Kangaroo Valley	34.38S/150.36E	8
9	Queensland	Kenilworth S.F.	26.38S/152.38E	5
10	New South Wales	Marshall Mount Woll/G	34.31S/150.44E	3
11	Queensland	Shipton Flat	15.50S/145.14E	5
12	Queensland	Teviot Brook*	28.13S/152.38E	2
13	Queensland	Eungella*	21.09S/148.29E	1
14	Queensland	Iron Range	12.44S/143.17E	6
15	New South Wales	Blue Mountains*	13.33S/143.08E	2
16	Queensland	Ubobo	24.28S/151.13E	5

\*: procedências excluídas do estudo por terem somente a representação de uma ou duas progênies.

### 3.2 Local e caracterização da área experimental

O teste de procedência/progênie foi instalado em uma área da empresa Bela Vista Florestal (Campo Belo, MG), latitude 20°53'58.89"S, 45°17'33.04"W e altitude média de 945 metros. A precipitação pluviométrica média anual é de 1250 mm com chuvas bem distribuídas e temperatura média de 23,5 °C.

### **3.3 Instalação, condução dos experimentos e coleta dos dados**

O teste de procedência/progênie foi implantado no campo em janeiro de 2008, procedendo-se a identificação das progênies com as respectivas procedências australianas. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso (DBC), três repetições e parcelas constituídas de 4 linhas x 4 plantas (16 plantas). Adotou-se uma bordadura dupla de cedro australiano em torno de todo o experimento. O espaçamento utilizado foi de 3 x 2 metros, totalizando uma área de 4,55 ha.

Antes do plantio do cedro australiano foi realizado o controle de mato competição e de formigas cortadeiras. Após procedeu-se a subsolagem do solo com realização simultânea da adubação com fosfato reativo na quantidade de 400 kg/ha. O plantio foi realizado em curvas de nível, apesar da inclinação do terreno não ser muito acentuada.

As adubações de cobertura foram feitas com 250 gramas de super-simples (00-18-00) por planta, seguidas de 260 gramas de nitrogênio e potássio (20-00-20) divididos em três operações, aos 15, 45 e 90 dias após o plantio. Na adubação aos 90 dias, foi conduzida também a adubação de 30g de FTE Br-12. Foram mantidos os tratos culturais usuais em plantios comerciais, como a capina química entre as linhas e a capina mecânica dentro da linha. Sempre que necessário foi realizado o coroamento das plantas.

As avaliações fenotípicas do teste foram realizadas em todas as 16 plantas de cada parcela nas idades de 31 meses (2010), 54 meses (2012) e 74 meses (2014). Foram coletados os dados de diâmetro a 1,3 m de altura (DAP), altura total (Ht) e forma do fuste (For).

A Forma do fuste foi caracterizada pelo seu encurvamento, sendo atribuídas quatro notas (1, 2, 3, 4). A nota 1 foi atribuída para as árvores

muito encurvadas, a nota 2 foi atribuída às árvores encurvadas em grau médio, a nota 3 foi para as árvores com pouco encurvamento e aptas para um rendimento relativamente satisfatório no processo de desdobro primário da madeira e a nota 4 foi atribuída para as árvores eretas ou com encurvamento que representam ótimos rendimentos no processo de desdobro primário.

Por meio dos dados obteve-se as características adicionais de coeficiente de esbelteza (CE), definida pela razão entre a altura total (m) e o DAP (cm), conforme descrito por Alméras e Fournier (2009), Ancelin, Courbaud e Fourcaud (2004), Sterck e Bongers (1998) e Watt et al. (2006). O volume individual (Vol) das árvores foi estimado pelo do volume cilíndrico representado pelo DAP e altura total da árvore, multiplicado pelo fator de forma  $f=0,608$  o qual foi gerado pela cubagem rigorosa de 200 árvores aleatórias no teste.

### **3.4 Estimativas dos parâmetros genéticos e estatísticos**

Utilizando as características DAP, Ht, CE, Vol e For, procederam-se as avaliações genéticas por meio de um teste de procedência/progênie de meio-irmãos conduzido em nível de indivíduos. Essas variáveis quantitativas foram analisadas pela metodologia de modelos mistos - REML/BLUP (máxima verossimilhança residual/melhor preditor linear não viesado) via programa estatístico Selegen-REML/BLUP (RESENDE, 2007).

Para análise genética do teste, adotou-se o modelo estatístico que se aplica aos testes de progênies, com várias plantas por parcela, em um único local e com várias procedências. Através desta análise classificam-se os melhores indivíduos pelos seus valores genéticos preditos, além de fornecer os parâmetros genéticos que serão utilizados para a seleção.

O modelo linear misto para as avaliações genéticas em nível de indivíduo, conforme Resende (2002) é dado por:

$$y = Xb + Za + Wc_1 + Qr + e$$

Em que  $y$ ,  $b$ ,  $a$ ,  $c_1$ ,  $r$  e  $e$  são, respectivamente, os vetores de dados, os efeitos fixos de blocos, o efeito aleatório de genético aditivo, o efeito aleatório de parcelas, os efeitos aleatórios de procedências e o  $e$  efeito aleatório de erros.  $X$ ,  $Z$ ,  $W$  e  $Q$  são as matrizes de incidência para  $b$ ,  $a$ ,  $c_1$  e  $r$  respectivamente.

As estimativas de herdabilidade em nível de médias de progênies foram obtidas pela seguinte expressão, conforme Resende (2002):

$$h_m^2 = \frac{[1 + (n - 1)\rho_a]h_a^2}{1 + (n - 1)(\rho_a h_a^2)}$$

Em que  $\rho_a$  é a correlação genética entre os indivíduos do tipo de progênie considerada ( $\rho_a = 1/4$  para meios-irmãos),  $h_a^2$  é a herdabilidade individual no sentido restrito e  $n$  é o número total de indivíduos por progênie.

Para o cálculo das acurácias seletivas para seleção de progênies, utilizou-se a seguinte fórmula, conforme Oliveira et al. (2004) e Santos (2011):

$$r_{\hat{a}am}^2 = \left[ \frac{[1 + (n - 1)\rho_a]h_a^2}{1 + (n - 1)(\rho_a h_a^2)} \right]^{1/2}$$

Foram calculadas correlações fenotípicas, genéticas e ambientais entre as características estudadas.

As estimativas dos parâmetros genéticos e a predição dos valores genotípicos e genéticos aditivos foram obtidas pelo software Selegen-Reml/Blup (RESENDE, 2007). A eficiência relativa dos ganhos indiretos foi obtida pela razão entre a resposta correlacionada e o ganho direto da referida característica.



A partir dos resultados dessas análises procederam-se as seleções dos indivíduos para formação de um pomar para produção de sementes clonal (PPSC) e a formação de uma matriz de cruzamentos controlados com base na característica que propicia o maior ganho correlacionado no CE e Vol.

As seleções de indivíduos para formação de um PPSC e de um delineamento de cruzamento controlado foram feitas pelos valores genéticos aditivos, sendo conduzida pela escolha dos indivíduos com as melhores classificações, baseada na melhor característica preditora.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Sobrevivência**

Nos testes genéticos, normalmente, a operação de replantio não é conduzida para evitar um possível aumento do erro experimental dentro de parcela. Isso decorre do fato de que as condições ambientais após o plantio e replantio podem ser diferentes, favorecendo ou desfavorecendo um dos dois grupos de plantas. Esse favorecimento ou desfavorecimento inicial pode perdurar por um longo período, principalmente quando se pensa nas diferenças de vigor das mudas diante das condições de matocompetição.

Também se deve ressaltar que nos testes genéticos, principalmente naqueles em que as famílias são de origens exóticas e distintas, a característica de sobrevivência das plantas pode ser muito importante, visto que ela pode estar relacionada à capacidade adaptativa ao novo ambiente de introdução.

De acordo com a tabela 3 as procedências apresentam alto nível de sobrevivência, variando de 76,0% a 91,1% para as procedências Atherton e Allyn River, respectivamente. No contexto dessa característica o maior destaque é observado para a procedência de Allyn River e Pascoe River, que além de apresentarem as maiores sobrevivências mostraram um dos menores desvios padrão, caracterizando que as famílias dessas procedências são mais homogêneas e podem ser as mais adaptadas às condições bioclimáticas e edáficas do local de experimentação.

Tabela 3 Percentual de sobrevivência das árvores e desvio padrão em teste de progênie de meio-irmãos, registrados por procedência das sementes de *Toona ciliata* var. *australis*, aos 31 meses de idade

Procedência	Sobrevivência (%)
ALLYN RIVER	91,1+-3,2
ATHERTON	76,0+-12,1
BALDY MOUNTAIN	84,0+-11,5
COLEDALE WOLLONGONG	88,5+-3,6
DAIRY FLAT	87,2+-5,7
IRON RANGE	89,2+-8,4
KANGAROO VALLEY	85,9+-5,6
KENILWORTH S.F.	80,2+-3,3
MARSHALL MOUNT WOLL/G	77,1+-10,8
PASCOE RIVER	90,3+-1,2
SHIPTON FLAT	89,6+-3,1
UBOBO	87,5+-2,1
Média Geral	85,6

#### 4.2 Variabilidade entre procedências e progênies

As progênies utilizadas nesse experimento são advindas de diferentes nichos ecológicos existentes na Austrália. Devido à essa distribuição continental, as diferentes variáveis geográficas e climáticas agem através da seleção natural, conduzindo à formação de populações dentro de uma mesma espécie. Essas variações podem ser decorrentes da variação clinal ou ecotípica.

Uma das maneiras de se observar a presença de variabilidade entre as populações de *T. ciliata*, em teste de procedências e progênies desbalanceadas, é através da análise de deviance (ANADEV). A significância foi avaliada pelo teste da razão da verossimilhança (LRT). Os resultados para os caracteres DAP, Ht, CE, For e Vol são representados na tabela 4. Verifica-se que os efeitos das progênies e procedências são significativos para todas as idades avaliadas.

Esses resultados indicam a presença de variabilidade entre e dentro das populações de cedro australiano e mostram a eficiência na amostragem das coletas das sementes, tendo em vista as diferentes regiões e condições edafoclimáticas onde as matrizes se encontram. Desse modo, para o melhoramento genético, é possível explorar a variabilidade genética por meio da seleção de genótipos mais produtivos e adaptados para as condições brasileiras.

Tabela 4 Análise de deviance (ANADEV) para os caracteres de diâmetro à altura do peito (DAP), altura total do fuste (Ht), coeficiente de esbelteza (CE), forma do fuste (For) e volume (Vol), medidos em teste de procedência/progênes/planta de *Toona ciliata*, aos 31, 54 e 74 meses de idade de cultivo em Campo Belo-MG

Efeito	DAP		Ht		CE		For		Vol	
	Deviance	LRT	Deviance	LRT	Deviance	LRT	Deviance	LRT	Deviance	LRT
31 meses										
Progênes <sup>+</sup>	6817,49	33,60**	3710,80	28,45**	-6209,41	7,92**	Na	Na	-20113,2	29,57**
Procedências	6820,65	36,76**	3716,44	34,09**	-6190,41	26,92**	Na	Na	-20103,3	39,49**
Modelo	6783,89		3682,35		-6217,33		Na		-20142,8	
54 meses										
Progênes <sup>+</sup>	9563,84	34,46**	6389,75	19,46**	-6277,68	17,12**	-6,58	21,27**	-13206,6	20,71**
Procedências	9567,26	37,88**	6390,24	19,95**	-6254,00	40,80**	-22,95	4,9*	-13188,1	39,16**
Modelo	9529,38		6370,29		-6294,80		-27,85		-13227,3	
74 meses										
Progênes <sup>+</sup>	9675,97	20,75**	6424,35	17,33**	-5868,60	13,25**	1199,73	18,97**	-8526,90	11,58**
Procedências	9697,57	42,35**	6425,49	18,47**	-5845,82	36,03**	1195,82	15,06**	-8490,14	48,34**
Modelo	9655,22		6407,02		-5881,85		1180,76		-8538,48	

Qui-quadrado tabelado para um grau de liberdade: 3,84 e 6,63, para níveis de significância de 5% e 1%, respectivamente. Na: não avaliado, \* significativo ao nível de 5% de probabilidade \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade. <sup>+</sup>: Efeito genético dentro de procedência.

### 4.3 Parâmetros genéticos

Para proceder as seleções de indivíduos e, conseqüentemente, obter ganhos genéticos significativos, foram estimados os parâmetros genéticos que estão representados na tabela 5.

O primeiro parâmetro a ser considerado são os valores de coeficiente de variação residual (CVe) que se apresentaram em níveis satisfatórios para garantir uma boa precisão experimental. Esses valores de CVe variaram em uma amplitude de 6,25% a 37,46% para as características de Coeficiente de Esbelteza (CE) e volume (Vol), respectivamente. A característica volume, em geral, apresenta altos valores de CVe nas espécies florestais. Por exemplo, os trabalhos de Batista et al. (2012), Freitas et al. (2006) e Sebbenn, Aoki e Moraes (2003) que encontraram os valores de CVe para a característica de volume de 54,4% para a espécie *Grevillea robusta*, 37,6% para a espécie *Cordia trichotoma* e, 46,9% para a espécies *Handroanthus vellosi*, respectivamente. Os CVe para as demais características revelam níveis ótimos ou satisfatórios de qualidade experimental.

Outro parâmetro genético de credibilidade para a precisão experimental é o coeficiente de determinação dos efeitos de parcela ( $C^2_{\text{parc}}$ ) que, de acordo com Resende (2002), deve ser igual ou inferior a 10%. Desse modo, os caracteres estudados nas diferentes idades estão dentro dos valores aceitáveis. Portanto, houve uma baixa variação ambiental dentro de parcelas e esta contribui pouco para a variação total, sendo dessa forma o delineamento experimental considerado eficiente.

No parâmetro de variância genética aditiva ( $\hat{\sigma}_a^2$ ), observa-se um incremento dos valores com o aumento das idades e uma estabilização entre os 54 e 74 meses, com exceção das características forma e volume. Como o CVe não sofreu variação expressiva durante os anos de avaliações, pode-se inferir que

isso demonstra uma liberação de maior variabilidade genética com o aumento da idade das árvores. Essa mesma tendência da  $\hat{\sigma}_a^2$ , observada desde os seis meses de avaliação (SANTOS, 2011), também é observada para as variâncias fenotípica ( $\hat{\sigma}_f^2$ ) e genética entre procedências ( $\hat{\sigma}_{proc}^2$ ). Esses comportamentos também foram observados em outras espécies, especialmente do gênero *Eucalyptus* (BOUVET; VIGNERON, 1995; GREAVES; BORRALHO; RAYMOND, 1997; LOPEZ et al., 2002; WEI; BORRALHO, 1997).

Assim, há liberação das expressões gênicas, ou seja, existe ocorrência de liberação da variabilidade genética com o crescimento das árvores e consequentes aumentos nas variações das propriedades de arquitetura de copa, eficiências no uso de fatores do meio (luz, água e nutrientes), bem como da resistência/tolerância aos estresses bióticos e abióticos (ALLARD, 1999; FEHR, 1991).

As perspectivas favoráveis para o melhoramento genético do cedro australiano também são evidenciadas pelas estimativas de herdabilidade individual no sentido restrito ( $\hat{h}_a^2$ ), já que expressam o grau de correspondência entre os valores fenotípicos e genéticos (FACOLNER, 1996; VENCOVSKY; BARRIGA, 1992). As magnitudes variaram de 0,221 a 0,373 para o caráter DAP, de 0,338 a 0,399 para a Ht, de 0,102 a 0,142 para o CE, de 0,189 a 0,392 para o Vol e de 0,287 a 0,341 para a For.

A  $\hat{h}_a^2$  estimada para CE aos 54 meses foi de 0,14 sendo considerada de baixa magnitude, tal como foi estimada por Kroon, Andersson e Mullin (2008), um valor de 0,22 em *Pinus sylvestris*, porém na idade de 30 anos.

De maneira geral, os caracteres DAP, Ht, Vol e For, apresentaram herdabilidade média e o caráter CE apresentou baixa herdabilidade. Estes resultados indicam que os caracteres com média herdabilidade podem ser selecionados para ganhos diretos e os que possuem baixa herdabilidade necessitam ser estudados para se conhecer a possibilidade de alcançar ganhos

satisfatórios pela seleção indireta em outra característica geneticamente correlacionada.

Observaram-se valores expressivos para herdabilidade em nível de médias de famílias ( $h_m^2$ ), variando para o caráter DAP de 0,783 a 0,870; para Ht de 0,867 a 0,894; para CE de 0,592 a 0,678; para Vol de 0,748 a 0,892 e; para For de 0,837 a 0,868.

A acurácia seletiva ( $r_{\hat{a}am}^2$ ) ou a correlação entre o valor predito e o verdadeiro valor genético variou de alto a muito alto, atestando uma boa precisão e confiança nos valores genéticos estimados. Observando os valores de  $h_m^2$  e  $r_{\hat{a}am}^2$  (Tabela 5), nota-se que para as características Ht e For, esses valores genéticos não mudaram com o tempo. Já para as variáveis DAP e Vol, a  $h_m^2$  e  $r_{\hat{a}am}^2$  diminuem apenas para a última medição. Essa diminuição pode ser explicada pela retirada das 200 árvores no teste para estudos da qualidade da madeira, feito aos 54 meses, logo após a medição de todas as árvores do teste, que apresentou um efeito no crescimento do diâmetro e conseqüentemente no volume.

A estimativa da herdabilidade média das progênies, devido a uma diminuição da influência dos erros experimentais, assume uma melhor precisão e, por consequência em uma maior acurácia (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

Esses altos valores de  $h_m^2$  podem ser devido à boa precisão experimental do teste de procedência/progênie/planta, bem como aos materiais genéticos que ainda não sofreram nenhum tipo de melhoramento.



Tabela 5 Estimativas dos componentes de variâncias para as características DAP, Ht, Vol, CE e For, realizadas em nível de indivíduos de famílias de meio-irmãos de *Toona ciliata*, aos 31, 54 e 74 meses de idade

Parâmetros	DAP			Ht			Vol			CE			F	
	31	54	74	31	54	74	31	54	74	31	54	74	54	74
$\hat{\sigma}_a^2$	2,732	7,031	7,072	0,939	2,123	2,623	0,00010	0,00101	0,00223	0,0036	0,0052	0,0044	0,115	0,258
$\hat{\sigma}_{parc}^2$	0,441	0,981	0,933	0,209	0,660	0,805	0,00002	0,00028	0,00071	0,0007	0,0004	0,0005	0,024	0,068
$\hat{\sigma}_{proc}^2$	1,653	4,504	6,019	0,570	0,799	0,947	0,00007	0,00075	0,00265	0,0020	0,0043	0,0034	0,014	0,076
$\hat{\sigma}_e^2$	2,484	7,925	17,908	0,639	2,203	3,390	0,00006	0,00122	0,00624	0,0290	0,0268	0,0232	0,248	0,356
$\hat{\sigma}_f^2$	7,310	20,441	31,932	2,357	5,784	7,764	0,00025	0,00326	0,01184	0,0353	0,0368	0,0315	0,401	0,757
$\hat{h}_a^2$	0,373	0,344	0,221	0,399	0,367	0,338	0,39201	0,30800	0,189	0,1020	0,1420	0,139	0,287	0,341
$\hat{s}(\hat{h}_a^2)$	0,068	0,065	0,057	0,070	0,067	0,069	0,07000	0,06200	0,051	0,0350	0,0420	0,044	0,060	0,069
$h_m^2$	0,884	0,870	0,783	0,894	0,881	0,867	0,892	0,850	0,748	0,592	0,678	0,673	0,837	0,868
$r_{\hat{a}am}^2$	0,940	0,933	0,885	0,946	0,939	0,931	0,944	0,922	0,865	0,769	0,824	0,820	0,915	0,932
$C_{parc}^2$	0,060	0,048	0,029	0,089	0,114	0,104	0,08498	0,08688	0,05994	0,0186	0,0113	0,0165	0,059	0,089
$C_{proc}^2$	0,226	0,220	0,188	0,242	0,138	0,122	0,26513	0,23007	0,22413	0,0577	0,1169	0,1090	0,035	0,100
CV <sub>gi</sub> (%)	24,82	25,55	20,43	19,82	20,05	18,01	67,85	58,56	44,89	7,70	9,61	8,87	17,85	26,41
CV <sub>gp</sub> (%)	12,41	12,77	10,22	9,91	10,02	9,01	33,92	29,28	22,44	3,85	4,80	4,43	8,93	13,21
CV <sub>e</sub> (%)	12,78	12,95	11,86	11,07	13,03	11,87	37,46	37,24	32,97	6,59	6,43	6,25	11,11	16,61
CV <sub>r</sub>	1,942	1,973	1,722	1,790	1,538	1,517	1,811	1,572	1,362	1,167	1,495	1,420	1,607	1,590
Média	6,7	10,4	13,0	4,9	7,3	9,0	0,0144	0,0542	0,1053	0,78	0,75	0,75	1,9	1,9

$\hat{\sigma}_a^2$  = variância genética aditiva;  $\hat{\sigma}_{parc}^2$  = variância ambiental entre progênies;  $\hat{\sigma}_{proc}^2$  = variância genética entre procedências;  $\hat{\sigma}_e^2$  = variância residual dentro de parcelas;  $\hat{\sigma}_f^2$  = variância fenotípica;  $\hat{h}_a^2$  = herdabilidade individual no sentido restrito;  $\hat{s}(\hat{h}_a^2)$  = desvio padrão das estimativas de herdabilidade;  $h_m^2$  = herdabilidade em nível de médias de progênies;  $r_{\hat{a}am}^2$  = acurácia para seleção de progênies;  $C_{parc}^2$  = coeficiente de determinação dos efeitos de progênies;  $C_{proc}^2$  = coeficiente de determinação dos efeitos de procedência;  $CV_{gi}$  = coeficiente de variação genética aditiva individual;  $CV_{gp}$  = coeficiente de variação genotípica entre progênies;  $CV_e$  = coeficiente de variação residual;  $CV_r$  = razão entre  $CV_{gi}/CV_e$ .

O coeficiente de variação genética aditiva individual (CVgi) e o coeficiente de variação genotípica entre progênies (CVgp) são importantes parâmetros nos estudos de genética quantitativa, uma vez que permitem inferir sobre a magnitude da variabilidade presente nas populações e em diferentes caracteres (RESENDE, 2002).

Segundo Sebben et al. (1998), o coeficiente de variação genética é considerado alto quando este é maior do que 7%. Todos os valores de CVgi e CVgp, para todos os caracteres e nas diferentes idades, apresentaram-se altos (Tabela 5). No entanto, o CVgp para CE foram menores do que 7%, indicando pouca variação genética entre progênies. Portanto, os coeficientes de variação genética apresentados mostram que ganhos por seleção entre e dentro de progênies podem ser alcançados.

Também se pode verificar a possibilidade de ganhos genéticos por meio do parâmetro CVr (razão entre CVgi/CVe), conhecido como coeficiente de variação relativa, que apresenta valores superiores a 1,0 em todas as avaliações, indicando a viabilidade de seleção para obtenção de ganhos genéticos expressivos. Além disso, os CVgi foram maiores que os CVe para cada respectivo caractere, mostrando que os efeitos genéticos foram maiores que os efeitos ambientais.

De acordo com esses resultados de estimativas dos componentes genéticos, existem perspectivas promissoras quanto ao sucesso de se conduzir seleções em nível de indivíduos para melhorar a produção e a qualidade do fuste da espécie *Toona ciliata* e ainda mantendo uma grande variabilidade genética.

#### **4.4 Correlações genéticas, fenotípicas e ambientais**

Os valores fenotípicos das diferentes características na mesma árvore são geralmente correlacionados, como a altura e o diâmetro. Os efeitos genéticos e os fatores ambientais são as duas razões para essas correlações fenotípicas. Sendo assim, a importância para a estimativa das correlações no melhoramento, principalmente a genética, está no seu

uso para seleção indireta e predição das respostas correlacionadas, no desenvolvimento de índices de seleções para seleção de múltiplas características simultaneamente e no desenvolvimento de estratégias de melhoramento, além de contribuir para o entendimento dos processos evolucionários das características de interesse.

Devido a esse contexto de importância, a tabela 6 representa as correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais entre todos os pares de características avaliadas nas três idades do teste.

Tabela 6 Valores de correlação fenotípica, genotípica e residual para as características de diâmetro a altura do peito (DAP), altura total (Ht), coeficiente de esbelteza (CE), volume (Vol) forma do fuste (For), nas idades de 31, 54 e 74 meses. Todos os valores foram significativos a 1% de probabilidade pelo teste t

Características	Entre características por idade (meses)															
	DAP			Altura (Ht)			CE			Volume (Vol)			Forma (For)			
	31	54	74	31	54	74	31	54	74	31	54	74	31	54	74	
Fenotípica	DAP	1.00	1.00	1.00	0.86	0.86	0.86	-0.61	-0.62	-0.70	0.93	0.93	0.93	Na	0.41	0.60
	Altura (Ht)	-	-	-	1.00	1.00	1.00	-0.19	-0.22	-0.33	0.84	0.82	0.80	Na	0.42	0.56
	CE	-	-	-	-	-	-	1.00	1.00	1.00	-0.44	-0.46	-0.53	Na	-0.19	-0.38
	Volume (Vol)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	1.00	1.00	Na	0.34	0.54
	Forma (For)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Na	1.00	1.00
Genética	DAP	1.00	1.00	1.00	0.92	0.92	0.89	-0.63	-0.51	-0.55	0.95	0.96	0.95	Na	0.69	0.81
	Altura (Ht)	-	-	-	1.00	1.00	1.00	-0.32	-0.20	-0.17	0.90	0.88	0.87	Na	0.68	0.83
	CE	-	-	-	-	-	-	1.00	1.00	1.00	-0.48	-0.40	-0.42	Na	-0.37	-0.24
	Volume (Vol)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	1.00	1.00	Na	0.64	0.80
	Forma (For)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Na	1.00	1.00
Ambiental	DAP	1.00	1.00	1.00	0.80	0.84	0.86	-0.62	-0.60	-0.73	0.91	0.91	0.92	Na	0.32	0.54
	Altura (Ht)	-	-	-	1.00	1.00	1.00	-0.13	-0.20	-0.43	0.76	0.76	0.76	Na	0.36	0.57
	CE	-	-	-	-	-	-	1.00	1.00	1.00	-0.43	-0.45	-0.58	Na	-0.11	-0.30
	Volume (Vol)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	1.00	1.00	Na	0.25	0.49
	Forma (For)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Na	1.00	1.00

Na: não avaliado

Foram observados valores altos e esperados de correlação entre DAP, Ht e Vol ao longo dos anos e valores medianos de correlação entre DAP x For e Ht x For. Nota-se, nessa tabela que o coeficiente de esbelteza (CE) está negativamente correlacionado com o DAP, as correlações fenotípicas e genotípicas foram em média da ordem de -0,64 e -0,56, respectivamente. Por outro lado, em ambos os tipos de correlação entre Alt e CE os valores foram mais baixos, assumindo em média coeficientes negativos de -0,25 (fenotípico) e -0,23 (genética).

A princípio era de se esperar correlações negativas somente com o DAP, visto que a razão entre Alt e DAP, que expressa o CE, denota “*per se*” que quanto maior for o DAP, menor será o CE. Por outro lado, era de se esperar correlações positivas entre Alt e CE, visto que na referida razão, quanto maior for a altura, maior será o CE.

Esse último fato parece, à primeira vista, que há uma contradição entre o resultado da correlação e a referida razão para cálculo do CE. No entanto, pode-se prever que as variações nos valores de CE, são muito mais relacionadas com as variações de DAP e muito pouco com variações de altura, uma vez que para árvores de determinadas progênies ou procedências das sementes podem ocorrer aumentos nos valores de DAP sem que ocorram aumentos proporcionais nos valores de altura.

Essa falta de consistência nas interpretações dos resultados da estimação do CE e na inversão no sentido da relação entre altura e CE, também, apontam para a existência de genes pleiotrópicos ou genes ligados entre altura e DAP, já que o incremento no DAP também está associado ao aumento em altura.

O fato de não existirem correlações genotípicas desfavoráveis torna o processo seletivo mais simples, visto que modificações em uma característica tendem a ser acompanhadas de modificações, no mesmo sentido em outras características. Isso sugere que a seleção em uma das características promoverá

ganhos indiretos em outra, ou seja, o DAP pode ser considerado um bom preditor do desempenho nas variáveis volume, coeficiente de esbelteza e forma.

Um fato observado foi o aumento da correlação fenotípica entre Ht x CE, de -0,19 para -0,33, ocorrido entre o período de 31 a 74 meses e a redução da correlação genotípica de -0,32 para -0,17, entre as mesmas características e período (Tabela 6). Esses resultados podem estar relacionados com os aumentos dos valores da correlação ambiental. Da mesma forma, esses efeitos de aumento e redução nas correlações foram observados entre as características de For x CE. No caso da correlação fenotípica, o aumento foi de 0,42 para 0,56 e a redução da correlação genotípica foi de -0,37 para -0,24.

Segundo Falconer e Mackay (1996), de maneira geral, as correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais assumem a mesma direção, tal como está representado na tabela 6, para todas as correlações estudadas nas diferentes idades. Entretanto, a tendência temporal de decréscimos nas correlações genéticas e acréscimos nas correlações ambientais, entre as características Ht x CE e For x CE, apontam para uma futura inversão nas direções dessas correlações. Segundo a teoria desse mesmo autor, pode-se supor que essa inversão de direção da correlação é decorrente de mudanças nos efeitos ambientais e nos mecanismos fisiológicos na manifestação da variação genética e ambiental dessas características.

Portanto, pode-se prever que com o aumento das idades das árvores, na ausência de desbastes, a competição entre árvores será aumentada em níveis que causarão modificações nas relações alométricas, principalmente entre DAP e Ht, com implicações importantes nas variações de CE e For.

De acordo com Slodidak e Novak (2006), a magnitude de modificação na relação entre Ht e DAP, ou seja, no CE, é influenciada pela densidade de árvores na população afetando, negativamente, muito mais o diâmetro que a altura, tendo em vista que essa última característica é mais afetada pela

qualidade do sítio. Assim, o CE será aumentado pelo decréscimo da taxa de crescimento em diâmetro e pela manutenção do ritmo de crescimento em altura com o passar da idade.

#### **4.5 Ganhos genéticos e respostas correlacionadas nas seleções**

As altas herdabilidades do DAP no sentido restrito e as suas altas correlações genéticas com as outras características estudadas, o torna um importante alvo para seleção. Esses dois fatos indicam o alcance de ganhos diretos nele próprio e de ganhos correlacionados nas outras características avaliadas.

A característica de maior interesse de melhoramento no presente estudo é o CE, já que o foco principal é o melhoramento da estabilidade mecânica de árvores de *Toona ciliata* para propiciar maior autossuporte às cargas exercidas pela gravidade e ventos fortes. Nota-se que o CE possui uma baixa herdabilidade no sentido restrito, restringindo o alcance de ganhos significativos quando a seleção for realizada diretamente sobre ele. No entanto, a alta correlação genotípica entre DAP x CE, em todas as idades de estudo, indicam que a seleção para DAP poderá predizer ganhos em CE mais expressivos, tornando a seleção indireta uma eficiente estratégia.

Um estudo detalhado sobre as classes de estabilidade de populações de coníferas com base no CE foi feito por Konopka (1999), em que foram classificadas como: excelente  $\leq 0,82$ , bom 0,83-0,92, satisfatório 0,93-1,01 e péssimo  $\geq 1,02$ . No presente trabalho, foi escolhido valor crítico igual à média da população com valor de 0,75, aos 54 meses de idade que é um valor limite ainda mais rigoroso do que 0,82. Pode-se construir a figura 2 para simular situações de seleções para DAP, Ht e For, em diferentes intensidades de seleções individuais e idades das árvores, que propiciem na população selecionada uma maior taxa percentual de árvores com valores de CE igual ou abaixo desse limite

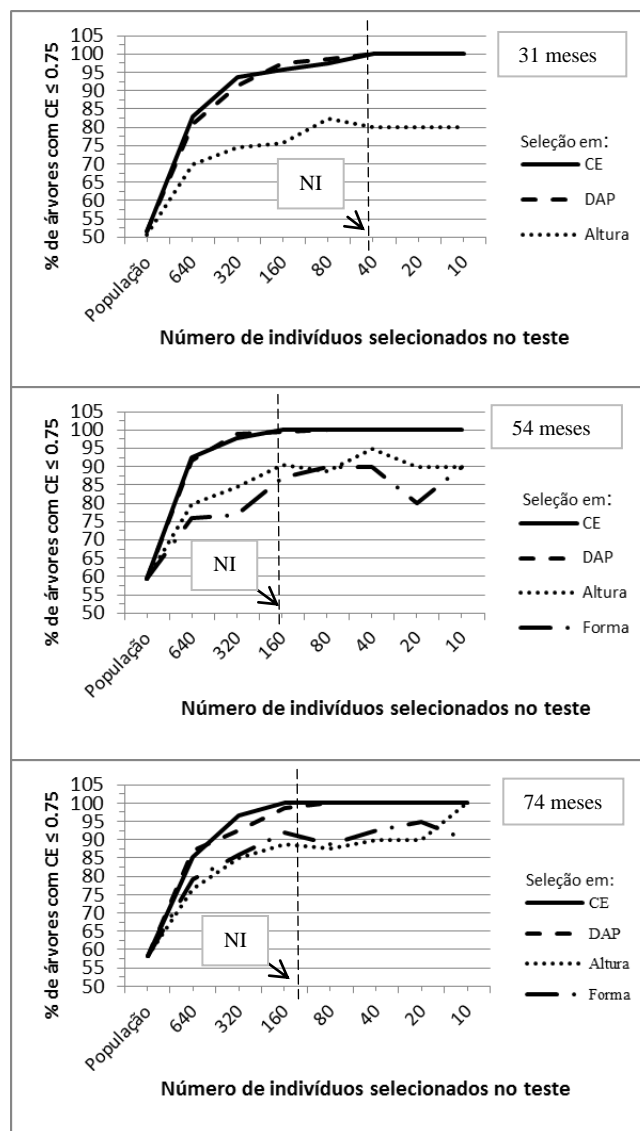


Figura 3 Número ideal (NI) de indivíduos para se obter 100% das árvores com CE menor ou igual a 0,75 para *Toona ciliata*

Nessa figura, nota-se que aos 54 meses de idade, quando selecionamos para o DAP, em uma intensidade de seleção em torno de 161 árvores dentro das 2593 avaliadas (6,2% de intensidade de seleção), obtêm-se 100% dos indivíduos



com CE menor ou igual a 0,75. Essa intensidade de seleção permite ganhos diretos nos valores de DAP (tabela 7) e gera um tamanho efetivo da população ( $N_e$ ) de 26.

A *Toona ciliata* é uma espécie com flores bissexuais, porém funcionalmente monosssexuais (STYLES, 1972), com dicogamia protogínica cujo fenômeno, segundo Lloyd e Schoen (1992) restringe a autogamia e promove a alogamia. Assim, para a seleção de NI de 161 indivíduos, observada para o DAP das árvores com 54 meses de idade, estima-se um tamanho efetivo ( $N_e$ ) de 26. Considerando a estimativa do coeficiente de endogamia pela fórmula ( $F = [1/(2N_e)]100$ ), pode-se prever que a próxima geração terá um coeficiente de endogamia de 1,9%, que pode ser considerado satisfatório para propósitos de produção de sementes e de condução de programas de seleção em gerações avançadas.

Tabela 7 Ganhos genéticos ( $\Delta G$ ), respostas correlacionadas ( $\Delta RC$ ) e eficiências relativas (ER) nas seleções de indivíduos de *Toona ciliata*

Intensidade de seleção de indivíduos (%)	CE	Forma	DAP	Altura	Volume
Ganho direto na seleção ( $\Delta G$ ,%)					
6,2	-19,3	27,5	59,5	36,3	160,8
1,0	-21,4	37,4	72,0	45,6	220,3
Ganho correlacionado no CE devido à seleção indireta ( $\Delta RC$ , %)					
6,2	-19,3	-12,9	-16,4	-12,4	-15,2
1,0	-21,4	-13,3	-17,2	-13,8	-16,0
Ganho correlacionado na Forma devido à seleção indireta ( $\Delta RC$ , %)					
6,2	11,8	27,5	17,7	19,1	18,6
1,0	6,4	37,4	24,6	27,8	24,9
Ganho correlacionado no Volume devido à seleção indireta ( $\Delta RC$ , %)					
6,2	104,8	115,9	158,0	146,4	160,8
1,0	99,9	159,5	214,2	201,8	220,3
Eficiência relativa da seleção indireta no CE ( $ER = \Delta RC / \Delta G_{CE}$ , %)					
6,2	100,0	67,0	85,1	64,0	65,2
1,0	100,0	62,4	80,7	64,5	45,4
Eficiência relativa da seleção indireta na Forma ( $ER = \Delta RC / \Delta G_{Forma}$ , %)					
6,2	42,9	100,0	64,5	69,3	67,6
1,0	17,2	100,0	65,7	74,3	66,6
Eficiência relativa da seleção indireta no Volume ( $ER = \Delta RC / \Delta G_{Volume}$ , %)					
6,2	65,2	72,1	98,2	91,0	100,0
1,0	45,4	72,4	97,2	91,6	100,0

Conforme representado na tabela 7, na simulação de seleção no DAP em nível de 1%, ou seja, 26 árvores em um total de 2593 no teste, o  $N_e$  será de 9,15, gerando um coeficiente de endogamia da ordem de 5,5%. Porém, o aumento de endogamia na próxima geração pode ser evitado ou minimizado pela condução de cruzamentos controlados entre genitores com *pedigree* conhecidos e não relacionados, conforme sugerido por Weir (1976).

Os ganhos diretos para cada característica, na seleção individual, considerando 1% de intensidade de seleção, foram de -21,4% para CE, 37,4% para forma, 72,0% para DAP, 45,6% para altura e 220,3% para o volume (Tabela 7).

Os ganhos extremos na primeira seleção, aos 54 meses, são exemplificados pelo aumento das médias da população em CE que passa de 0,75 para 0,59, enquanto que a média do volume passa de 0,0542 m<sup>3</sup> para 0,1136 m<sup>3</sup>. Considerando apenas as médias, esse aumento em volume corresponde a uma mudança de produtividade de 20 m<sup>3</sup>/ha/ano para uma estimativa de 42m<sup>3</sup>/ha/ano.

Já na intensidade de seleção individual de 6,2% (161 árvores), com objetivo de formação de pomares de sementes, os ganhos diretos também foram altos e alcançaram valores de -19,3% para o CE, 27,5% para a forma, 59,5% para o DAP, 36,3% para altura e 160,8% para o volume.

Também foram estimados os ganhos correlacionados para CE, forma e volume, quando a seleção é baseada em outras variáveis. Em uma intensidade de seleção de 1%, se a seleção for baseada no DAP, a eficiência relativa da seleção indireta (ER) no ganho correlacionado para o CE, For e Vol foram, respectivamente, de 80,7%, 65,7% e 97,2%. Quando a seleção for baseada na altura, a ER para o CE, For e Vol será de 64,5%, 74,3% e 91,6%. A seleção direta no DAP para todos os ganhos correlacionados foram maiores do que se a seleção direta fosse pela altura, com exceção da forma, em que a altura conseguiu melhores ganhos indiretos. Tendências similares ocorrem quando a intensidade de seleção for 6,2% (tabela 7).

Considerando a seleção de 161 (6,2%) árvores, como mencionado anteriormente, e após o resgate desse germoplasma por técnicas de enxertia, será possível estudar as árvores e suas madeiras de forma destrutiva para melhor conhecer as suas propriedades resistivas às forças da gravidade e de arraste pelo vento. Entre essas se destacam as características de módulo de elasticidade de Yuong (MOE) e densidade básica da madeira (Db), como é indicado por Niklas (1994) e Waghorn e Watt (2013).

De posse desses dados de MOE e Db, DAP e altura total (Ht), predições podem ser feitas no sentido de que será possível aumentar o fator de segurança (f) das árvores contra as mencionadas forças da natureza. Do ponto de vista teórico, essa é uma possibilidade real, mas a sua concretização na prática somente poderá ser realizada após análises da magnitude da variabilidade genética e da herdabilidade da relação entre MOE e Db, que conforme fórmula (1) estima a altura crítica de flambagem do fuste ( $H_{crit}$ ). Por meio dessa, estima-se os valores de (f) conforme representado pela fórmula (2).

$$H_{crit} = C(MOE/Db)^{1/3} \cdot (D)^{2/3} \quad (1)$$

sendo “C” uma constante de proporcionalidade que pode ser de 0,79 a 1,97, dependendo de pressupostos de condição de cargas e conicidade da árvore (WAGHORN; WATT, 2013).

$$f = \frac{H_{crit}}{Ht} \quad (2)$$

Que conforme o mesmo autor pode ser desdobrada para gerar a fórmula (3) que insere o CE no contexto da segurança e dá suporte para presente discussão.

$$f = \frac{C \cdot (MOE/Db)^{1/3} \cdot D^{-1/3}}{CE} \quad (3)$$

Essa última fórmula fornecerá valores de fator de segurança os quais possivelmente permitirão selecionar indivíduos que possam assumir valores superiores ao nível crítico de uma unidade, pois árvores abaixo deste estarão sob riscos de sofrer danos por carência de autossuporte para a sua própria massa (WAGHORN; WAT, 2013).

Nesse nível limite de fator de segurança, as árvores, principalmente as que tiveram suas alturas e massas geneticamente aumentadas e sem os aumentos correspondentes nas suas propriedades resistivas, terão suas estabilidades mecânicas muito comprometidas, quando depararem com situações de ventos fortes. Isso pode ser observado na tabela 7, em que a seleção na altura causa uma alta eficiência de ganho no volume, mas uma eficiência mediana no ganho no CE. Portanto, riscos de flambagem e quebra do fuste pelo vento terão maior probabilidade de ocorrência, visto que nessas condições de clima os fustes mais altos e com maiores massas serão os mais susceptíveis às falhas mecânicas (NIKLAS; ENQUIST, 2002).

O fator de segurança (f) poderá, assim, se constituir em um índice de seleção que “*per se*” engloba um amplo conjunto de características, incluindo as resistivas (MOE e Db), de crescimento (DAP, Ht) e arquitetura (CE) que pode ser geneticamente melhorado.

Nesse contexto, pode-se destacar a função do melhoramento genético para o aumento de f das árvores e, assim, minimizar os enigmáticos danos por ventos nas florestas cultivadas, principalmente nas monoclonais, dada as suas maiores vulnerabilidades.

O aumento do DAP das 161 árvores selecionadas e a alta previsão de ganhos indiretos em CE demonstram que o aumento de f poderá ser alcançado ainda na primeira seleção. Em *Toona ciliata*, a alta previsibilidade ( $r^2=0,94$ ) dos valores de f de clones a partir de seus valores de CE (VALLE, 2014) e a alta correlação ( $r^2=0,79$ ) entre essas características em *Pinus radiata* (WAGHORN;

WATT, 2013) corroboram para a necessidade de evitar tempo, trabalho e recursos para testar essa hipótese.

Em anexo, encontram-se na tabela 1A os componentes genéticos até as 161 árvores selecionadas pelo DAP, aos 54 meses, para comporem um pomar de produção de sementes clonal, bem como as 26 árvores superiores, entre as quais podem ser selecionados genitores para futuros cruzamentos. E a tabela 2A que relaciona os números correspondentes para cada procedência.

## 5 CONCLUSÃO

A *Toona ciliata* tem boa adaptação para as condições edafoclimáticas do de Campo Belo, MG.

Existe variabilidade genética entre e dentro das populações de cedro australiano.

As estimativas dos parâmetros genéticos evidenciaram, principalmente, significativos valores no coeficiente de variação genética e herdabilidade de magnitude mediana para as características de crescimento (DAP, Altura e volume) e valores baixos para o CE.

Foram constados altos e esperados valores de correlação entre DAP, Ht e Vol ao longo dos anos e valores medianos de correlação entre DAP x For e Ht x For. O coeficiente de esbelteza (CE) está altamente e negativamente correlacionado com o DAP, as correlações fenotípicas e genotípicas foram em média da ordem de -0,64 e -0,56, respectivamente. Por outro lado, em ambos os tipos de correlação entre Alt e CE os valores foram mais baixos, assumindo em média coeficientes negativos de -0,25 (fenotípico) e -0,23 (genotípico).

Para o melhoramento das dimensões das árvores com as propriedades arquitetônicas que conferem estabilidade mecânica contra as forças de arraste pelo vento, foram selecionados 161 indivíduos, com base na seleção pelo DAP, para formar um pomar de sementes clonal.

O DAP foi considerado a melhor característica preditora para a melhor estabilidade mecânica e produtividade para o cedro australiano. Os ganhos, quando selecionados pelo DAP, com intensidade de seleção de 1% foram na ordem de 72,0% para o ganho direto, gerando ganhos indiretos de 17,2%, 24,6% e 214,6% para CE, forma e volume, respectivamente. Quando a intensidade de seleção individual for de 6,2% para o DAP, o

ganho direto foi de 59,5%, gerando ganhos indiretos 16,4%,17,7%, 158,0% para CE, forma e volume, respectivamente.

A seleção pela altura como característica preditora de ganho correlacionado deve ser evitada, pois o volume de madeira e a forma das árvores podem ser melhorados, porém sem que ocorram as desejáveis reduções de CE e conseqüentemente na melhoria da estabilidade mecânica das árvores.

**REFERÊNCIAS**

ALLARD, R. W. **Principles of plant breeding**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: J. Wiley, 1999. 245 p.

ALMÉRAS, T.; FOURNIER, M. Biomechanical design and long-term stability of trees: morphological and wood traits involved in the balance between weight increase and gravitropic reaction. **Journal of Theoretical Biology**, London, v. 256, p. 370–381, 2009.

ANCELIN, P.; COURBAUD, B.; FOURCAUD, T. Development of an individual tree-based mechanical model to predict wind damage within forest stands. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 203, p. 101-121, 2004.

ARES, A.; FOWNES, J. H. Productivity, nutrient and water-use efficiency of *Eucalyptus saligna* and *Toona ciliata* in Hawaii. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 139, p. 227-236, 2000.

AUSTRALIAN TREE RESOURCES NEWS. 2002. Disponível em: <[http://www.ffp.csiro.au/tigr/atrnews/atrn07/atrnnews7\\_05.htm](http://www.ffp.csiro.au/tigr/atrnews/atrn07/atrnnews7_05.htm)>. Acesso em: 17 fev. 2015.

BATISTA, C. M. et al. Estimativas de parâmetros genéticos e a variabilidade em procedências e progênies de *Handroanthus vellosi*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 71, p. 269-276, 2012.

BOUVET, J. M.; VIGNERON, P. Age trends in variances and heritabilities in *Eucalyptus* factorial mating designs. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 44, n. 4, p. 206-216, 1995.

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.



BYGRAVE, F. L.; BYGRAVE, P. L. **Growing australian red cedar and other Meliaceae Species in plantation.** Canberra: RIRDC, 2005. 60 p.

CAMERON, D.; JERMYN, D. **Review of plantation performance of high value rainforest species.** Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 1991.

CARDOSO, I. M. et al. Experimentação participativa com sistemas agroflorestais por agricultores familiares: espécies arbóreas utilizadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA, 2., 2004, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG, 2004. 1 CD ROM.

COLLINS, S.; WALKER, S. **Propagation of red cedar by cuttings.** In: MANAGING AND GROWING TREES TRAINING CONFERENCE, FARM FORESTRY AND VEGETATION MANAGEMENT, 1., 1998, Yeppoon, **Proceedings...** Yeppoon: [s. n.], 1998, p. 19-21.

CUNNINGHAM, S. A; FLOYD, R. B. **Insect resistance and silvicultural control of the shoot borer, *Hypsipyla robusta*, feeding on species of Meliaceae in the Asia-Pacific region. ACIAR project FST/97/24.** Canberra: CSIRO Entomology, 2002. 169 p.

CUNNINGHAM, S. A; FLOYD, R. B. Leaf compositional differences predict variation in *Hypsipyla robusta* damage to *Toona ciliata* in field trials. **Canadian Journal of Forest Research, Ottawa, v. 34, n. 3, p. 642-648, 2004.**

CUNNINGHAM, S. A; FLOYD, R. B. *Toona ciliata* that suffer frequent height-reducing herbivore damage by a shoot-boring moth (*Hypsipyla robusta*) are taller. **Forest Ecology and Management, Amsterdam, v. 225, n. 1, p. 400–403, Apr. 2006.**

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics.** London: Longman Malaysia, 1996. 464 p.

FEHR, W. R. **Principles of cultivar development: theory and technique.** Iowa: Iowa State University, 1991. 536 p.

FERREIRA, R. T. et al. *Toona ciliata* genotype selection with the use of individual BLUP with repeated measures. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 69, p. 210-216, 2012.

FOURCAUD, T.; LAC, P. Numerical modelling of shape regulation and growth stresses in trees I. An incremental static finite element formulation. **Trees**, Berlin, v. 17, p. 23-30, 2003.

FREITAS, M. L. M. et al. Genetic variation in progenies of *Myracrodruon urundeuva* F.F. e M.F. Allemão in three cultivation systems. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 319-329, 2006.

GIENAPP, P. et al. Climate change and evolution: disentangling environmental and genetic responses. **Molecular Ecology**, New York, v. 17, n. 1, p. 167-178, 2008.

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 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

GREAVES, B. L.; BORRALHO, N. M. G.; RAYMOND, C. A. Age-age correlations in and relationship between basic density and growth in *Eucalyptus nitens*. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 46, p. 264-270, 1997.

GRIFFITHS, M. W. The biology and host relations of the red cedar tip moth, *Hypsipyla robusta* in Australia. In: AUSTRALIAN FOREST GROWERS CONFERENCE, 9., 2000, Camberra. **Proceedings...** Camberra: ACIAR, 2000. p. 135-140.

HANEWINKER, M.; PEYRON L. The economic impact of storms. In: GARDINER, B. et al. (Ed.). **Living with storms damage to forests**. Barcelona: European Forest Institute, 2013. 129 p.

HOFFMANN, A. A.; SGRO, C. M. Climate change and evolutionary adaptation. **Nature**. London, v. 470, p. 479-485, 2011.

JONG, G. Evolution of phenotypic plasticity: patterns of plasticity and the emergence of ecotypes. **New Phytologist**, Cambridge, v. 166, p. 101–118, 2005.

KAGEYAMA, P. Y. **Seleção precoce a diferentes idades em progênies de *Eucalyptus grandis* (Hill) ex Maiden**. 1983. 147 p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1983.

KAGEYAMA, P. Y. **Variação genética em origens de uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden**. 1980. 125 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1980.

KAMIMURA, K. et al. Developing a decision support approach to reduce wind damage risk—a case study on sugi (*Cryptomeria japonica* (L.f.) D.Don) forests in Japan. **Forestry**, Oxford, v. 81, n. 3, p. 429-445, 2008.

KEENAN, R.; LAMB, D.; SEXTON, G. Experience with mixed species rainforest plantations in North Queensland. **Commonwealth Forestry Review**, Oxford, v. 74, p. 315–321, 1995

KING, D. A. et al. Trees approach gravitational limits to height in tall lowland forests of Malaysia. **Functional Ecology**, Oxford, v. 23, p. 284–291, 2009.

KING, D. A. Tree form, height growth, and susceptibility to wind damage in *Acer saccharum*. **Ecology**, Durhan, v. 67, p. 980–990, 1986.

KONOPKA, J. Ohrozenie lesnych porastov mechanicky posobiacimi abiotickymi cinitelmi (Endangerment of forest stands by mechanical abiotic factors, in Slovak). *Lesnický Casopis. Forestry*, Oxford, v. 45, n. 1, p. 51–72, 1999.

KROON, J.; ANDERSSON, B.; MULLIN, T. Genetic variation in diameter–height relationship in Scots pine (*Pinus sylvestris*). *Canadian Journal of Forest Research*, Ottawa, v. 38, p. 1493–1503, 2008.

LARMOUR, J. **SPRIG project**: final report on range-wide provenance seed collections of *Toona ciliata* var. *australis* (red cedar) in 1997-1999. Canberra: CSIRO Forestry and Forest Products, for AusAID, 1999. 22 p.

LLOYD, D. G.; SCHOEN, D. J. Self and cross-fertilization in plants: functional dimensions. *International Journal of Plant Science*, Chicago, v. 153, p. 358-369, 1992.

LOPEZ, G. A. et al. Genetic variation and inter-trait correlations in *Eucalyptus globulus* base population trials in Argentina. *Forest Genetics*, Zvolen, v. 9, n. 3, p. 223-237, 2002.

MAYR, E. Change of genetic environment and evolution. In: HUXLEY, J.; FORD, E. B. (Ed.). **Evolution as a process**. London: Allen & Unwin, 1954. p. 157–180.

MACMAHON, T. A.; KRONAUER, R. E. Tree structures: deducing the principles of mechanical design. *Journal of Theoretical Biology*, London, v. 59, p. 443–466, 1976.

MILLIEN, V. et al. Ecotypic variation in the context of global climate change: revisiting the rules. *Ecology Letters*, Oxford, v. 9, p. 853-869, 2006.

MOORE, J. R. et al. Wind damage in alternative silvicultural systems. In: RUCK, B. et al. (Ed.). **Wind effects on trees**. Karlsruhe: University of Karlsruhe, 2003. p. 191–198.

MOURA, M. C. O. **Variações em características do crescimento e da madeira em clones de Eucalyptus**. 2000. 63 p. Dissertação (Mestrado em Produção Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

MURAKAMI, C. H. G. Cedro australiano valorização de espécies nobres. **Boletim Florestal - Informativo Florestal do Norte Pioneiro**, Santo Antônio da Platina, v. 2, n. 7, p. 1-4, fev. 2008.

NAMKOONG, G.; SNYDER, E. B.; STONECYPHER, R. W. Heritability and gain concepts for evaluating breeding systems such as seedling orchards. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 15, p. 76-84, 1966.

NASSUR, O. A. C. et al. Variações na qualidade de toras de *Toona ciliata* M. Roem. com dezoito anos de idade. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 1, p. 43-49, jan./mar. 2013.

NIKLAS, K. J.; ENQUIST, B. J. On the vegetative biomass partitioning of seed plant leaves, stems, and roots. **The American Naturalist**, Chicago, v. 159, p. 482-497, 2002.

NIKLAS K. J. Interspecific allometries of critical buckling height and actual plant height. **American Journal of Botany**, Lancaster, v. 81, p. 1275-1279, 1994.

NIKLAS, K. J.; SPATZ, H. C. Allometric theory and the mechanical stability of large trees: Proof and conjecture. **American Journal of Botany**, Lancaster, v. 93, p. 824-828, 2006

NIKLAS, K. J.; SPATZ, H. C. Wind-induced stresses in cherry trees: evidence against the hypothesis of constant stress levels. **Trees**, Berlin, v. 14, p. 230-237, 2000.

OLIVEIRA, V. R. et al. Variabilidade genética de procedências e progênes de umbuzeiro via metodologia de modelos lineares mistos (REML/BLUP). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 53-56, abr. 2004.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4th ed. New York: McGraw Hill, 1980. 722 p.

PELTOLA, H. M.; GARDINER, B.; NICOLL, B. Mechanics of wind damage. In: GARDINER, B. et al. (Ed.). **Living with storms damage to forests**. European Forest Institute, 2013. 129 p.

PELTOLA, H. M.; KELLOMÄKI, S. A mechanistic model for calculating windthrow and stem breakage at stand edge. **Silva Fennica**, Helsinki, v. 27, n. 2, p. 99-111, 1993.

PELTOLA, H. M.; KELLOMÄKI, S.; VÄISÄNEN, H. Model computations of the impact of climatic change on the windthrowrisk of trees. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 41, p. 17-36, 1999.

PELTOLA, H. M. Mechanical stability of trees under static loads. **American Journal of Botany**, Lancaster, v. 93, p. 1501-1511, 2006.

PINHEIRO, A. L.; LANI, L. L.; COUTO, L. **Cultura do cedro australiano para produção de madeira serrada**. Viçosa, MG: UFV, 2003. 42 p.

PLOMION, C.; LEPROVOST, G.; STOKES, A. Wood formation in trees. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 127, p. 1513-1523, 2001.

RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975 p.

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

RICKEN, P. et al. **Crescimento diamétrico de povoamentos de *Toona ciliata* var. *australis* em Adrianópolis, PR**. Colombo: Embrapa, 2011. 4 p.

ROBINSON, H. F.; COCKERHAM, C. C. Estimación y significado de los parâmetros genéticos. **Fitotecnia Latino-Americana**, Turrialba, v. 2, p. 23-28, 1965.

ROSADO, S. C. S.; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T. Avanços genéticos na obtenção de sólidos de *Eucalyptus* de qualidade superior. In: SÓLIDOS DE EUCALIPTO: AVANÇOS CIENTÍFICOS E TECNOLÓGICOS, 1., 2002, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2002. p. 114-124.

SANTOS, A. M. **Melhoramento genético do cedro-australiano (*Toona ciliata* M. Roemer var. *australis*)**. 2011. 64 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

SEBBENN, A. M.; AOKI, H.; MORAES, M. L. T. Variação genética e seleção em teste de procedências de *Grevillea robusta* A. Cunn.. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 1-8, 2003.

SEBBENN, A. M. Parâmetros genéticos na conservação da cabreúva: *Myroxylonperuiferum* L. F. Allemão. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 53, p. 31-38, 1998.

SELLIER, D.; FOURCAUD, T. Crown structure and wood properties: influence on tree sway and response to high winds. **American Journal of Botany**, Lancaster, v. 96, p. 885-896, 2009.

SLODICKAK, M.; NOVAK, J. Silvicultural measures to increase the mechanical stability of pure secondary Norway spruce stands before conversion. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 224, p. 252-257, 2006

SOUZA, J. C. A. V.; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. A. **Cedro australiano (*Toonaciliata*)**. Niterói: Programa Rio Rural, 2010. 12 p. (Manual Técnico, 21).

SOUZA, M. A. M. **Deformação residual longitudinal causada pelas tensões de crescimento em clones híbridos de *Eucalyptus***. 2002. 72 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

SPATZ, H. C.; BRUECHERT, F. Basic biomechanics of self-supporting plants: wind and gravitational loads on a Norway spruce tree. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 135, p. 33–44, 2000.

STERCK, F. J.; BONGERS, F. Ontogenetic changes in size, allometry, and mechanical design of tropical rain forest trees. **American Journal of Botany**, Lancaster, v. 85, p. 266–272, 1998.

STYLES, B. T. The flower biology of the Meliaceae and its bearing on tree breeding. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 21, p. 175–182, 1972.

TRUGILHO, P. F. et al. Deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT) em seis clones de Eucalyptus spp. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 279-286, jul./set. 2006.

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.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento.** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486 p.

VIA, S.; LANDE, R. Genotype-environment interaction and the evolution of phenotypic plasticity. **Evolution**, Lancaster, v. 39, p. 505–522, 1985.

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

WATT, M. S. et al. Modelling environmental variation in young's modulus for *Pinus radiata* and implications for determination of critical buckling height. **Annals of Botany**, London, v. 98, p. 765-775, 2006.



WEIR, R. J. **A breeding and selection program for second generation improvement.** Raleigh: School of Forest Resources, 1976. p. 69-78.

WEI, X.; BORRALHO, N. M. G. Genetic control of wood basic density and bark thickness and their relationship with growth traits of *Eucalyptus urophylla* in South East China. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 46, n. 4, p. 245–249, 1997.

WILSON, B. F.; ARCHER, R. R. Reaction wood: induction and mechanical action. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 28, p. 23-43, 1977.

WORLD AGROFORESTRY CENTRE. 2006. Disponível em: <<http://www.worldagroforestry.org/sea/products/afdbases/af/asp/BotanicSearch.asp>>. Acesso em: 27 fev. 2015.

WRIGHT, J. **Mejoramiento genético de los árboles forestales.** Roma: FAO, 1964. 436 p.

ZENG, H. et al. Influence of clear-cutting on the risk of wind damage at forest edges. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 203, p. 77–88, 2004.  
ZOBEL, B.; TALBERT, J. **Applied forest tree improvement.** New York: J. Wiley & Sons, 1984.

## ANEXOS

Tabela 1A Valor genotípico ao nível de indivíduo, média genotípica, ganho, média dos indivíduos selecionados e percentual de ganho para o caráter DAP aos 54 meses de idade

Ordem	Bloco	Família	Procedência	Árvore	a	u+a	Ganho	Nova média	Ne
1	3	31	6	9	8.4268	18.8068	8.4268	18.8	1.0
2	3	30	6	8	8.3933	18.7732	8.4100	18.8	2.0
3	3	59	11	3	8.2468	18.6267	8.3556	18.7	3.0
4	3	59	11	8	8.1269	18.5068	8.2984	18.7	3.5
5	2	31	6	11	8.0919	18.4718	8.2571	18.6	4.1
6	3	59	11	12	8.0070	18.3870	8.2154	18.6	4.4
7	2	30	6	10	7.9104	18.2903	8.1719	18.6	5.1
8	2	31	6	9	7.8521	18.2321	8.1319	18.5	5.5
9	3	30	6	16	7.8339	18.2139	8.0988	18.5	6.0
10	2	59	11	16	7.7766	18.1565	8.0666	18.4	6.2
11	1	31	6	15	7.7347	18.1146	8.0364	18.4	6.5
12	3	30	6	6	7.6741	18.0540	8.0062	18.4	6.9
13	3	30	6	4	7.5942	17.9741	7.9745	18.4	7.0
14	3	59	11	11	7.4876	17.8676	7.9397	18.3	7.2
15	2	30	6	13	7.4709	17.8508	7.9085	18.3	7.3
16	2	31	6	4	7.4526	17.8325	7.8800	18.3	7.6
17	3	30	6	15	7.4343	17.8143	7.8538	18.2	7.6
18	3	51	10	13	7.4247	17.8047	7.8299	18.2	8.1

19	2	51	10	4	7.3777	17.7576	7.8061	18.2	8.8
20	3	30	6	14	7.2745	17.6545	7.7795	18.2	8.7
21	2	30	6	14	7.2711	17.6511	7.7553	18.1	8.6
22	3	53	10	1	7.2625	17.6424	7.7329	18.1	9.1
23	3	30	6	9	7.2346	17.6145	7.7113	18.1	9.0
24	2	30	6	2	7.2312	17.6111	7.6913	18.1	8.8
25	2	30	6	5	7.2312	17.6111	7.6729	18.1	8.5
26	2	32	6	9	7.2049	17.5848	7.6549	18.0	9.2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
157	1	30	6	3	5.2893	15.6692	6.3468	16.7	25.4
158	3	52	10	8	5.2790	15.6589	6.3401	16.7	25.6
159	3	52	10	14	5.2790	15.6589	6.3334	16.7	25.8
160	3	52	10	15	5.2790	15.6589	6.3268	16.7	26.1
161	1	52	10	15	5.2724	15.6524	6.3202	16.7	26.3

Tabela 2A Número correspondente de cada Procedência

Procedência	Número
ALLYN RIVER	1
ATHERTON	2
BALDY MOUNTAIN	3
COLEDALE WOLLONGONG	4
DAIRY FLAT	5
IRON RANGE	6
KANGAROO VALLEY	7
KENILWORTH S.F.	8
MARSHALL MOUNT WOLL/G	9
PASCOE RIVER	10
SHIPTON FLAT	11
UBOBO	12