



ELIAS DE SÁ FARIAS

**SELEÇÕES EM TESTE DE ORIGEM E
PROGÊNIE DE *Toona ciliata* M. Roemer var.
australis, PARA DENSIDADE DA MADEIRA EM
AVALIAÇÕES DESTRUTIVAS E NÃO
DESTRUTIVAS**

LAVRAS - MG

2013

ELIAS DE SÁ FARIAS

**SELEÇÕES EM TESTE DE ORIGEM E PROGÊNIE DE *Toona ciliata* M.
Roemer var. *australis*, PARA DENSIDADE DA MADEIRA EM
AVALIAÇÕES DESTRUTIVAS E NÃO DESTRUTIVAS**

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

Orientador

Dr. Sebastião Carlos da Silva Rosado

LAVRAS - MG

2013

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Farias, Elias de Sá.

Seleções em teste de origem e progênie de *Toona ciliata* M.
Roemer var. *australis* para densidade da madeira em avaliações
destrutivas e não destrutivas / Elias de Sá Farias. – Lavras : UFLA,
2013.

93 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Sebastião Carlos da Silva Rosado.

Bibliografia.

1. Cedro australiano. 2. Resistógrafo. 3. Melhoramento genético.
I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 674.1

ELIAS DE SÁ FARIAS

**SELEÇÕES EM TESTE DE ORIGEM E PROGÊNIE DE *Toona ciliata* M.
Roemer var. *australis*, PARA DENSIDADE DA MADEIRA EM
AVALIAÇÕES DESTRUTIVAS E NÃO DESTRUTIVAS**

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

APROVADA em 23 de Maio de 2013.

Dr. Paulo Ricardo Gherardi Hein

UFMG

Dr. Samuel Pereira de Carvalho

UFLA

Dr. Sebastião Carlos da Silva Rosado
Orientador

LAVRAS - MG

2013

A meus pais, José Geraldo e Rosalina, que me ensinaram a viver, amar e sonhar. O testemunho de vida que me dão é o exemplo mais sólido de retidão e sinceridade, o que me incentiva em minha trajetória.

Aos meus irmãos Sara, Célia, Elizeu, Eliene e Matheus, pela fraternidade e carinho.

Em especial à minha esposa Taísa, pelo amor, companhia e sinceridade em todos os dias que vivemos juntos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu Principio...

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, pela oportunidade para realização do curso de mestrado.

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

Ao prof. Dr. Sebastião Carlos da Silva Rosado, pela amizade e ensinamentos que vão muito além da ciência.

A Bela Vista Florestal, pela concessão da área experimental e suporte técnico e financeiro nas atividades de campo.

Aos funcionários da B.V. Florestal: Silvana, Taís, Kátia, Eduardo Stehling e Ricardo Vilela, pela amizade e apoio em todas as etapas dos trabalhos de campo.

À Sérgio, Guilherme, Deco, Sr. Osmar e Lourdes, funcionários cedidos pela B.V. Florestal, pela amizade e simpatia que tornaram os trabalhos de campo muito mais agradáveis.

À Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG -, pela concessão de equipamentos indispensáveis para a realização deste trabalho, nas pessoas do professor Dr. Edgar Vladimiro Mantilla Carrasco e da doutoranda Rejane Costa Alves.

Aos estudantes da UFLA: Pedro Reis, Geisi, Francisco Autobelli e Amanda, pelo grande empenho nos trabalhos de coleta dos dados pois sem a ajuda de vocês este trabalho não teria sido realizado.

A Joyce Alves, companheira nos trabalhos de campo e que, pela disposição em ajudar em todos os aspectos, considero coautora deste trabalho.

Aos amigos do programa de pós-graduação em CTM: Amélia, Antônio, Marcela, Javan Mota, Teodorico Silveira, Luíz Eduardo, João Rodrigo Nobre, Ricardo, Stefânia, Olívia... Foram muito bons os momentos que vivemos juntos,...

Ao Prof. Dr. Paulo Hein, pela ajuda, conhecimentos repassados e disposição em participar como membro da banca examinadora.

Aos amigos da sala de estudos da pós-graduação em CTM: Lucas, Jeyme, Luana, Rafael, Ana Elisa, Vívian, obrigado pela paciência em todos os dias desta empreitada.

Aos engenheiros florestais da turma 2006-1/UFLA, Ana Júlia, Joyce Alves, André Luíz, Fábio Zebra, Marcela Castro, Célio Helder, Geraldo Magela, Víctor Fiedler, Henrique da Gama...

À Maria Helena R. Teixeira, mãe que trouxe ao mundo minha esposa, pela amizade, simpatia e apoio espiritual. Sua ajuda foi imprescindível.

Aos Irmãos da Congregação Cristã no Brasil, pela fraternidade e apoio.

Aos integrantes da Orquestra de Câmara da UFLA, pela musicalidade e por sentirem e entenderem minha ausência a vários ensaios.

A Deus, meu Fim...

RESUMO

O cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roemer var. *australis*) é uma espécie exótica com grande potencial de fornecimento de madeira, em período curto de tempo. Sua madeira é descrita como possuindo característica intermediária entre o mogno (*Swietenia macrophylla*) e o cedro brasileiro (*Cedrella odorata*). Devido à introdução recente dessa espécie no Brasil, há carência de informações sobre a sua madeira e necessidade de seleção de materiais genéticos superiores para fins tecnológicos. Objetivou-se, no presente estudo, avaliar os dados dendrométricos de árvores vivas de Cedro Australiano, aos cinco anos de idade; obter a densidade básica real e estimada da madeira de progênies, em programa de melhoramento genético da espécie e selecionar materiais genéticos superiores quanto às características florestais e tecnológicas. Assim, por meio do teste de procedência/progênie de *Toona ciliata*, implantado na cidade de Campo Belo, no estado de Minas Gerais-Brasil, avaliaram-se 78 progênies de polinização aberta, provenientes de 16 procedências distintas da Austrália. A primeira seleção, com base no diâmetro à altura do peito (DAP), altura e forma do fuste das árvores, destacou 155 indivíduos superiores. Esses indivíduos foram ensaiados por resistografia juntamente com outros 276, selecionados por DAP próximo aos da primeira seleção. Desse segundo grupo foram obtidas em laboratório as densidades básicas médias da madeira e ajuste de modelos lineares e não lineares, em função da amplitude obtida pela resistografia. Utilizaram-se modelos mistos pelo método REML/BLUP, para avaliação genética dos indivíduos do teste de procedência e progênie. As densidades básicas médias das madeiras de *Toona Ciliata*, aos cinco anos, variaram de 0,2055 a 0,3755 g/cm³, a média geral foi 0,2917g/cm³ e o desvio padrão obtido de 0,0283g/cm³, de acordo com Melo, Coradin e Mendes (1990), é classificada como madeira leve. Os modelos lineares e não lineares ajustados para estimativa da densidade básica da madeira, com base na amplitude obtida pela resistografia apresentaram baixa precisão, portanto não respondem bem aos valores de densidade básica, observada em laboratório. A metodologia REML/BLUP, aplicada na análise do experimento, mostrou-se adequada para avaliação de *Toona ciliata*. As predições dos valores genéticos aditivos para diâmetro à altura do peito (DAP) e densidade básica, observada em laboratório (DB_{obs}) possibilitaram a indicação de indivíduos para cruzamentos controlados e obtenção de material genético de segunda geração. Foram observados elevados valores de herdabilidade para DAP ($h^2_a=0,35\pm 0,0624$) e DB ($h^2_{aj}=0,71$), sendo uma referência consistente para *Toona ciliata*.

Palavras-chave: Cedro australiano. Resistógrafo. Melhoramento genético.

ABSTRACT

Australian cedar (*Toona ciliata* M. Roemer var. *Australis*) is an exotic species with great potential for wood supply in a short period of time. Its wood is described as having characteristics intermediate between mahogany (*Swietenia macrophylla*) and Brazilian cedar (*Cedrella odorata*). Due to the recent introduction of this species in Brazil there is a lack of information on its wood and need for selection of genetically superior material for technological purposes. The present study aimed to evaluate the dendrometric data of Australian Cedar living trees at five years old; get the basic density of actual and estimated wood progenies in the breeding program of the species and select genetically superior material concerning the forest and technological characteristics. Thus, through the test of provenance/progeny of *Toona ciliata* implemented in Campo Belo city, state of Minas Gerais-Brazil, we evaluated 78 open-pollinated progenies from 16 different provenances from Australia. The first selection, based on diameter at breast height (DBH), height and stem form of trees, 155 individuals were superior. These individuals were tested by resistograph along with 276 others, selected by DAP next to the first selection. For this second group we obtained in the laboratory the basic average density of the wood and adjustment of linear and nonlinear function of the amplitude obtained by resistograph. We used mixed models by REML/BLUP for genetic evaluation of the subjects from provenance and progeny test. The basic average densities of *Toona Ciliata* woods at five years old ranged from 0.2055 to 0.3755 g/cm³, the overall average was 0.2917g/cm³ and the standard deviation obtained was 0.0283g/cm³. According Melo et al. (1990), it is classified as a softwood. The linear and nonlinear models adjusted for estimated wood density based on the amplitude obtained by resistograph showed low accuracy, so do not respond well to basic density values observed in the laboratory. The methodology REML / BLUP applied in the analysis of the experiment was adequate for evaluation of *Toona ciliata*. The predicted additive genetic values for diameter at breast height (DBH) and basic density observed in the laboratory (DB_{obs}) enabled the appointment of individuals to controlled crossings and obtaining genetic material from the second generation. We observed high heritability values for DAP ($h_a^2=0,35\pm0,0624$) and DB ($h_{aj}^2=0,71$), being a consistent reference to *Toona ciliata*.

Keywords: Australian red Cedar. Resistograph. Breeding

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	A: Árvore típica; B e C: frutos e sementes de <i>Toona ciliata</i>	20
Figura 2	Secção de um tronco de cedro australiano, destaque para o tom avermelhado da madeira	21
Figura 3	Distribuição das origens de cedro australiano na costa leste da Austrália	33
Figura 4	Planisfério indicando o intervalo entre as latitudes do local de ocorrência na Austrália (em vermelho) e local de cultivo no Brasil (em azul).....	34
Figura 5	Croqui da distribuição geográfica dos três blocos do experimento..	35
Figura 6	Esquema de classificação das árvores quanto à forma: Nota 1 - muito torto ou bifurcado desde a base; Nota 2 - permite a obtenção de uma tora de 3 m de comprimento na seção reta do fuste; Nota 3 – fuste reto, altura < 6 e DAP <17 e Nota 4 - fuste reto, altura > 6m e DAP >17 cm	37
Figura 7	Marcação das árvores e indicação das direções cardeais.....	41
Figura 8	Ilustração da composição do banco de dados da Amplitude da direção Norte ($A_N(\%)$).....	42
Figura 9	Ilustração da composição do banco de dados da Amplitude da direção Oeste ($A_O(\%)$).....	43
Figura 10	Ilustração dos valores de A (%) de resistência descartados para análise dos dados e limites inicial e final da madeira.....	45
Figura 11	Esquema de coleta dos dados dos indivíduos que foram derrubados, “A” ensaios de resistografia, “B” retirada do disco após ensaio de resistografia e derrubada da árvore	46

Figura 12 Sequência de imagens ilustrando a confecção das cunhas para determinação da densidade básica da madeira de <i>Toona ciliata</i>	47
Figura 13 Metodologia de obtenção do volume saturado das cunhas de madeira de cedro australiano	48
Figura 14 Gráficos explicitando o comportamento dos dados.....	50
Figura 15 Distribuição gráfica dos resíduos e de normalidade da equação linear polinomial, ajustada para a Amplitude Média.....	56
Figura 16 Distribuição gráfica dos resíduos e de normalidade da equação não linear assintótica, ajustada para a Amplitude Média.....	56
Figura 17 Distribuição gráfica dos resíduos e de normalidade da equação linear polinomial ajustada para as médias das progênies do Grupo 01	60
Figura 18 Distribuição gráfica dos resíduos e de normalidade da equação linear polinomial ajustada para as médias das progênies do Grupo 02.....	61
Figura 19 Distribuição gráfica dos resíduos e de normalidade da equação não linear assintótica, ajustada para as médias das progênies do Grupo 02.....	61
Figura 20 Distribuição gráfica dos resíduos e de normalidade da equação linear polinomial, ajustada para a direção Norte.....	63
Figura 21 Distribuição gráfica dos resíduos e de normalidade da equação não linear assintótica, ajustada para a direção Norte.....	63
Figura 22 Distribuição gráfica dos resíduos e de normalidade da equação linear polinomial, ajustada para a direção Oeste.....	65
Figura 23 Distribuição gráfica dos resíduos e de normalidade da equação não linear assintótica, ajustada para a direção Oeste.....	65

Figura 24 Distribuição gráfica dos resíduos e de normalidade da equação linear polinomial, ajustada para a média das direções Norte e Oeste.....	66
Figura 25 Distribuição gráfica dos resíduos e de normalidade da equação não linear assintótica, ajustada para as médias das direções Norte e Oeste	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Crítérios para classificação das árvores quanto à forma.....	36
Tabela 2	Quantidade de indivíduos candidatos a matrizes do programa de melhoramento, por bloco e progênie.....	39
Tabela 3	Parâmetros estimados para os modelos e respectivas estatísticas com base nos valores do banco de dados da A_M	55
Tabela 4	Análise de variância para médias da Amplitude (%) entre os blocos.....	57
Tabela 5	Teste de Scott-Knott aplicado às médias da Amplitude (%) em cada Bloco	57
Tabela 6	Resultado do Teste de Scott-Knott, para as Amplitudes Médias (%) das progênies	58
Tabela 7	Parâmetros estimados para os modelos e respectivas estatísticas com base na média dos valores das progênies do Grupo 01	59
Tabela 8	Parâmetros estimados para os modelos e respectivas estatísticas com base na média dos valores das matrizes do Grupo 02.....	60
Tabela 9	Parâmetros estimados para os modelos e respectivas estatísticas com base nos valores da direção Norte	62
Tabela 10	Parâmetros estimados para os modelos e respectivas estatísticas, com base nos valores da direção Oeste	64
Tabela 11	Parâmetros estimados para os modelos e respectivas estatísticas com base na média dos valores das direções Norte e Oeste	66
Tabela 12	Classificação das equações ajustadas aos bancos de dados, com suas respectivas medidas de precisão	68

Tabela 13 Os 20 indivíduos com maiores valores de DB_{est} e os 5 com menores valores de DB_{est} dos selecionados no campo como futuras matrizes, para <i>Toona ciliata</i> aos cinco anos de idade.....	69
Tabela 14 Estimativas dos parâmetros genéticos e média geral realizadas em nível de indivíduos de famílias de meios-irmãos de <i>Toona ciliata</i> var <i>australis</i> , aos cinco anos de idade, para a variável DAP	70
Tabela 15 Efeitos genotípicos (σ), valores genotípicos ($\mu + \sigma$), nova média e ganho (G%) para os 25 melhores indivíduos de <i>Toona ciliata</i> aos cinco anos de idade, para DAP.....	73
Tabela 16 Efeitos aditivos (α), e valores genéticos aditivos preditos ($\mu + \alpha$), nova média e ganho (G%), para os trinta melhores indivíduos de <i>Toona ciliata</i> aos cinco anos de idade, para DAP	75
Tabela 17 Estimativas dos parâmetros genéticos e média geral de DB_{NObs} , A_{NO} (%) e DB_{NOest} para progênies de <i>Toona ciliata</i> , aos cinco anos de idade.....	77
Tabela 18 Efeitos genotípicos (σ), valores genotípicos ($\mu + \sigma$), nova média e ganho (G%) para os 25 melhores indivíduos de <i>Toona ciliata</i> , aos cinco anos de idade, para DB_{obs}	79
Tabela 19 Efeitos aditivos (α) e valores genéticos aditivos preditos ($\mu + \alpha$), nova média e ganho (G%) para os 30 melhores indivíduos de <i>Toona ciliata</i> , aos cinco anos de idade, para DB_{obs}	80
Tabela 20 Matriz de cruzamento em fatorial entre genitores para obtenção da segunda geração do melhoramento.....	83

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1	<i>Toona ciliata</i> M. Roemer var. australis.....	19
2.2	Densidade da Madeira	23
2.3	Métodos não destrutivos para avaliação das propriedades da madeira em árvores vivas	25
2.4	Programas de Melhoramento Genético.....	28
3	MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1	Caracterização do experimento.....	32
3.2	Local e caracterização da área experimental.....	33
3.3	Teste de origem x progênie	34
3.4	Avaliação dos dados dendrométricos dos indivíduos do teste de procedência/progênie	35
3.5	Aplicação da resistografia na estimativa da densidade da madeira	40
3.5.1	Composição do Banco de Dados.....	41
3.5.2	Análise dos dados.....	44
3.6	Avaliação da densidade básica da madeira em análise destrutiva	45
3.7	Análise Estatística.....	49
3.7.1	Comportamento dos dados	49
3.7.2	Modelos estatísticos utilizados para estimativa da densidade ..	50
3.8	Seleção das matrizes, com base nas informações do inventário e da densidade estimada.....	52
3.9	Estimativa de parâmetros genéticos e predição de valores genéticos aditivos para progênies de <i>Toona ciliata</i>	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
4.1	Densidade básica média da madeira obtida em laboratório....	54
4.2	Estimativa da densidade básica média da madeira.....	54
4.2.1	Ajuste dos modelos para a Amplitude Média	55
4.2.1.1	Ajuste dos modelos para a Amplitude Média (A_M) para todas as progênies simultaneamente.....	55
4.2.1.2	Ajuste dos modelos para os dois grupos de progênies com base no banco de dados da Amplitude Média (A_M).....	57
4.2.1.2.1	Ajuste dos modelos para as progênies do Grupo 01	59
4.2.1.2.2	Ajuste dos modelos para as progênies do Grupo 02	60
4.2.2	Ajuste dos modelos para as médias da direção Norte.....	62

4.2.3	Ajuste dos modelos para a direção Oeste	64
4.2.4	Ajuste dos modelos para as médias das direções Norte e Oeste	65
4.2.5	Classificação e escolha da melhor equação ajustada	67
4.3	Estimativa de parâmetros genéticos e predição de valores genéticos aditivos para progênies de <i>Toona ciliata</i>	70
4.3.1	Predição genética para diâmetro à altura do peito - DAP	70
4.3.2	Estimativa de parâmetros genéticos e predição genética para densidade básica obtida em laboratório (DB_{NOobs}), Amplitude média ($A_{NO}(\%)$) e densidade básica estimada (DB_{NOest}) para banco de dados Norte-Oeste –NO	76
5	CONCLUSÕES	84
	REFERÊNCIAS	85
	ANEXOS	93

1 INTRODUÇÃO

A madeira e seus produtos são de grande utilização pelo homem, e geram um forte impacto na economia brasileira, participando com cerca de 3 a 4% do Produto Interno Bruto brasileiro (SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS, 2008). Segundo a classificação do Programa Nacional de Florestas - PNF (BRASIL, 2000), do Ministério do Meio Ambiente - MMA, oito cadeias produtivas principais são responsáveis pela exploração florestal no país: óleos e resinas; chapas e compensados; fármacos e cosméticos; alimentos; carvão; lenha e energia; papel e celulose; madeira e móveis.

Os dados florestais dos últimos anos apontam para um cenário real de déficit de madeira, resultante do desbalanceamento da relação entre a demanda – cada dia mais crescente por essa matéria- prima – e a oferta, ultimamente muito reduzida devido a diversas questões, como: a pressão constante e histórica sobre as florestas naturais; as restrições legais do uso, estipuladas para proteger as poucas áreas de florestas remanescentes; dentre outras.

O contexto desafiador atual exige o manejo das florestas nativas e o plantio de espécies de rápido crescimento para fornecimento de madeira, compostos naturais e derivados. O cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roemer var. *australis*) enquadra-se no segundo grupo, por ser uma espécie exótica com grande potencial de fornecimento de madeira, em período curto de tempo. Sua madeira é descrita como possuidora de características similares à do cedro brasileiro (*Cedrella odorata* e *Cedrella fissilis*), sendo uma excelente opção ao uso de madeiras nobres nativas (MURAKAMI, 2008).

No Brasil, devido à introdução recente desta espécie exótica, as informações ainda são incipientes, sobre o seu desenvolvimento em condições ambientais mais diversificadas.

Os pontos mais importantes, a serem trabalhados para possibilitar a geração de novos conhecimentos sobre o cultivo do cedro australiano nas condições brasileiras, estão vinculados ao setor madeireiro que demanda conhecimentos sobre a relação entre o crescimento rápido dessa espécie e a qualidade de sua madeira para usos de maior valor agregado, como em serrarias. Uma das maiores preocupações dos melhoristas florestais, visando utilização para esse fim, tem sido a densidade da madeira.

De modo geral, pode-se melhorar, modificar, controlar ou minimizar os fatores que afetam a qualidade da madeira, por meio de tratamentos silviculturais e de seleção e melhoramento genético (XAVIER et al., 1997).

A densidade básica é um dos atributos de qualidade mais importantes, nos vários setores da produção industrial madeireira. Visto que ela é um índice de qualidade que indica o uso final da madeira (PANSKIN; DE ZEEUW, 1970). Em setores como o siderúrgico, celulose e papel, e madeireiro a densidade pode contribuir de forma significativa na promoção de ganhos do processo e na alteração das características dos produtos (SHIMOYAMA, 1990).

Os métodos de amostragem tradicionais para a caracterização da madeira em uma árvore, normalmente, implicam no seu abate, impossibilitando que futuras inspeções sejam efetuadas. Além disso, demandam recursos e considerável quantidade de tempo (LIMA et al., 2006b). Buscando mais praticidade e a redução dessas limitações, foram desenvolvidos os métodos não destrutivos e os semidestrutivos. Entre esses, menciona-se o método que usa o Resistograph®, também conhecido como resistógrafo, um equipamento que confere maior rapidez na avaliação e mostra-se aplicável na estimativa da densidade da madeira, conforme descrito por Gonçalves (2009), Isik e Li (2003), Lima et al. (2007) e Rinn, Schweingruber e Schar (1996) e pode acarretar ganho de grande significado para as estratégias de melhoramento florestal, visto que se pode acompanhar a evolução de densidade, dentro de uma escala de tempo.

Para o melhoramento genético da madeira, a estratégia mais lógica é a definição de poucos índices de qualidade, para serem estudados com maior detalhamento sob o ponto de vista da amostragem e da obtenção de ganhos genéticos, que reflitam maiores vantagens econômicas (RODRIGUES et al., 2008).

Neste contexto, são necessários estudos sobre o comportamento florestal da espécie, como seu crescimento e propriedades da sua madeira, visando à seleção de material superior, em programas de melhoramento genético e as indicações de melhor uso final da madeira.

Objetivou-se, no presente estudo, avaliar as características dendrométricas (diâmetro, altura e forma), em árvores de *Toona Ciliata* (Cedro Australiano), aos cinco anos de idade; obter a densidade básica da madeira, por métodos destrutivos e a estimativa da densidade básica, por métodos não destrutivos, e indicar materiais genéticos superiores, quanto às características dendrométricas e tecnológicas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 *Toona ciliata* M. Roemer var. *australis*

A espécie *Toona ciliata* pertence à família botânica Meliaceae, sendo conhecida vulgarmente por cedro australiano ou cedro vermelho (*red cedar*, na Austrália). É uma árvore exótica e sua distribuição abrange a Austrália e o Sudeste da Ásia (BYGRAVE; BYGRAVE, 2005). Sendo uma árvore de climas subtropicais apresenta bom crescimento em regiões de 500 a 1.500m de altitude, com regime pluviométrico de 800 a 1.800mm/ano, com dois a seis meses de estiagem e tolera geadas leves de curta duração. Segundo Orwa et al. (2013) esta árvore cresce em locais úmidos, como margens de córregos, desde que esses locais apresentem boa drenagem, pois a umidade excessiva limita o crescimento das raízes. A regeneração natural é abundante, mesmo em áreas fora de sua ocorrência natural e se desenvolve melhor em locais protegidos do fogo e em pequenas clareiras na floresta.

O cedro australiano é uma árvore decídua, de grande porte (Figura 1), atingindo 30 m de altura e 1,2 m de circunferência. Apresenta tronco geralmente retilíneo, possui casca escura ou marrom-avermelhada, lisa até a meia-idade, depois áspera, com deiscência em placas retangulares e escamiformes. As folhas possui entre 30-50 cm de comprimento e, geralmente, são imparipenadas. As flores são pequenas com pétalas de 5mm de comprimento, perfumadas e de cor creme. Os frutos são do tipo cápsula de cor marrom escuro, oblongos geralmente lisos por fora (ORWA et al., 2013).

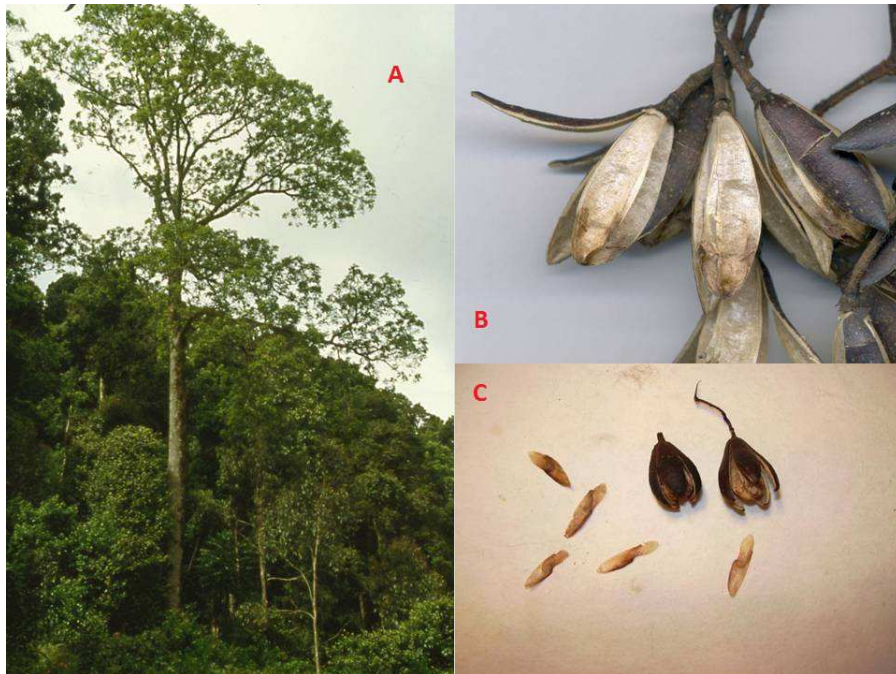


Figura 1 A: Árvore típica; B e C: frutos e sementes de *Toona ciliata*

Fonte: World Botanical Associates (2013)

A madeira do cedro australiano possui cerne marron-avermelhado (Figura 2), alborno de coloração clara e exala um odor agradável logo após ser processada (BYGRAVE; BYGRAVE, 2005). Nas regiões de origem natural tem aplicação em uma variedade de usos: construção de embarcações, marcenaria, compensados e laminados decorativos, embalagens de alimentos, móveis, instrumentos musicais, trabalhos ornamentais, materiais de construção etc. (ORWA et al., 2013).



Figura 2 Secção de um tronco de cedro australiano, destaque para o tom avermelhado da madeira

O gênero *Toona*, segundo Bygrave e Bygrave (2005), destaca-se pelo seu rápido crescimento e potencial produtivo, entre os gêneros pertencentes à subfamília *Swietenioideae*, que engloba as mais valiosas espécies de árvores das florestas tropicais, como as espécies dos gêneros *Cedrela*, *Swietenia*, *Khaya* e *Chukrasia*.

Segundo Murakami (2008), a idade “ideal” de corte do cedro australiano é aos quinze anos, podendo ser antecipada ou adiada, dependendo das condições específicas do povoamento ou da necessidade do produtor.

Souza, Barroso e Carneiro (2010) confirmam a espécie como sendo de crescimento rápido, quando comparada ao das espécies nativas exploradas para serraria. Por ser de origem tropical, necessita de elevados índices de radiação solar para melhor e mais rápido desenvolvimento, embora no estágio inicial o sombreamento favoreça o seu estabelecimento e crescimento, característica de plantas do estágio sucessional das secundárias. A espécie é moderadamente tolerante à falta de água, mas altamente responsiva à quantidade de água disponibilizada durante o seu ciclo, com incrementos acentuados e rápidos.

Apesar de ser uma espécie exótica encontrou no Brasil condições favoráveis para o seu desenvolvimento. Existem plantios concentrados nos estados da região Sudeste, com destaque para os estados do Espírito Santo e Minas Gerais (SOUZA; BARROSO; CARNEIRO, 2010).

Murakami (2008) comenta que o cedro australiano vem se destacando no segmento de madeira serrada, em virtude do ciclo relativamente curto, da boa produtividade de madeira e o valor de sua madeira no mercado interno e externo. Sua produtividade média, aos 10 anos, é de $150\text{m}^3\text{ha}^{-1}$, após desbaste para produção de madeira serrada. A implantação do cedro australiano é economicamente viável e confere investimento rentável ao produtor (SOUZA; BARROSO; CARNEIRO, 2010).

Pereyra et al. (2006) ao trabalharem com árvores de 18 e 20 anos de idade, encontraram a densidade básica de $0,337\text{g/cm}^3$ e Ziech (2008) o valor de $0,306\text{g/cm}^3$ para densidade básica média, em plantios com 4 anos de idade, estando a madeira a 12% de umidade. Segundo classificação feita por Melo, Coradin e Mendes (1990), o cedro australiano é uma madeira leve, por apresentar densidade inferior a 500kg/m^3 . É facilmente serrada tendo secagem considerada fácil, desde que se tenha o empilhamento adequado. Estima-se que sua contração seja de 4% no plano radial e 7% no plano tangencial. Soragi (2009) concluiu em seu estudo com *Toona ciliata* M. Roem, que essa apresentou superfícies usinadas de boa qualidade, mostrando-se apta para a confecção de produtos sólidos.

Outro fator de grande relevância para o cultivo desta espécie no Brasil é o fato de a *Toona ciliata* ser resistente à broca (*Hypsyphila grandella*) - que ataca a gema apical do cedro brasileiro (*Cedrela fissilis*), fazendo com que o crescimento das árvores jovens seja comprometido pela bifurcação do tronco – esse fato aumenta o seu valor para obtenção de madeira serrada. Outra qualidade

da madeira dessa árvore é sua pouca susceptibilidade ao ataque do cupim-de-madeira seca (*Cryptotermes brevis*) (CUNNINGHAM; FLOYD, 2006).

O rendimento geral é de 250m³ a 390m³ de madeira por hectare, sendo o metro cúbico da madeira cotado em R\$850,00, valor muito atraente no segmento de florestas (MURAKAMI, 2008). Por apresentar características favoráveis para sua utilização como madeira serrada, a madeira do cedro australiano atinge altas cotações no mercado interno e externo e desperta grande interesse pela implantação de novas áreas de cultivo que visem a sua comercialização (BRAGA, 2011).

2.2 Densidade da Madeira

A densidade é definida fisicamente como “massa de amostra por unidade de volume”, ela relaciona a massa ou peso seco de um material com o seu volume e é, normalmente, expressa em kg/m³ ou g/cm³. De acordo com Panshin e De Zeeuw (1970) a densidade da madeira varia entre gêneros, entre espécies e dentro do próprio indivíduo, nas diferentes regiões.

Dentre as diversas propriedades da madeira, a densidade é a mais utilizada, pela facilidade de ser determinada e por se correlacionar diretamente com as propriedades físicas e mecânicas da madeira e com a composição celular. Essa propriedade é tão importante para a classificação da madeira o que muitas vezes pode determinar o uso final dessa (PANSHIN; DE ZEEUW, 1970).

De acordo com Shimoyama (1990), a densidade básica é um dos atributos de qualidade mais utilizados nos vários setores da produção industrial madeireira. Ela é, sem dúvida, uma das propriedades mais importantes da madeira. Em setores como o siderúrgico, celulose e papel e madeireiro, a densidade pode contribuir de forma significativa na promoção de ganhos do processo e na alteração das características dos produtos.

A densidade básica (DB) é o menor valor de densidade que a madeira pode assumir, pois é obtida pela divisão da massa seca da amostra pelo seu volume saturado. A DB pode ser utilizada para comparação entre indivíduos de uma mesma espécie, entre genótipos diferentes e entre espécies.

Batista, Klitzke e Santos (2010) encontraram relação direta entre densidade básica, contração volumétrica máxima e coeficiente de retratibilidade volumétrico máximo entre espécies de *Eucalyptus*.

Klitzke (2007) relatou que, dentre os fatores inerentes à própria espécie de madeira que influenciam na sua secagem, encontram-se a estrutura anatômica, a densidade e a anisotropia. E ainda Kollmann e Côté (1968) afirmam que, em se tratando de propriedades estreitamente correlatas, quanto maior a densidade da madeira, maiores são a contração e o inchamento volumétricos, havendo uma relação praticamente linear entre essas propriedades.

Pereyra et al. (2006), estudando as propriedades físico-mecânicas e o comportamento em processos industriais da madeira de *Toona ciliata*, e outras espécies, encontrou um valor médio de densidade básica de 0,337g/cm³. Com relação às contrações tangencial e radial, a madeira apresentou valores superiores a 7% e 4%, respectivamente, resultando em um coeficiente de anisotropia de 1.9. Obtiveram também, para a madeira de *Toona ciliata*, um valor médio do módulo de ruptura e elasticidade de 468kgf/cm² e 65.118kgf/cm².

Ferreira (1968), em um dos primeiros estudos sobre variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* no Brasil, observou alta variabilidade entre e dentro das espécies *E. alba* e *E. saligna*. Essa alta variação entre árvores de mesma espécie, levou o autor a sugerir que os programas de melhoramento considerassem a densidade básica como característica de seleção de árvores matrizes.

Os estudos têm demonstrado que algumas espécies apresentam alta variabilidade entre procedências, enquanto em outras, a variabilidade é pouco expressiva. Análises envolvendo o *E. grandis* e *E. saligna* demonstraram que a variabilidade entre procedências estudadas foi bem maior que entre as espécies, indicando possibilidade de seleção para melhoramento da característica (SOUZA; CARPIM; BARRICHELO, 1986). Brasil (1983), ao estudarem a variação da densidade básica da madeira entre e dentro de procedências de *E. urophylla*, constataram que os maiores ganhos poderiam ser obtidos através da seleção entre procedências.

2.3 Métodos não destrutivos para avaliação das propriedades da madeira em árvores vivas

A coleta de dados das propriedades da madeira, sem comprometer a sobrevivência da planta, é um grande desafio em programas de melhoramento genético em que se estudam as características de árvores vivas. De acordo com Lima et al. (2006a), isso ocorre porque os métodos de amostragem para caracterização da madeira em uma árvore, normalmente, implicam no seu abate, impossibilitando que futuras inspeções sejam efetuadas, além de impedir que árvores superiores sejam matrizes em programas de melhoramento florestal. Além disso, essa amostragem convencional consome grande tempo, pois envolve: marcação e derrubada das árvores, separação das amostras, análises em laboratório, dentre outras atividades.

Buscando mais praticidade e, também reduzir essas limitações, foram desenvolvidos os chamados métodos não destrutivos e os semidestrutivos. Entre esses, menciona-se o método que usa o Resistograph®, também conhecido como resistógrafo, cuja aplicação tem sido crescente para a avaliação do lenho de árvores no Brasil (LIMA et al., 2007).

O Resistograph® foi concebido com o objetivo de criar um sistema de medição fácil de usar, robusto e preciso para detectar defeitos internos na madeira. O método é baseado na medida da resistência da madeira à penetração de uma agulha inserida com movimentação constante em uma árvore (GANTZ, 2002).

O Resistógrafo funciona da seguinte forma: uma broca de aço de 3 mm de diâmetro, é direcionada para dentro da madeira a uma determinada taxa de avanço controlada por um motor elétrico, esta taxa varia em função da espécie de madeira e do modelo empregado. Ao atravessar a madeira, a broca encontra intensidades diferentes de resistência, refletindo a condição estrutural das paredes celulares, as variações entre lenhos inicial e tardio nos anéis de crescimento, seu desenho típico (por exemplo, anéis difusos ou porosos) e a forma em que a árvore tem se desenvolvido em resposta às condições ambientais. A variação na resistência resulta em aumentos e decréscimos na intensidade de torque aplicado à haste da broca. Por meio de sensores mecânicos e eletrônicos, variações no torque correspondentes ao consumo de potência da furadeira são medidas eletronicamente, como um valor de resistência à perfuração. A medição fornecida pelo resistógrafo é denominada de amplitude, pelo fabricante, e é expressa em porcentagem. A amplitude indica o consumo energético para a broca vencer a resistência à perfuração na madeira, em relação a um valor de referência do aparelho (LIMA et al., 2007; RINN; SCHWEINGRUBER; SCHAR, 1996).

Entre os trabalhos publicados sobre a utilização do resistógrafo em madeira de *Eucalyptus* spp, pode-se citar que esse instrumento foi empregado eficientemente em *E. globulus*, com idade acima de 75 anos, para determinar a profundidade de início do apodrecimento da madeira. A correlação entre a profundidade de madeira sadia no caule, medida pela densidade em laboratório, e a profundidade de madeira sadia determinada pelo resistógrafo, resultou em

coeficientes de correlação variando de 0,977 a 0,982 (COSTELLO; QUARLES, 1999).

Lima et al. (2006a) avaliaram o desempenho do resistógrafo para estimar a densidade básica da madeira de *Eucalyptus* e concluíram que a associação entre os valores de amplitude e de densidade básica foi alta, com valores de coeficientes de correlação variando de 0,706 a 0,812.

A aplicação do resistógrafo no melhoramento da densidade da madeira foi verificada por Isik e Li (2003). Segundo esses pesquisadores, em 14 famílias de irmãos completos de *Pinus taeda*, a densidade determinada pelo método destrutivo convencional foi correlacionada com a amplitude, resultando em coeficientes de correlação considerados de fracos (0,29) a moderados (0,65), com base nos valores de árvores individuais dos quatro locais. A correlação observada para as famílias entre as duas medições, entretanto foi muito mais forte (0,92), da mesma forma que a correlação genética aditiva (0,95). A densidade da madeira e a resistência à perfuração foram consideradas como sob forte controle genético em nível de família (herdabilidade biparental $h^2 = 0,95$ para densidade da madeira e $h^2 = 0,85$ para a resistência à perfuração). A eficiência de usar o resistógrafo como um instrumento de seleção indireta para melhoramento da densidade da madeira foi 87% no nível de família.

Gonçalves (2009), ao trabalhar com quatro equipamentos de avaliação não destrutiva da densidade da madeira de cedro australiano - stress wave timer, extensômetro, pilodyn e resistógrafo -, observou que, entre os métodos testados, o de melhor aplicabilidade e viabilidade foi o resistógrafo, pois esse ocasiona muito pouco dano às árvores que devem continuar em avaliação nos testes genéticos.

A aplicação de um método com confiabilidade dos resultados e que confira maior rapidez, como o resistógrafo (GONÇALVES, 2009; LIMA et al.,

2006a, 2006b, 2007), pode promover ganho de grande significado para as estratégias de melhoramento florestal.

2.4 Programas de Melhoramento Genético

A seleção natural propicia o aparecimento de variações no florescimento, na resistência a determinados agentes climáticos e patológicos, na velocidade de crescimento, na espessura da casca, e da mesma forma, nas propriedades da madeira das espécies que ocorrem naturalmente, em áreas ecológicas diferentes (INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS - IPEF, 1976). Assim, a seleção natural pode promover variações genéticas dentro de uma espécie, por diferenças adaptativas, dentro de uma vasta área geográfica.

O conjunto das características genéticas de uma espécie, conhecido como estrutura populacional, é resultado da ação e das interações de uma série de mecanismos evolutivos e ecológicos (MARTINS, 1987). Essas variações podem ser exploradas por meio de testes conjuntos de procedência e progênie (ROSADO; CARVALHO, 2001).

No melhoramento genético, interessa-se principalmente pela variação dentro de uma espécie, que é normalmente constituída por um conjunto de populações locais, que variam em número e no padrão de distribuição espacial (FALCONER, 1981). Caixeta et al. (2003) afirmam que a variabilidade existente entre os genótipos é de vital importância, tanto para multiplicação clonal como para formação de pomar de sementes. A multiplicação clonal, visando produzir madeira com características desejáveis para usos específicos, pode ser realizada pela utilização do material presente no grupo considerado de melhor qualidade. No entanto, quando se deseja a instalação de pomar de sementes para proporcionar maior recombinação pelos cruzamentos entre os genitores

divergentes, devem ser utilizados os genótipos provenientes de grupos diferentes, principalmente aqueles que apresentaram as maiores distâncias genéticas. As sementes, originadas do pomar formado por essas árvores permitirão a condução de novos ciclos de seleção e poderão restabelecer a variabilidade genética nas populações de cedro australiano para produção de múltiplos produtos de madeira.

Na obtenção de madeira serrada de alta qualidade, várias estratégias devem ser utilizadas em conjunto, envolvendo etapas iniciadas no plantio até o processamento final da madeira. Neste contexto, a seleção e classificação de árvores (fenótipos) superiores, que forneçam material com baixa intensidade de defeitos devem ser estimuladas nos programas de melhoramento, uma vez que a maioria dessas características apresenta elevada herdabilidade, o que poderá propiciar ganhos consideráveis (CAIXETA et al., 2002).

Assim, a classificação de genótipos superiores para fins de seleção genética, em um programa de melhoramento que possibilite sua aplicação na produção de múltiplos produtos, deve ser feita com base nas propriedades da madeira, utilizando técnicas de avaliação conjunta (CAIXETA et al., 2003).

Uma pequena base genética reduz a capacidade dos indivíduos de se adaptarem às mudanças climáticas o que poderia levar à vulnerabilidade da espécie, podendo essas chegarem próximas da extinção. Por isso, é necessário considerar as variações das populações como medidas de conservação da espécie e adaptar programas de melhoramento (BYGRAVE; BYGRAVE, 2005). Pois, a principal preocupação do melhorista florestal é obter ganhos genéticos constantes e seguros em produtividade e qualidade da madeira, sem reduzir demasiadamente, a médio e longo prazo, a base genética das populações alvo do melhoramento (ZANI FILHO; BALLONI; KAGEYAMA, 1987).

A evolução do melhoramento tem mostrado que a avaliação e seleção de menor número de características propicia maiores respostas de ganho genético.

Contudo, essas poucas características devem refletir maiores ganhos econômicos e melhor estabilidade das plantas melhoradas diante das alterações ambientais. A busca dessas características para dinamizar os programas de melhoramento genético da *Toona ciliata* está se iniciando para as condições brasileiras (GONÇALVES, 2009).

Contudo, os primeiros e recentes estudos genéticos do cedro australiano, em condições brasileiras, indicam que ganhos genéticos significativos podem ser obtidos pela seleção de indivíduos e progênies superiores (FERREIRA et al., 2012; SANTOS, 2011).

No melhoramento genético de espécies perenes, frequentemente se obtém dados desequilibrados. E por esse fato, segundo Resende et al. (2001), a metodologia tradicional de análise de variância para a estimativa de parâmetros genéticos não é o mais adequado para o melhoramento de espécies perenes. Sendo necessário, portanto, a utilização de métodos que permitam uma avaliação mais precisa na predição de valores genéticos.

O REML/BLUP - ou seja, a estimativa dos componentes de variância por máxima verossimilhança residual (REML) e a predição de valores genéticos pelo melhor preditor linear não viesado (BLUP) - é um procedimento que tem sido adotado em espécies perenes com excelentes resultados para a estimativa de valores genéticos (RESENDE, 2007). Essa metodologia foi aplicada com sucesso em espécies perenes, como a acerola (PAIVA; RESENDE; CORDEIRO, 2002), o café (RESENDE et al., 2001), o chá-mate (SIMEÃO et al., 2002), o cupuaçu (SOUZA et al., 2002) e a seringueira (COSTA et al., 2002; KALIL FILHO; RESENDE; COSTA, 2000).

Ferreira et al. (2012) aplicaram o método de modelos mistos (REML/BLUP), por meio do software SELEGEN - usando o procedimento BLUP ao nível individual e medidas repetidas em cada indivíduo - na seleção de genótipos de *Toona ciliata* e concluíram que o método mostrou-se adequado

para estimar os parâmetros genéticos e predizer os valores genotípicos em situações de dados desbalanceados. Por conseguinte, é muito útil e prático para programas de melhoramento genético da espécie.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do experimento

Os genótipos utilizados no experimento constituíram-se de árvores pertencentes a 78 progênies de meios-irmãos, formadas a partir de sementes coletadas em árvores matrizes de polinização livre. Essas árvores matrizes foram selecionadas nos estados australianos de Queensland (QLD) e New South Wales (NSW).

Os locais de origem foram escolhidos por apresentarem um gradiente altitudinal que varia de 40 a 1000m e de precipitação variando de 790 a 2091 mm (Figura 3). No experimento, como forma de comparações futuras, inseriu-se ainda uma procedência de origem desconhecida disponível no mercado de sementes no Brasil.

Para produção das mudas foram utilizados tubetes de 50cm³ com substrato constituído-se de mistura de casca de *Pinus* com casca de arroz carbonizada e vermiculita fina. As adubações foram adubação de base contendo macro e micronutrientes incorporadas ao substrato antes do semeio, conforme protocolo usual da empresa Bela Vista Florestal para *T. ciliata*.



Figura 3 Distribuição das origens de cedro australiano na costa leste da Austrália
 Fonte: Google Earth (2013)

3.2 Local e caracterização da área experimental

O experimento foi implantado nas dependências da empresa Bela Vista Florestal, no município de Campo Belo, região sudoeste de Minas Gerais, latitude $20^{\circ}53'58.89''S$, $45^{\circ}17'33.04''W$ e altitude média de 945 metros. A temperatura média é de $23,5^{\circ}C$ e a precipitação pluviométrica média anual é de 1.250mm com chuvas bem distribuídas.

Na Figura 4, são apresentadas as referidas latitudes de origem e do local de implantação do experimento.

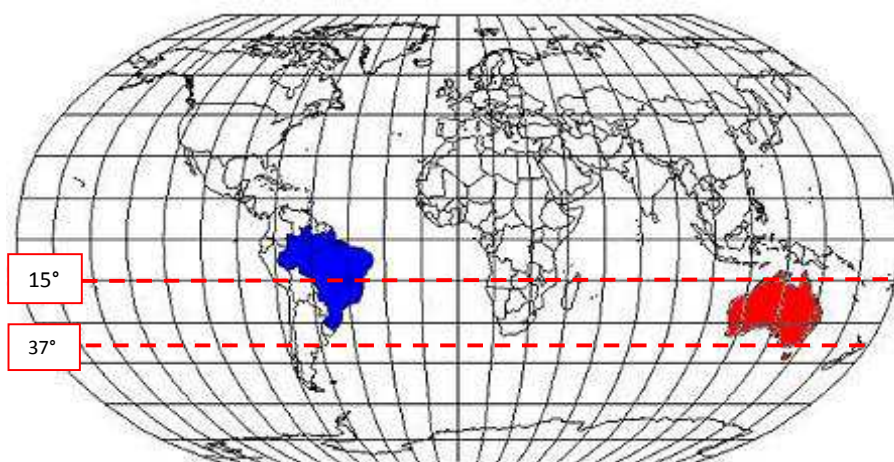


Figura 4 Planisfério indicando o intervalo entre as latitudes do local de ocorrência na Austrália (em vermelho) e local de cultivo no Brasil (em azul)

Fonte: World of Cydenis (2013)

3.3 Teste de origem x progênie

O teste de origem x progênie foi implantado no campo em janeiro de 2008. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso (DBC), três repetições e parcelas constituídas de 4 linhas x 4 plantas (16 plantas). Foi adotada uma bordadura dupla de cedro australiano em torno de todo o experimento. O espaçamento utilizado foi de 3 x 3 metros, totalizando uma área de 4,55ha, como indicado na Figura 5.

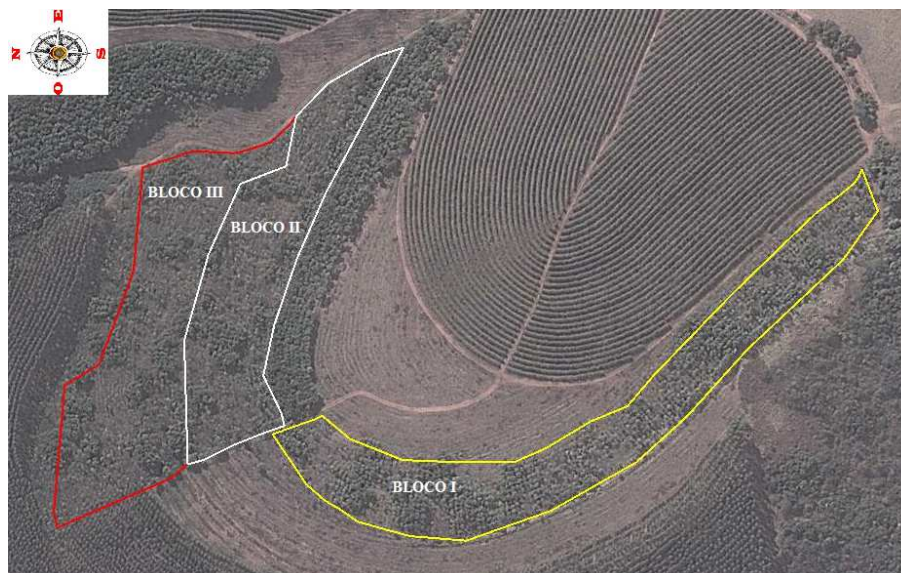


Figura 5 Croqui da distribuição geográfica dos três blocos do experimento

Fonte: Google Earth (2013)

Para realização do plantio foi realizada a subsolagem do terreno e realizada adubação com fosfato reativo, na quantidade de 400 kg/ha. Apesar da inclinação do terreno não ser muito acentuada, o plantio foi realizado em curvas de nível. De acordo com a análise de solo, não foi necessária a utilização de calcário para correção do pH. Foram mantidos os tratos culturais usuais em plantios comerciais, que compreenderam capina química entre as linhas e capina mecânica dentro da linha.

3.4 Avaliação dos dados dendrométricos dos indivíduos do teste de procedência/progênie

Visando selecionar os melhores indivíduos de cada procedência/progênie foram avaliados todos os indivíduos do experimento, à

exceção de plantas com DAP inferior a 5 cm ou quebradas pela ação de intempéries.

No bloco 1 (B1) foram avaliadas 1119 árvores, no bloco 2 (B2) 1011 árvores e no bloco 3 (B3) 1025 árvores, totalizando 3155 árvores.

As variáveis dendrométricas analisadas para cada árvore foram:

a) Diâmetro à Altura do Peito (DAP)

A coleta de dados do diâmetro das árvores foi realizada utilizando-se uma suta, disposta no tronco das árvores na altura de conforto do operador, a 1,30m do solo. A medição ocorreu sempre na direção das plantas dispostas na mesma linha de plantio.

b) Altura da árvore (H)

A altura das árvores foi obtida por meio da utilização de um clinômetro eletrônico Haglöf, calibrado para coleta de dados para altura de até 15m.

c) Forma (F)

Para a avaliação da forma do fuste de cada árvore, adaptou-se a metodologia de pontuação utilizada por Missio et al. (2004), em que cada árvore recebeu uma nota de acordo com os critérios descritos na Tabela 1 e ilustrados na Figura 6.

Tabela 1 Critérios para classificação das árvores quanto à forma

Nota	Qualidade do Fuste
1	Muito torto ou bifurcado desde a base
2	Permite a obtenção de uma tora de 3m de comprimento na seção reta do fuste
3	Fuste reto, independente da altura e DAP
4	Fuste reto, altura superior a 6 m e DAP > 17cm

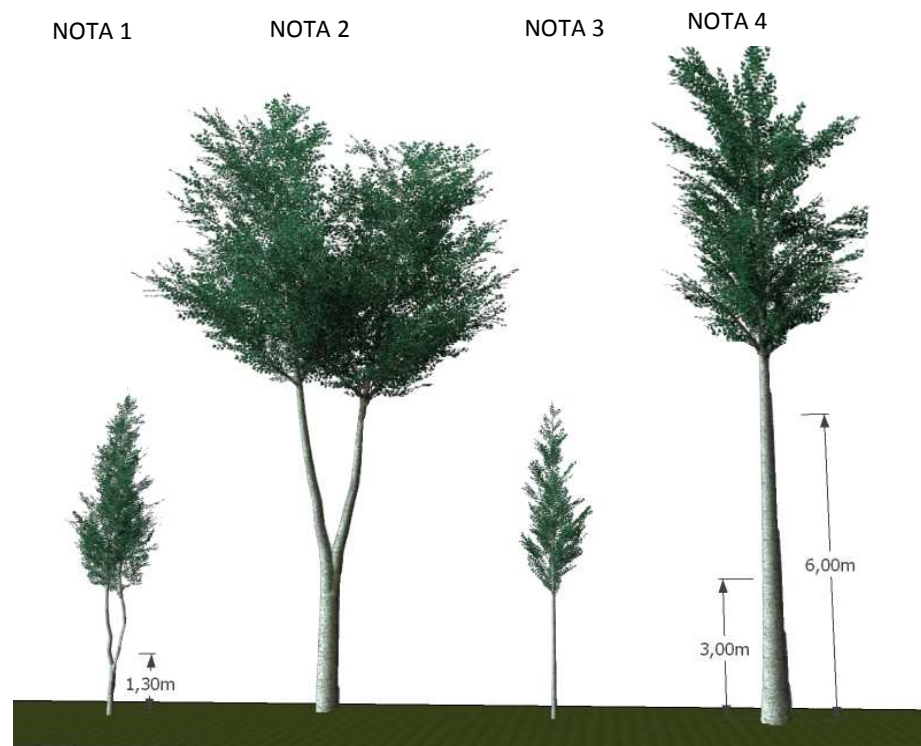


Figura 6 Esquema de classificação das árvores quanto à forma: Nota 1 - muito torto ou bifurcado desde a base; Nota 2 - permite a obtenção de uma tora de 3 m de comprimento na seção reta do fuste; Nota 3 – fuste reto, altura < 6 e DAP < 17 e Nota 4 - fuste reto, altura > 6m e DAP > 17 cm

Os dados dendrométricos foram processados no software Genes (CRUZ, 1998). A classificação das progênes ocorreu primeiramente por diâmetro, em seguida pela altura e posteriormente pela forma. Na análise, foram selecionadas as árvores que apresentaram a melhor combinação para as três características e foram acrescentados indivíduos que apresentaram desempenho superior em algum atributo, mas que por deficiência em outro não foram selecionados pelo software. Essa metodologia busca uma seleção de material superior tendo o cuidado de não incidir em uma base genética muito estreita, fato indesejável em programa de melhoramento genético consistente.

Após o processamento dos dados foi realizada uma validação em campo dos indivíduos selecionados. Esse procedimento visou garantir uma segurança maior no trabalho de seleção através da confirmação *in loco* dos resultados obtidos pelo software Genes e permitir a inclusão de indivíduos indicados - seja por bons valores de diâmetro, altura ou forma- para posteriores trabalhos de hibridação.

Os melhores indivíduos primariamente selecionados e os que foram acrescentados de acordo com os critérios da confirmação *in loco* foram destinados aos ensaios de resistografia, para estimativa da densidade básica da madeira.

Assim, por meio da classificação com base nos dados dendrométricos e no desempenho de cada progênie, foram obtidos de 1 a 8 indivíduos para cada progênie (Tabela 2), perfazendo um total de 155 árvores. Por possuírem as melhores características biométricas de interesse, esse grupo de árvores possui as candidatas a matrizes do programa de melhoramento.

Tabela 2 Quantidade de indivíduos candidatos a matrizes do programa de melhoria, por bloco e progênie

Progênie	Quantidade de Indivíduos		
	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3
2	1	-	1
5	-	1	-
11	-	2	8
12	-	3	7
13	-	3	2
18	-	1	-
21	-	3	-
22	2	-	2
23	3	4	-
24	4	2	5
31	3	2	1
32	-	1	-
42	-	4	1
50	1	1	-
59	1	1	4
72	-	2	-
75	-	1	-
76	2	5	2
78	6	3	-
79	3	6	-
80	1	3	3
88	2	3	5
89	3	2	3
90	2	2	3
98	-	3	5
99	3	2	5
100	-	1	-
TOTAL	37	62	56
TOTAL GERAL	155		

3.5 Aplicação da resistografia na estimativa da densidade da madeira

Além dos indivíduos indicados como candidatos a matrizes foram selecionados cinco indivíduos para cada progênie em cada bloco, à exceção da progênie 90, do bloco 3, em que foi possível selecionar apenas três árvores, devido à mortalidade das plantas da parcela. Esses indivíduos foram escolhidos por apresentarem DAP próximos aos selecionados na primeira etapa e todos foram analisados por meio de ensaios de resistografia. No total, foram ensaiadas 431 árvores, sendo 155 árvores das selecionadas como candidatas a matrizes e 276 árvores selecionadas pela metodologia citada acima.

O equipamento utilizado foi o Resistograph F400-S, segundo a recomendação do fabricante foi utilizada a regulação para *Soft*, devido ao fato de o cedro australiano apresentar madeira de baixa densidade. As árvores previamente selecionadas para realização do ensaio de resistografia foram marcadas no campo à altura de 1,30m do solo, correspondente à altura do peito.

A perfuração com o resistógrafo foi diametral, ou seja, de casca a casca passando pela medula. Seguiu-se a orientação cardeal, sendo realizados dois ensaios por árvore: um furo no sentido Norte-Sul (N-S) e o outro Oeste-Leste (O-L), sendo que a parte mais externa da casca foi removida numa pequena área antes de realizar o furo, apenas nas marcações correspondentes às direções cardiais de Norte (N) e Oeste (O), conforme Figura 7.

Os ensaios resistográficos foram realizados nos períodos iniciais da manhã e do final da tarde, quando os ventos são imperceptíveis ou suaves, evitando-se se eventuais efeitos de tensões internas do tronco sobre a broca. Os dados foram armazenados periodicamente em computador portátil, utilizando-se o software F-Tools Pro, versão 1.91.



Figura 7 Marcação das árvores e indicação das direções cardeais

Os cinco indivíduos de cada progênie, em cada bloco, foram abatidos após a realização dos ensaios não destrutivos e deram origem a corpos de prova para obtenção da densidade básica em laboratório. Os dados dos ensaios resistográficos e os dados de densidade básica obtidos em laboratório, desse conjunto de indivíduos abatidos, foram utilizados para ajuste dos modelos para estimativa da densidade dos 155 indivíduos selecionados como candidatos a matrizes.

3.5.1 Composição do Banco de Dados

Os dados de resistência à penetração da broca do resistógrafo, denominado por Amplitude (A (%)), foram analisados por meio da plotagem de gráficos e de tabelas elaboradas em planilhas eletrônicas.

Inicialmente, os dois ensaios realizados com o resistógrafo geraram dados correspondentes aos sentidos Norte→Sul e Oeste→Leste. As médias das amplitudes obtidas nessas duas perfurações compuseram o banco de dados de Amplitude Média (A_M). Foram formados outros três bancos de dados, a partir

dos dois ensaios realizados: o banco de dados apenas da direção Norte (A_N), composto pelas médias das amplitudes da primeira parte da medição no sentido Norte→Sul (Figura 8); o banco de dados apenas da direção Oeste (A_O), composto pelas médias das amplitudes da primeira parte da medição no sentido Oeste→Leste (Figura 9) e ainda a média das direções Norte e Oeste (A_{NO}), simultaneamente.

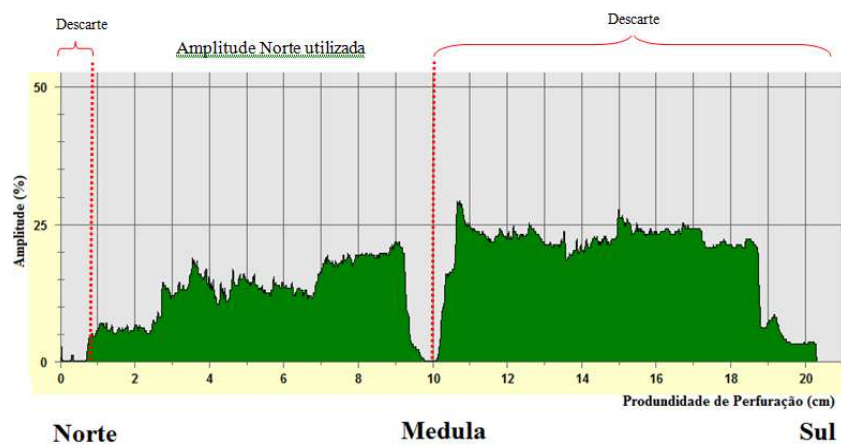


Figura 8 Ilustração da composição do banco de dados da Amplitude da direção Norte ($A_N(\%)$)

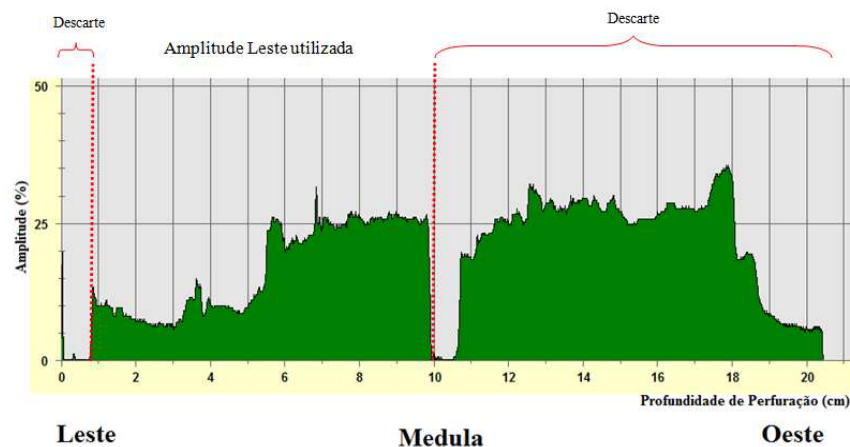


Figura 9 Ilustração da composição do banco de dados da Amplitude da direção Oeste ($A_O(\%)$)

Esta metodologia de análise da primeira parte de cada medição (A_N , A_O e A_{NO}) foi adotada, pois se observou que, para todos os ensaios resistográficos realizados, a segunda parte da medição gerou valores de amplitude mais elevados que a primeira parte. Essa tendência de aumento da amplitude de resistência à medida que a broca penetra a madeira foi anteriormente observada por Gantz (2002) e Lima et al. (2006a) ao trabalharem com madeira de eucalipto. Esse padrão crescente dos valores de Amplitude de resistência, à medida que a haste do equipamento penetra a madeira provavelmente está relacionado com as pressões internas dos elementos da madeira na broca, também algum provável desvio da broca do curso retilíneo de perfuração, dentre outros fatores intrínsecos da madeira.

3.5.2 Análise dos dados

O Resistógrafo armazena em sua unidade eletrônica 10 valores de profundidade avançada pela broca e de amplitude (%) por milímetro de penetração na madeira (IML-RESI, 2008). Esses dados foram descarregados e analisados no software F-Tools Pro 1.91. O próximo passo foi exportar esses mesmos dados para a planilha eletrônica Microsoft EXCEL[®].

No início da realização do ensaio com o resistógrafo, nos primeiros milímetros de avanço da broca, não é registrado nenhum valor de resistência à penetração, o que resulta em porcentagem zero de Amplitude. Quando a broca atravessa o tronco, ocorre um decréscimo no valor da resistência e, em seguida, uma Amplitude constante é registrada. Essas regiões não correspondem à análise da madeira e foram removidas da base de dados para se evitarem distorções nos resultados (Figura 10).

Gantz (2002) e Lima et al. (2006b) observaram que a imediata inserção da broca na madeira promove uma coleta elevada do valor de amplitude nos primeiros milímetros de perfuração da agulha. Assim como, no lado oposto do tronco da árvore, quando a agulha atravessa a madeira ocorrem picos elevados de amplitude. Esses dois picos mais pronunciados marcaram o início e o fim da coleta dos dados da Amplitude (%) para cada ensaio, sendo chamados de “Início da Madeira” e “Final da Madeira” (Figura 10).

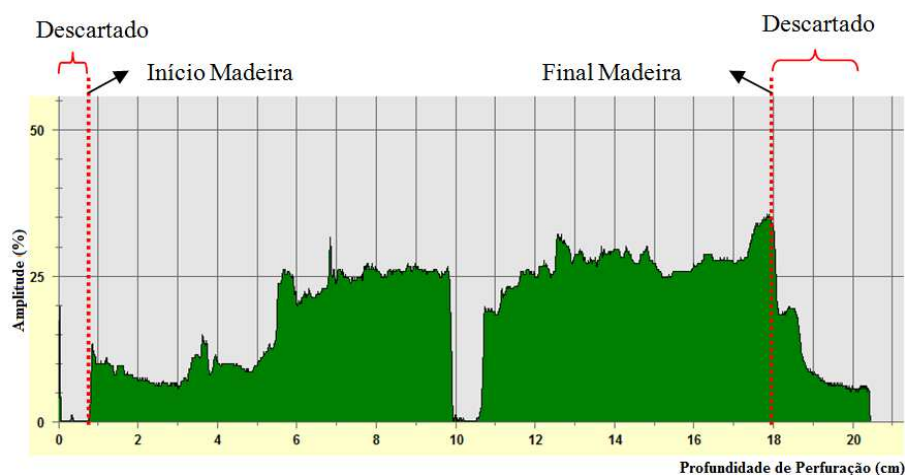


Figura 10 Ilustração dos valores de A (%) de resistência descartados para análise dos dados e limites inicial e final da madeira

3.6 Avaliação da densidade básica da madeira em análise destrutiva

Para obtenção da densidade básica da madeira em laboratório, foram extraídos discos com, aproximadamente, cinco centímetros de espessura, 2,5cm acima e 2,5cm abaixo da marcação do DAP de cada árvore (Figura 11).

No mesmo dia em que foram derrubadas as árvores, os respectivos discos foram colocados imersos dentro de recipientes com água. Após a conclusão da obtenção dos discos de todas as árvores marcadas, os mesmos foram imediatamente transportados até a Universidade Federal de Lavras, onde foram mantidos submersos. Esse procedimento visou manter a madeira com umidade acima do ponto de saturação das fibras, eliminando um erro que decorre da madeira absorver água enquanto é pesada na determinação de seu volume.

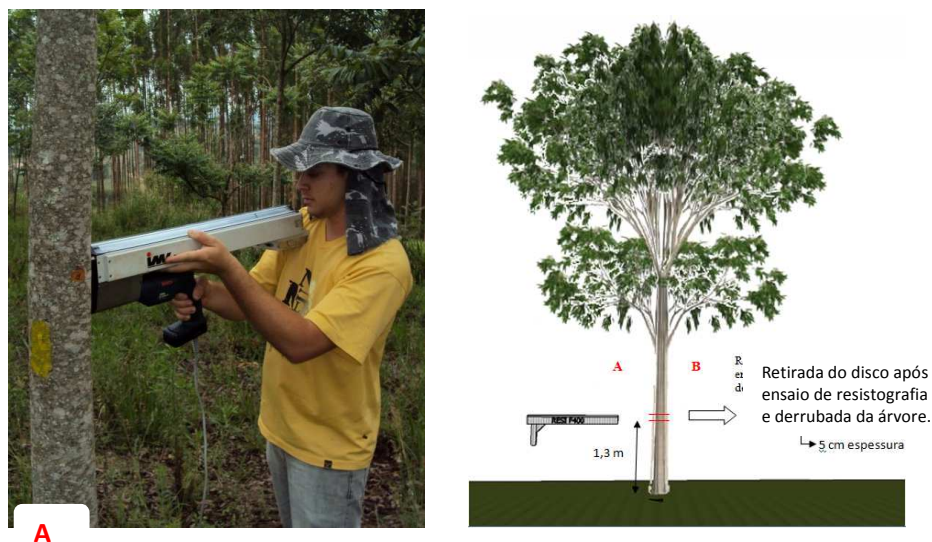


Figura 11 Esquema de coleta dos dados dos indivíduos que foram derrubados, “A” ensaios de resistografia, “B” retirada do disco após ensaio de resistografia e derrubada da árvore

De cada disco foram retiradas quatro seções em formato de cunha para avaliação da densidade básica da madeira (Figura 12). Foi calculado o volume saturado de cada cunha por uma modificação do método descrito por Kollmann e Cotê (1968) - método da balança hidrostática - sendo para isso utilizado um recipiente com água destilada, balança de precisão, suporte universal e garra para procedimento de análise (Figura 13). Esses procedimentos são baseados no Princípio de Arquimedes, em que o volume de um corpo submerso em um líquido é igual ao volume do líquido deslocado, e como foi utilizada água o volume do líquido deslocado é, numericamente, igual ao valor de massa obtido pela balança de precisão.

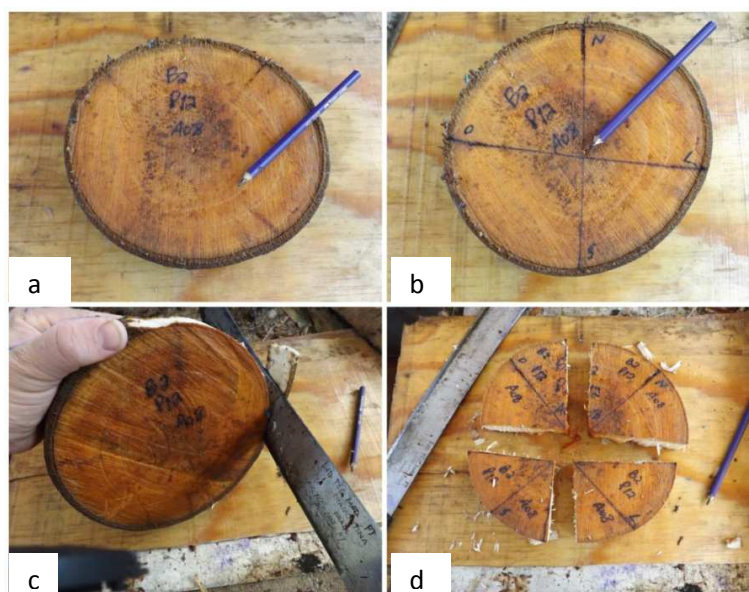


Figura 12 Sequência de imagens ilustrando a confecção das cunhas para determinação da densidade básica da madeira de *Toona ciliata*

Nota: a - Identificação do disco; b - Marcação das direções cardeais; c - remoção da casca; d - divisão do disco em quatro cunhas.

Após a obtenção do volume saturado de cada cunha essas foram armazenadas em um galpão à temperatura ambiente por 15 dias. Esse procedimento foi realizado para que a madeira perdesse água livre antes de ser levada para uma estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ até que atingissem massa constante, ou seja, quando a diferença entre duas pesagens sucessivas fosse igual ou inferior a 0,5g.



Figura 13 Metodologia de obtenção do volume saturado das cunhas de madeira de cedro australiano

A densidade básica da madeira de *Toona ciliata* foi determinada por meio da equação 1:

$$DB = \frac{Ms}{Vv} \quad (1)$$

Em que:

DB: Densidade básica média da madeira em g/cm³

Ms: Massa seca em gramas (g)

Vv: Volume verde (saturado) em cm³

Cabe ressaltar que a densidade básica média da madeira (DB) obtida neste trabalho não se refere, necessariamente, à densidade básica média da árvore, pois os valores de DB se referem à média das densidades básicas da faixa de madeira ensaiada pelo resistógrafo, à altura aproximada de 1,3m do solo. No entanto, Ziech (2008) ao trabalhar com árvores *T.ciliata* aos quatro

anos, observou que não houve variação significativa para a variação axial (base-topo) da densidade básica da madeira obtida na mesma localidade.

3.7 Análise Estatística

Os valores da densidade básica da madeira obtidos em laboratório foram utilizados para ajuste dos modelos de estimativa da densidade básica pela resistografia. Posteriormente, foram realizados testes estatísticos e ajustes dos modelos por meio do software R[©] versão 2.11.1 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010).

3.7.1 Comportamento dos dados

A plotagem das variáveis para estudo do comportamento dos dados permite observar um comportamento assintótico (Figura 14). Uma combinação dos valores de DB e A(%) correspondentes à árvore 13 da progênie 31, do bloco 1 foi removida da base de dados, pois seu comportamento é muito diferente dos demais indivíduos: DB de 0,3755g/cm³ e A(%) de 45,80%. Quando incluída na base de dados, altera o comportamento para um modelo sigmóide, revelando ser um *outlier*. Essa árvore é, portanto, um indivíduo muito interessante para reprodução vegetativa – clonagem - para obtenção de indivíduos com significativos valores de DB.

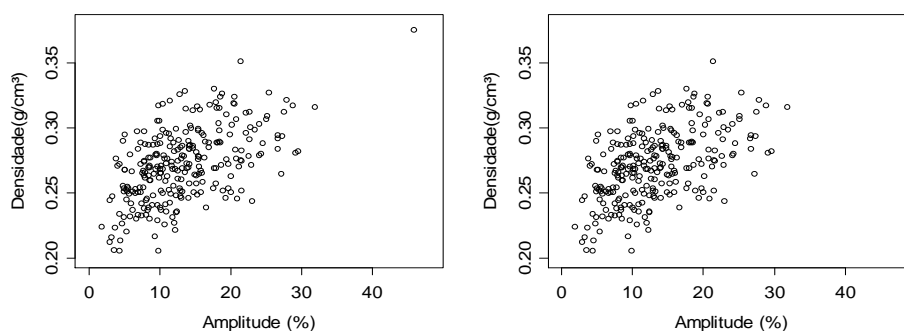


Figura 14 Gráficos explicitando o comportamento dos dados

Nota: O Gráfico da esquerda contém outlier.

3.7.2 Modelos estatísticos utilizados para estimativa da densidade

Foram ajustados modelos de regressão, buscando-se relações entre a densidade básica (DB) e a amplitude (A (%)); entre a DB e a A (%) e DAP; e ainda entre a DB e a interação entre A (%) e DAP. No entanto, a DB obtida em laboratório não apresentou nenhuma correlação com a variável DAP. Assim os modelos a serem ajustados, correlacionando essas variáveis, foram descartados.

Com base no comportamento dos dados, foram selecionados dois tipos de modelos estatísticos para estimativa da Densidade Básica (DB), em função apenas da Amplitude (A (%)) obtida por resistografia:

a) Modelo linear parabólico ou polinômio de grau 2:

$$DB_i = \beta_0 + \beta_1(A_i) + \beta_2 A_i^2 + \varepsilon_i \quad (2)$$

b) Modelo não linear assintótico:

$$DB_i = \beta_0 + [(\beta_1 - \beta_0) * \exp[-\exp(\beta_2) * A]] + \varepsilon_i \quad (3)$$

Em que:

DB_i : Estimativa da DB (g/cm³)

A_i : Amplitude (%)

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$: Parâmetros do modelo

ε_i : erro associado ao modelo

A seleção do melhor modelo foi feita com base na significância dos parâmetros do modelo, no coeficiente de determinação corrigido, no gráfico de resíduos e no erro padrão residual (Equação 4).

$$s_{yx} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y - \hat{y})^2}}{n - p} \quad (4)$$

Em que:

s_{yx} : Erro padrão residual na mesma unidade da variável resposta

y : Valor observado

\hat{y} : Valor estimado pelo modelo

n : número de observações

p : número de parâmetros

O erro padrão residual, calculado para cada modelo, representa o quanto, em termos médios, os valores observados variam em relação aos estimados. A unidade é a mesma da variável dependente (neste caso DB, em g/cm³), sendo que, quanto mais próximo de zero, mais eficiente é o modelo.

3.8 Seleção das matrizes, com base nas informações do inventário e da densidade estimada

Conforme descrito no item 3.4, a primeira seleção dos melhores indivíduos do teste de procedência e progênie foi realizada com base nos dados dendrométricos e por meio da averiguação *in loco* da seleção realizada pelo Software Genes. Após o ajuste dos modelos estatísticos, com os dados de densidade obtida em laboratório, amplitude de resistência à broca do resistógrafo e dados dendrométricos, foi calculado o valor da densidade básica estimada para as árvores indicadas como candidatas a matrizes do programa de melhoramento.

A seleção das futuras matrizes do programa de melhoramento genético ocorreu por ordem de Densidade Básica estimada (DB_{est}) e em seguida por DAP.

3.9 Estimativa de parâmetros genéticos e predição de valores genéticos aditivos para progênies de *Toona ciliata*

Para a avaliação genética do teste de procedência/progênie utilizaram-se os procedimentos de modelos mistos pelo método REML/BLUP, por meio do software estatístico SELEGEN-REML/BLUP (RESENDE, 2007).

Como o experimento foi delineado como blocos casualizados, adotou-se o modelo estatístico adequado aos testes de progênies com várias plantas por parcela, uma medição por indivíduo, um local e várias procedências. Esse procedimento classifica os indivíduos pelos seus valores genéticos preditos e fornece os parâmetros genéticos que serão utilizados para a seleção.

Segundo Resende (2002), o modelo linear misto aplicado a progênies de polinização aberta em delineamento em blocos ao acaso é:

$$y = Xr + Za + Wp + Ts + e \quad (5)$$

Em que:

Y: vetor de dados

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

a: vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (assumidos como aleatórios)

p: vetor dos efeitos de parcela (assumidos como aleatórios)

s: vetor dos efeitos de população (aleatórios)

e: vetor de erros ou resíduos (aleatórios)

X, Z, W e T: matrizes de incidência para os referidos efeitos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O material utilizado para as avaliações destrutivas e não destrutivas da madeira de cedro australiano (*Toona ciliata*), para a obtenção da densidade básica em laboratório e densidade básica estimada, estão descritos na Tabela 01 A, em ANEXO. São descritos os valores médios e coeficientes de variação para cada progênie avaliada.

4.1 Densidade básica média da madeira obtida em laboratório

As densidades básicas médias das madeiras de *Toona Ciliata*, aos cinco anos, variaram de 0,2055 a 0,3755g/cm³. A média geral foi 0,2917g/cm³ e o desvio padrão obtido de 0,0283g/cm³

4.2 Estimativa da densidade básica média da madeira

A seguir são apresentados os ajustes que foram realizados para a relação entre DB e A (%). São apresentados os parâmetros estimados para cada modelo, considerando-se o nível de confiança de 95% ($\alpha=0,05$), para os modelos e parâmetros do modelo testado, assim como os gráficos de resíduos padronizados, em função da densidade básica estimada e os gráficos de probabilidade normal - quantil-quantil plot ou Q-Q Plot -, para cada banco de dados.

4.2.1 Ajuste dos modelos para a Amplitude Média

Foram ajustados modelos lineares e não lineares buscando relação entre DB média e amplitude média obtida para o banco de dados da Amplitude Média (A_M). A análise para A_M foi realizada para todos os dados de todas as progênes simultaneamente e para os dados de dois grupos de progênes distintos, de acordo com resultado de análise de variância.

4.2.1.1 Ajuste dos modelos para a Amplitude Média (A_M) para todas as progênes simultaneamente

Na Tabela 3, são apresentados os parâmetros estimados para os modelos que foram ajustados para a relação entre DB_{AM} e A_{AM} (%), bem como as respectivas estatísticas.

Tabela 3 Parâmetros estimados para os modelos e respectivas estatísticas com base nos valores do banco de dados da A_M

Parâmetro estimado	Valor	Erro Padrão	Valor-t	Valor-p
Modelo Linear Polinomial ($S_{yx} = 0,0232$; $R^2 = 28,2$)				
β_0	0,02278	0,006567	34,686	<0,05
β_1	0,0004556	0,0009525	4,783	<0,05
β_2	0,00007493	0,0000308	-2,433	<0,05
Modelo não linear Assintótico ($S_{yx} = 0,0232$)				
β_0	0,30723	0,01322	23,248	<0,05
β_1	0,2206	0,01062	20,778	<0,05
β_2	-2,58089	0,39595	-6,518	<0,05

β_0 , β_1 e β_2 - Parâmetros dos modelos; S_{yx} - erro padrão residual (g/cm^3) e R^2 - coeficiente de determinação (%)

Pela análise das Figuras 15 e 16, pode-se observar que existe, para ambos os modelos, uma distribuição homogênea da variância ao longo do perfil dos dados e os gráficos Q-Q Plot evidenciam que, de maneira geral, os dados se agrupam em torno da linha gerada no diagrama, evidenciando normalidade dos dados. Os dois modelos apresentaram idênticos valores de erro padrão residual ($0,0232\text{g/cm}^3$), indicando que ambos possuem o mesmo poder de ajustamento e representação dos dados. O coeficiente de determinação obtido para o modelo linear parabólico ($R^2=28,2\%$) é um valor muito baixo e indica uma baixa precisão do modelo.

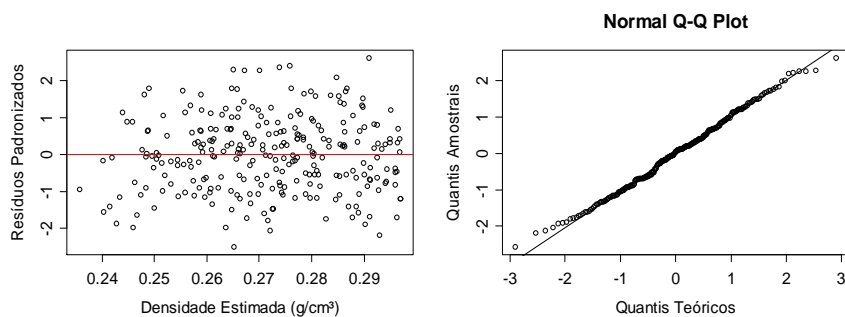


Figura 15 Distribuição gráfica dos resíduos e de normalidade da equação linear polinomial, ajustada para a Amplitude Média

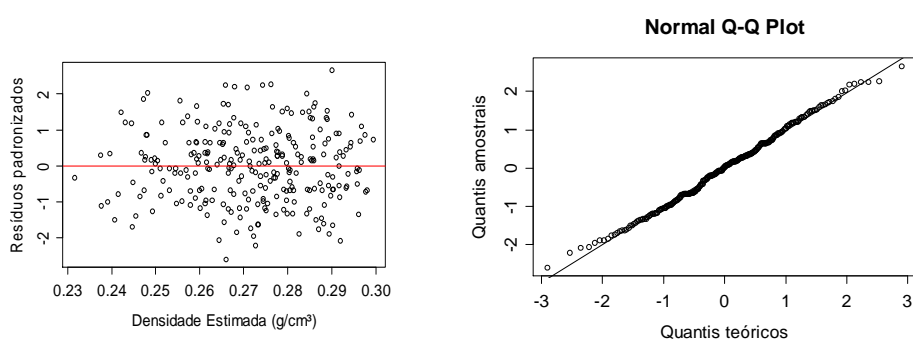


Figura 16 Distribuição gráfica dos resíduos e de normalidade da equação não linear assintótica, ajustada para a Amplitude Média

4.2.1.2 Ajuste dos modelos para os dois grupos de progênies com base no banco de dados da Amplitude Média (A_M)

Foi realizada a análise de variância para verificar se houve diferença entre as médias das progênies e blocos (Tabela 4). O resultado do teste foi significativo, ou seja, houve diferença entre as médias dos blocos e entre progênies. Na Tabela 5, pode-se observar que o Bloco 1 obteve o maior valor médio para Amplitude Média (A_M (%)) que foi de 19,81% e o Bloco 3 obteve o menor valor médio de A_M (%), correspondendo a 10,36%.

Tabela 4 Análise de variância para médias da Amplitude (%) entre os blocos

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	2	4.243,95	2.121,97	104,067	0.0000
PROG	26	2.139,72	82,30	4,036	0.0000
erro	241	4.914,11	20,39		
Total corrigido	269	11.297,78			

CV(%) = 34,02; Média geral: 13,27

Tabela 5 Teste de Scott-Knott aplicado às médias da Amplitude (%) em cada Bloco

Blocos	Médias	Resultados do teste
3	10,36	a
2	11,27	a
1	19,81	b

O resultado do teste de Scott-Knott (Tabela 5) para as Amplitudes médias das progênies para o banco de dados Amplitude Média (A_M) permitiu a separação dessas em 2 grupos distintos: GRUPO 1 formado pelas 11 progênies, que apresentaram o menor valor de A (%), na faixa entre 7,58% a 11,91% e

Grupo 2 formado por 16 progênies com A (%) de 12,54% a 16,94%, conforme Tabela 6.

Tabela 6 Resultado do Teste de Scott-Knott, para as Amplitudes Médias (%) das progênies

Progênies	Amplitudes Médias (%)	Resultados do teste
21	7.58	a
5	7.59	a
32	7.80	a
98	8.07	a
11	8.80	a
2	10.12	a
13	10.49	a
59	10.61	a
75	10.69	a
100	10.91	a
80	11.91	a
50	12.54	b
90	13.12	b
42	13.76	b
18	13.83	b
22	13.85	b
12	13.95	b
72	14.54	b
79	14.68	b
76	14.88	b
99	15.23	b
89	15.23	b
23	15.41	b
78	16.39	b
88	16.63	b
31	16.79	b
24	16.94	b

*Médias seguidas pela mesma letra pertencem a um mesmo grupo pelo teste Scott-Knott, a 5% de significância.

4.2.1.2.1 Ajuste dos modelos para as progênies do Grupo 01

Os ajustes de modelos para determinação da DB para as progênies pertencentes ao Grupo 01 (A (%), média na faixa entre 7,58% a 11,91%), são apresentados na Tabela 7. O modelo não linear assintótico não apresentou ajuste satisfatório, pois seus parâmetros foram não significativos.

Tabela 7 Parâmetros estimados para os modelos e respectivas estatísticas com base na média dos valores das progênies do Grupo 01

Parâmetro estimado	Valor	Erro Padrão	Valor-t	Valor-p
Modelo Linear Polinomial ($S_{yx} = 0,0231$; $R^2 = 26,92$)				
β_0	0,2181	0,01002	21,767	<0,05
β_1	0,005846	0,001767	3,308	<0,05
β_2	0,0001216	0,00006927	-1,755	0,08278

β_0 , β_1 e β_2 - Parâmetros dos modelos; S_{yx} - erro padrão residual (g/cm^3) e R^2 - coeficiente de determinação (%)

O modelo linear para os dados do Grupo 01 apresentou erro padrão residual de $0,0231 \text{ g/cm}^3$, coeficiente de determinação baixo ($R^2=26,92\%$) e no gráfico Q-Q Plot um ligeiro afastamento em relação à reta de 45° de referência para a normalidade dos dados, indicando que os dados apresentam um comportamento não adequado à Distribuição Normal (Figura 17).

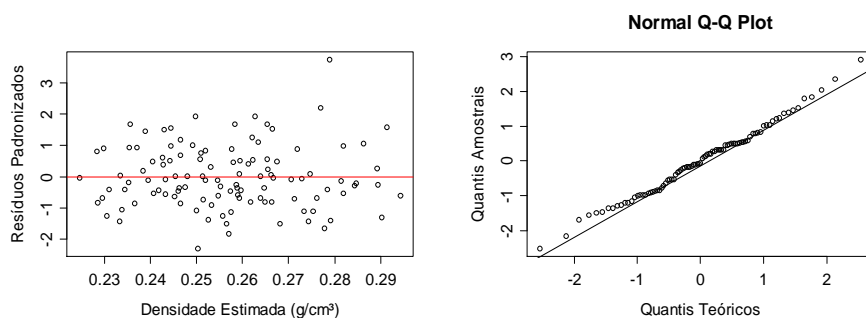


Figura 17 Distribuição gráfica dos resíduos e de normalidade da equação linear polinomial ajustada para as médias das progênes do Grupo 01

4.2.1.2.2 Ajuste dos modelos para as progênes do Grupo 02

Os ajustes de modelos para determinação da DB para as progênes pertencentes ao Grupo 02 (A (%), média entre 12,54% a 16,94%), são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 Parâmetros estimados para os modelos e respectivas estatísticas com base na média dos valores das matrizes do Grupo 02

Parâmetro estimado	Valor	Erro Padrão	Valor-t	Valor-p
Modelo Linear Polinomial ($S_{yx}= 0,0231$; $R^2= 19,70$)				
β_0	0,2415	0,009935	24,306	<0,05
β_1	0,003028	0,001311	2,310	<0,05
β_2	-0,00003484	0,00003950	-0,882	0,3790
Modelo Não Linear Assintótico ($S_{yx}= 0,0231$)				
β_0	0,32533	0,04785	6,799	<0,05
β_1	0,23859	0,01365	17,475	<0,05
β_2	-3,16581	1,0352	-3,058	<0,05

β_0 , β_1 e β_2 - Parâmetros dos modelos; S_{yx} - erro padrão residual (g/cm^3) e R^2 - coeficiente de determinação (%)

O coeficiente de determinação do modelo linear parabólico para o Grupo 02 foi o mais baixo encontrado entre os modelos lineares, ajustados para todas as bases de dados. O parâmetro β_2 do referido modelo foi não significativo, ou seja, pode ser dispensada sua inclusão no modelo. Ambos os modelos, linear e não linear, apresentaram o mesmo padrão de dispersão dos resíduos e bom ajustamento à reta guia do gráfico de normalidade dos quantis (Figura 18 e Figura 19).

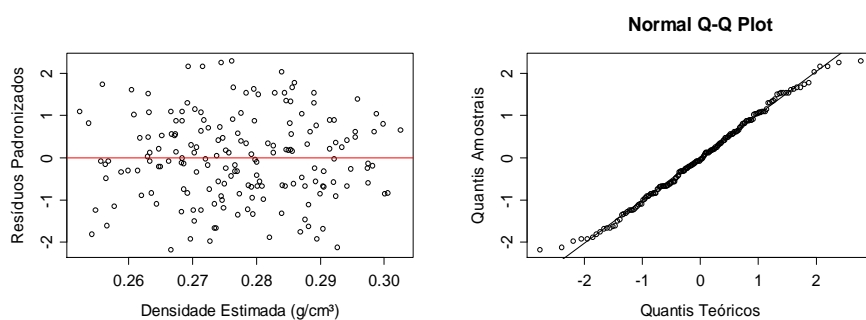


Figura 18 Distribuição gráfica dos resíduos e de normalidade da equação linear polinomial ajustada para as médias das progênes do Grupo 02

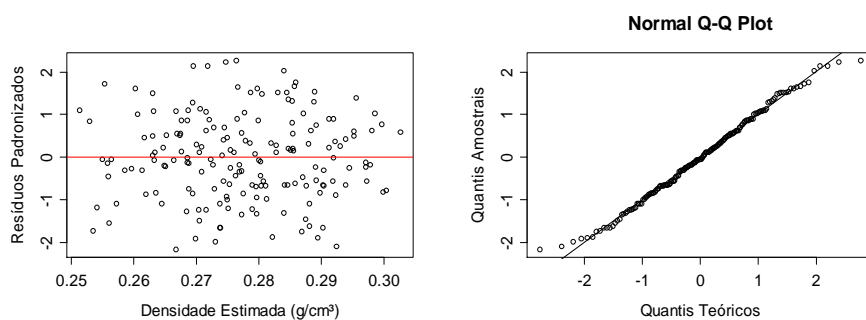


Figura 19 Distribuição gráfica dos resíduos e de normalidade da equação não linear assintótica, ajustada para as médias das progênes do Grupo 02

4.2.2 Ajuste dos modelos para as médias da direção Norte

Foi realizado o ajuste de modelos matemáticos entre os valores de DB e A (%), para a cunha da direção Norte dos discos obtidos ao DAP.

Tabela 9 Parâmetros estimados para os modelos e respectivas estatísticas com base nos valores da direção Norte

Parâmetro estimado	Valor	Erro Padrão	Valor-t	Valor-p
Modelo Linear Polinomial ($S_{yx}= 0,0229$; $R^2=21,7$)				
β_0	0,235123	0,0052833	44,503	<0,05
β_1	0,0061989	0,0010805	5,737	<0,05
β_2	-0,0001809	0,0000462	-3,915	<0,05
Modelo Não Linear Assintótico ($S_{yx}= 0,0227$)				
β_0	0,286429	0,003514	81,51	<0,05
β_1	0,210478	0,013023	16,162	<0,05
β_2	-1,429457	0,233255	-6,128	<0,05

β_0 , β_1 e β_2 - Parâmetros dos modelos; S_{yx} - erro padrão residual (g/cm^3) e R^2 - coeficiente de determinação (%)

Na Tabela 9 são apresentados os valores dos parâmetros estimados e respectivas estatísticas, foi obtido para o modelo não linear assintótico o menor valor de erro padrão residual ($0,0227g/cm^3$), e significância de todos os parâmetros (β_0 , β_1 e β_2), indicando que esse modelo é o mais indicado quando se analisa a relação entre a DB e a A (%), para a cunha da direção cardinal Norte. O modelo linear polinomial apresentou erro padrão residual ligeiramente maior e coeficiente de determinação baixo de 21,7%.

Nas Figuras 20 e 21, é possível observar que os dados apresentam distribuição normal devido ao padrão de dispersão homogênea à reta traçada no diagrama do gráfico Q-Q Plot. Os gráficos de resíduos evidenciam um ligeiro

agrupamento dos valores na região de maiores valores de densidade estimada para o modelo polinomial, sendo que, para o modelo não linear assintótico esse agrupamento é ainda mais acentuado conferindo um comportamento heterogêneo da variância ao longo da amplitude dos valores estudados. Por esses atributos indesejáveis no ajustamento dos modelos, os mesmos não serão indicados para estimativa da densidade básica.

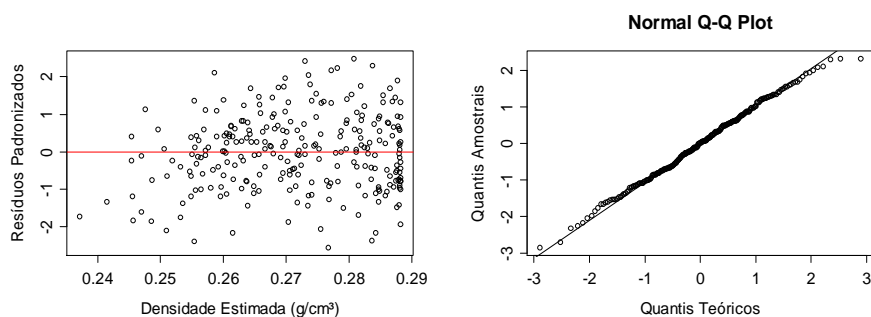


Figura 20 Distribuição gráfica dos resíduos e de normalidade da equação linear polinomial, ajustada para a direção Norte

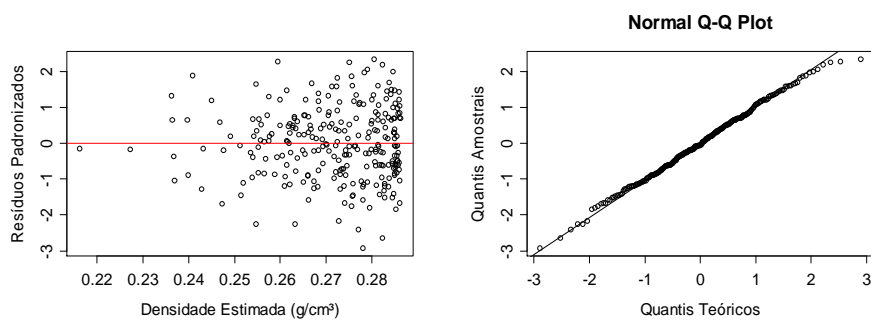


Figura 21 Distribuição gráfica dos resíduos e de normalidade da equação não linear assintótica, ajustada para a direção Norte

4.2.3 Ajuste dos modelos para a direção Oeste

A seguir, apresentam-se os parâmetros dos modelos e respectivas estatísticas dos ajustes entre os valores de DB e A (%), para a cunha da direção Oeste dos discos obtidos ao DAP.

Tabela 10 Parâmetros estimados para os modelos e respectivas estatísticas, com base nos valores da direção Oeste

Parâmetro estimado	Valor	Erro Padrão	Valor-t	Valor-p
Modelo Linear Polinomial ($S_{yx}= 0,0238$; $R^2= 20,9$)				
β_0	0,02529	0,003769	67,096	<0,05
β_1	0,003111	0,000672	4,629	<0,05
β_2	0,00004543	0,00002475	-1,836	0,0676
Modelo Não Linear Assintótico ($S_{yx}= 0,0233$)				
β_0	0,289285	0,003219	89,88	<0,05
β_1	0,224308	0,010778	20,81	<0,05
β_2	-1,355768	0,260209	-5,21	<0,05

β_0 , β_1 e β_2 - Parâmetros dos modelos; S_{yx} - erro padrão residual (g/cm^3) e R^2 - coeficiente de determinação (%)

O modelo não linear assintótico, ajustado para os valores médios da direção Oeste apresentou boa dispersão das observações no gráfico de normalidade e erro padrão residual inferior ao modelo linear, mas o gráfico de resíduos indicou um agrupamento na região de maiores valores de densidade estimada. Esse comportamento indesejado não foi observado no gráfico de resíduos para o modelo linear, que apesar de o parâmetro β_2 ser não significativo, é o modelo mais indicado para modelagem dos dados médios da direção Oeste (Figuras 22 e 23).

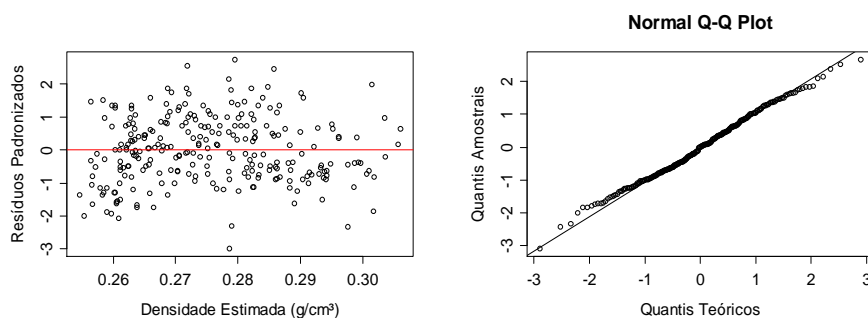


Figura 22 Distribuição gráfica dos resíduos e de normalidade da equação linear polinomial, ajustada para a direção Oeste

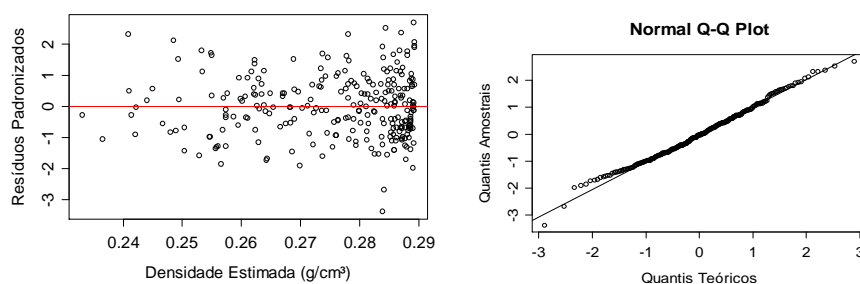


Figura 23 Distribuição gráfica dos resíduos e de normalidade da equação não linear assintótica, ajustada para a direção Oeste

4.2.4 Ajuste dos modelos para as médias das direções Norte e Oeste

Ambos os modelos ajustados para o banco de dados das médias das direções Norte e Oeste apresentaram boa distribuição no gráfico de normalidade (Q-Q Plot), os dados, de maneira geral, se agrupam em torno da reta criada pelo diagrama quantil-quantil (Figuras 24 e 25). O modelo não linear foi rejeitado para esse banco de dados, pois se observou que o gráfico de dispersão dos resíduos apresenta um acentuado agrupamento dos valores, na área dos maiores valores de densidade estimada (Figura 25).

Tabela 11 Parâmetros estimados para os modelos e respectivas estatísticas com base na média dos valores das direções Norte e Oeste

Parâmetro estimado	Valor	Erro Padrão	Valor-t	Valor-p
Modelo Linear Polinomial ($S_{yx}= 0,0221$; $R^2= 22,48$)				
β_0	0,0243	0,003769	52,117	<0,05
β_1	0,004614	0,000672	5,087	<0,05
β_2	-0,0001055	0,00002475	-2,852	<0,05
Modelo Não Linear Assintótico ($S_{yx}= 0,0214$)				
β_0	0,28606	0,002798	102,234	<0,05
β_1	0,198198	0,015691	12,631	<0,05
β_2	-1,204042	0,204817	-5,879	<0,05

β_0 , β_1 e β_2 - Parâmetros dos modelos; S_{yx} - erro padrão residual (g/cm^3) e R^2 - coeficiente de determinação (%)

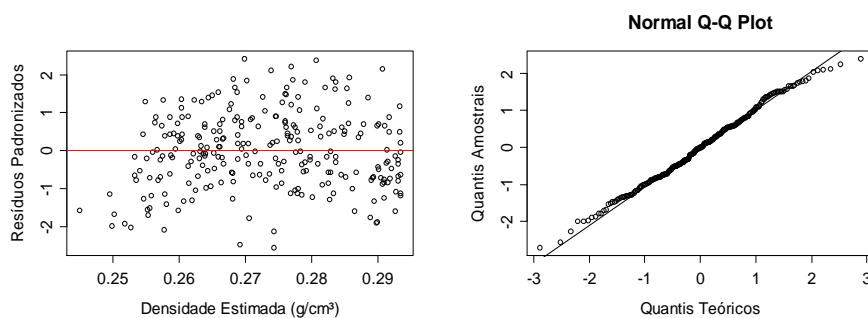


Figura 24 Distribuição gráfica dos resíduos e de normalidade da equação linear polinomial, ajustada para a média das direções Norte e Oeste

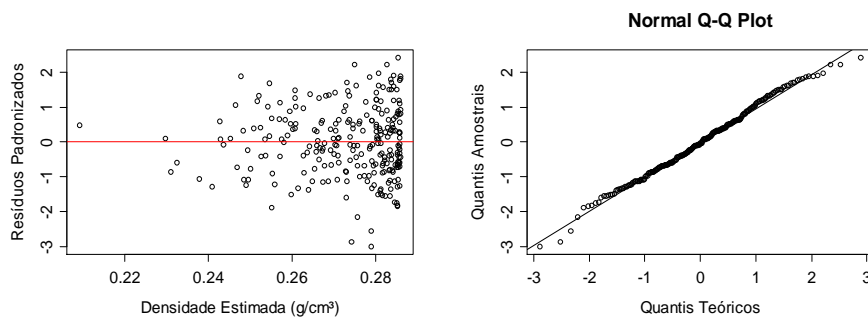


Figura 25 Distribuição gráfica dos resíduos e de normalidade da equação não linear assintótica, ajustada para as médias das direções Norte e Oeste

4.2.5 Classificação e escolha da melhor equação ajustada

Os gráficos de resíduos, erro padrão residual e coeficiente de determinação de cada equação ajustada nortearam a classificação e indicação da equação que propicia um melhor ajuste dos dados (Tabela 12). Todas as equações lineares apresentaram R^2 baixos (entre 19,70% e 28,16%), portanto o critério de seleção baseou-se na equação com menor erro padrão residual.

Tabela 12 Classificação das equações ajustadas aos bancos de dados, com suas respectivas medidas de precisão

Posição	BD	Equações dos modelos ajustados	S _{yx}	R ²
1°	A _{NO}	DB= 0,243+0,004614* A _{NO} - 0,0001055*A _{NO} ²	0,0221	22,48
2°	A _N	DB= 0,235123+0,0061989* A _N - 0,0001809 A _N ²	0,0229	21,70
3°	A _M Grupo 02	DB= 0,2415+0,003028*(A _{4D})	0,0231	19,70
4°	A _M Grupo 02	DB= 0,32533+(0,23859-0,32533)* exp (-exp (-3,16581)* A _{4D})	0,0231	-
5°	A _M	DB= 0,2278+0,004556* A _{4D} + 0,00007493* A _{4D} ²	0,0232	28,16
6°	A _M	DB= 0,30723+(0,2206-0,30723)* exp (-exp (-2,58089)* A _{4D})	0,0232	-
7°	A _M Grupo 01	DB= 0,2181+0,005846* A _{4D}	0,0232	26,92
8°	A _O	DB= 0,02529+0,003111* A _O	0,0238	20,90

BD: Banco de dados utilizado no ajuste dos modelos; DB: densidade básica média da madeira (g/cm³); S_{yx}: erro padrão residual (g/cm³)

A equação com menor erro padrão residual (0,0221 g/cm³) foi a linear polinomial para o banco de dados A_{NO}, composta pela média das Amplitudes médias das direções Norte e Oeste. Essa equação foi utilizada para obtenção da Densidade Básica estimada (DB_{est}) das árvores indicadas como matrizes do programa de melhoramento (Tabela 13), conforme metodologia descrita nos itens 3.4 e 3.5.

A estimativa da densidade básica retornou valores entre 0,2509 e 0,2934g/cm³. A procedência *Iron Range* obteve o maior destaque entre todas as progênies avaliadas e classificadas com base na DB_{est}, apresentando nove indivíduos entre os vinte melhores ranqueados com valores entre 0,2910 e 0,2934 g/cm³.

Tabela 13 Os 20 indivíduos com maiores valores de DB_{est} e os 5 com menores valores de DB_{est} dos selecionados no campo como futuras matrizes, para *Toona ciliata* aos cinco anos de idade

Ind	BL	Prog	Origem	Arv	DAP (cm)	H (m)	F	A _{NO} (%)	DB _{est} (g/cm ³)
1	1	78	Iron Range	8	14	10,5	3	21,82	0,2934
2	1	89	Iron Range	13	16	9,4	3	22,18	0,2934
3	1	99	Pascoe River	11	16,7	9,9	3	22,45	0,2934
4	1	50	Teviot Brook	10	17	8,8	3	22,48	0,2934
5	1	90	Iron Range	12	13,5	7	3	21,25	0,2934
6	1	99	Pascoe River	9	17,1	9,7	3	22,77	0,2934
7	1	88	Iron Range	13	18,6	9,6	2	20,64	0,2933
8	1	31	Blue Mountain	7	17,5	9,2	3	20,48	0,2932
9	1	2	Atherton	11	16,9	8,9	2	20,23	0,2932
10	1	31	Blue Mountain	4	16,5	9,5	3	23,71	0,2931
11	1	80	Iron Range	15	20,8	9,3	2	19,98	0,2931
12	1	90	Iron Range	1	15,3	8,3	2	19,55	0,2929
13	1	59	Atherton	1	14,1	8,1	3	19,42	0,2928
14	1	24	Shipton Flat	6	19	9,9	3	18,99	0,2926
15	1	99	Pascoe River	2	16,6	9,4	2	24,95	0,2924
16	1	78	Iron Range	4	17,8	10,2	3	18,7	0,2924
17	1	78	Iron Range	9	17	10,9	3	18,67	0,2924
18	1	23	Shipton Flat	6	17,6	7,4	1	18,61	0,2923
19	1	24	Shipton Flat	14	19	11,3	3	18	0,2919
20	1	79	Iron Range	1	15,1	10,5	3	17,05	0,291
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
151	3	11	Pascoe River	11	21,6	12,8	2	3	0,2559
152	3	88	Iron Range	7	21,5	13,6	3	2,71	0,2547
153	3	13	Pascoe River	8	17,8	13,7	2	2,18	0,2526
154	2	21	Shipton Flat	2	18,4	9,8	3	2,09	0,2522
155	2	59	Atherton	5	14,7	8,8	3	1,78	0,2509

Prog: progênie; Arv: árvore marcada no campo; DAP: diâmetro à altura do peito; H: altura em metros; F: nota para forma do fuste; A_{NO}: Média das amplitudes médias das direções Norte e Oeste; DB_{est}: densidade básica média estimada.

4.3 Estimativa de parâmetros genéticos e predição de valores genéticos aditivos para progênies de *Toona ciliata*

A seguir, são apresentados os valores estimados dos parâmetros genéticos e valores genéticos aditivos preditos para DAP, DB_{obs} , $A_{média}$ e DB_{est} .

4.3.1 Predição genética para diâmetro à altura do peito - DAP

As estimativas dos parâmetros genéticos obtidos na avaliação de progênies de meio-irmãos de cedro australiano aos cinco anos de idade, para a característica DAP são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 Estimativas dos parâmetros genéticos e média geral realizadas em nível de indivíduos de famílias de meios-irmãos de *Toona ciliata* var *australis*, aos cinco anos de idade, para a variável DAP

Parâmetros	DAP (cm)
σ_a^2	6,6475
σ_{pare}^2	0,9164
σ_{proc}^2	3,9046
σ_e^2	7,7658
σ_f^2	19,2343
h_a^2	$0,35 \pm 0,0624$
c_{pare}^2	0,0476
c_{proc}^2	0,20
$CV_{gi}\%$	24,86
$CV_{gp}\%$	12,43

“Tabela 14, conclusão”

Parâmetros	DAP (cm)
CV _e %	12,62
CV _r	1,97
μ	10,37

$\hat{\sigma}_a^2$: variância genética aditiva; $\hat{\sigma}_{\text{parc}}^2$: variância ambiental entre parcelas; $\hat{\sigma}_{\text{proc}}^2$: variância ambiental entre procedências; $\hat{\sigma}_e^2$: variância residual; $\hat{\sigma}_f^2$: variância fenotípica individual; h_a^2 : herdabilidade individual no sentido restrito; c_{parc}^2 : coeficiente de determinação dos efeitos de progênies; c_{proc}^2 : coeficiente de determinação dos efeitos de procedências; CV_{gi}%: coeficiente de variação genotípica; CV_{gp}%: coeficiente de variação genotípica entre progênies; CV_e%: coeficiente de variação residual; CV_r: razão CV_{gi}(%)/CV_e(%) e μ: média geral.

Para as estimativas dos parâmetros genéticos em nível de indivíduo, para a característica DAP foram utilizados os dados das 431 árvores selecionadas, conforme descrito no item 3.5.

O coeficiente de variação do DAP indica que há uma grande variabilidade entre os genótipos. Isso pode ser confirmado pelo parâmetro coeficiente de variação residual (CV_r) que é obtido pela razão entre o coeficiente de variação genotípica (CV_{gi}) e coeficiente de variação residual (CV_e) que apresentou valor superior a 1,0, indicando a viabilidade da seleção para obtenção de ganhos genéticos expressivos. Santos (2011) também encontrou valores para o parâmetro CV_r acima de 1,0 para a variável diâmetro, avaliada em diferentes idades do estado juvenil de *Toona ciliata*.

Verifica-se uma boa herdabilidade genética aditiva para a variável DAP ($h_a^2 = 35\%$). Em estudo com *Pinus patula* em dois locais, Kageyama et al. (1977) alcançaram para altura e DAP, herdabilidade de 28,73% e 18,72% respectivamente para um local e 16,23% e 13,73 para o segundo local. O DAP é considerado a característica mais importante para fins de seleção, para a produção de madeira em *E. urophylla* e *E. grandis* (ROCHA et al., 2007). Trabalhos com eucalipto, estudando-se a característica DAP, revelaram valores

de herdabilidade satisfatórios próximos de 30% (MARTINS et al., 2003; PIRES, 1996). Rocha et al. (2007) afirmam que as estimativas de herdabilidade de 0,2785 e 0,2247 e precisão de 0,61 e 0,53, respectivamente, são satisfatórias para a seleção de genótipo, com base em DAP para *E. urophylla* e *E. grandis*. Assim, o valor de herdabilidade estimado para DAP (Tabela 14) encontra-se um pouco acima dos valores citados para outras espécies, sendo uma referência consistente para *Toona ciliata*.

Foram estimados os efeitos genotípicos (\hat{G}), valores genotípicos ($\mu_{\hat{G}} + \hat{G}$), efeitos aditivos (\hat{A}), valores genéticos aditivos preditos ($\mu_{\hat{A}} + \hat{A}$), nova média e ganho (G%), para os 25 melhores indivíduos de *Toona ciliata*, aos cinco anos de idade, para a característica DAP (Tabelas 15 e 16).

Entre as 25 árvores selecionadas, considerando-se a propagação assexuada, portanto ranqueadas por \hat{G} (Tabela 15), 23 árvores também foram observadas como as melhores árvores para propagação sexual, ranqueadas por \hat{A} (Tabela 16). A sequência de ordenamento dos indivíduos, para cada tipo de propagação, foi alterada conforme recomendações de Resende e Dias (2000), que realizaram trabalho de seleção para a característica número de frutos por planta, em progênies de cacau.

A seleção dos melhores indivíduos com base no sistema de propagação (sexual ou assexual) é estreitamente ligada aos objetivos do programa de melhoramento da espécie. Se um desses objetivos visa à transformação do teste de progênie em um pomar de sementes, as árvores devem ser selecionadas com base em \hat{A} , assim como quando o objetivo é o fornecimento de material para criar um pomar ou minijardim de sementes clonal, a seleção dos indivíduos com base em \hat{A} maximiza o ganho genético (MISSIO et al., 2005).

Os valores genotípicos ($\mu_{\hat{G}} + \hat{g}$) e valores genéticos aditivos preditos ($\mu_{\hat{G}} + \hat{a}$) para as 25 melhores árvores variaram 20,65 a 17,38 e 18,77 a 16,51, respectivamente para DAP (Tabela 15 e Tabela 16).

Tabela 15 Efeitos genotípicos (\hat{g}), valores genotípicos ($\mu_{\hat{G}} + \hat{g}$), nova média e ganho (G%) para os 25 melhores indivíduos de *Toona ciliata* aos cinco anos de idade, para DAP

IND	Origem	BL	Prog	Arv	F	DAP(cm)	Reprodução assexuada			
							\hat{g}	$\mu_{\hat{G}} + \hat{g}$	Nova média	G%
A	Iron Range	3	80	9	3	22,9	10,25	20,65	20,65	99
B	Iron Range	3	79	8	3	22,5	10,16	20,56	20,60	98
C	Iron Range	2	79	10	4	23,2	9,40	19,80	20,34	96
D	Iron Range	2	78	13	3	24	9,32	19,72	20,18	94
E	Iron Range	3	79	16	3	21,1	9,25	19,65	20,07	93
F	Shipton Flat	3	24	11	3	22,1	9,00	19,40	19,96	92
G	Iron Range	3	79	6	3	20,7	8,99	19,39	19,88	91
H	Iron Range	2	78	11	3	23,4	8,93	19,33	19,81	90
I	Iron Range	3	79	4	3	20,5	8,86	19,26	19,75	90
J	Iron Range	2	79	13	3	22,1	8,68	19,08	19,68	89
K	Shipton Flat	2	23	12	3	22,9	8,53	18,93	19,61	89
L	Iron Range	3	88	7	3	21,5	8,47	18,87	19,55	88
M	Iron Range	2	79	2	4	21,5	8,29	18,69	19,49	87
N	Iron Range	2	79	5	3	21,5	8,29	18,69	19,43	87
O	Iron Range	3	80	2	3	19,4	7,97	18,37	19,36	86
P	Iron Range	3	80	12	3	19	7,71	18,11	19,28	85
Q	Iron Range	2	78	3	4	20,9	7,30	17,70	19,19	84
R	Shipton Flat	2	24	10	3	19,6	7,26	17,66	19,10	84
S	Shipton Flat	1	24	6	4	19	7,25	17,65	19,03	83
T	Shipton Flat	1	24	14	4	19	7,25	17,65	18,96	82
U	Pascoe River	3	11	8	3	19,6	7,14	17,54	18,89	82
W	Shipton Flat	2	24	3	4	19,4	7,13	17,53	18,83	81
X	Shipton Flat	1	24	3	4	18,7	7,05	17,45	18,77	80
Y	Shipton Flat	1	24	1	4	18,6	6,99	17,39	18,71	80

Z	Shipton Flat	3	24	13	4	19	6,98	17,38	18,66	79
---	--------------	---	----	----	---	----	------	-------	-------	----

$\mu = 10,37\text{cm}$; BL= Bloco; Prog= Progênie; Arv= árvore da parcela; F= nota para forma do fuste.

Tabela 16 Efeitos aditivos ($\hat{\mu}$), e valores genéticos aditivos preditos ($\hat{\mu}_{\text{G}} + \hat{\alpha}$), nova média e ganho (G%), para os trinta melhores indivíduos de *Toona ciliata* aos cinco anos de idade, para DAP

IN D	Origem	B L	Pro g	Ar v	F	DAP(cm)	Reprodução sexuada			
							$\hat{\alpha}$	$\hat{\mu}_{\text{G}} + \hat{\alpha}$	Nova média	G %
**A	Iron Range	3	80	9	3	22,9	8,4	18,77	18,77	81
**B	Iron Range	3	79	8	3	22,5	8,4	18,77	18,77	80
**C	Iron Range	2	79	10	4	23,2	7,9	18,31	18,62	79
**D	Iron Range	3	79	16	3	21,1	7,8	18,22	18,52	78
**E	Iron Range	3	79	6	3	20,7	5	18,07	18,43	77
F	Iron Range	3	79	4	3	20,5	7,7	17,99	18,36	76
G	Iron Range	2	79	13	3	22,1	7,6	17,88	18,29	76
H	Shipton Flat	3	24	11	3	22,1	2	17,84	18,23	75
I	Iron Range	2	79	2	4	21,5	1	17,65	18,17	75
J	Iron Range	2	79	5	3	21,5	7,4	17,65	18,11	74
K	Iron Range	2	78	13	3	24	6	17,52	18,06	74
L	Iron Range	3	80	2	3	19,4	7,2	17,40	18,01	73
M	Iron Range	2	78	11	3	23,4	8	17,28	17,95	73
N	Iron Range	3	80	12	3	19	7,2	17,25	17,9	72
O	Iron Range	3	88	7	3	21,5	6,8	17,18	17,85	72
P	Shipton Flat	2	24	10	3	19,6	1	16,79	17,79	71
Q	Shipton Flat	1	24	6	4	19	6,4	16,78	17,73	70

R	Shipton Flat	1	24	14	4	19	6,4	16,78	17,67	70
S	Shipton Flat	2	23	12	3	22,9	6,3	16,76	17,63	69
T	Shipton Flat	2	24	3	4	19,4	6,3	16,71	17,58	69
U	Shipton Flat	1	24	3	4	18,7	6,2	16,67	17,54	69
W	Shipton Flat	1	24	1	4	18,6	6,2	16,63	17,50	68
X	Shipton Flat	3	24	13	4	19	6,2	16,62	17,46	68
Y	Shipton Flat	2	24	12	4	19,1	6,2	16,60	17,42	68
Z	Shipton Flat	3	24	1	4	18,7	6,1	16,51	17,39	67

$\mu = 10,37$ cm; BL= Bloco; Prog= Progênie; Arv= árvore da parcela; F= nota para forma do fuste; Indivíduos precedidos por ** correspondem a árvores selecionadas para propagação sexual para DAP e DB_{obs} .

4.3.2 Estimativa de parâmetros genéticos e predição genética para densidade básica obtida em laboratório (DB_{NOobs}), Amplitude média ($A_{NO}(\%)$) e densidade básica estimada (DB_{NOest}) para banco de dados Norte-Oeste –NO

As estimativas dos parâmetros genéticos obtidos na avaliação de progênie de meio-irmãos de cedro australiano aos cinco anos de idade, para as características DB_{NOobs} , $A_{NO}(\%)$ e DB_{NOest} , são apresentados na Tabela 17.

Verifica-se uma elevada herdabilidade genética entre os indivíduos para a variável DB_{NOobs} ($h_{aj}^2 = 0,71$). As variáveis A_{NO} e DB_{NOest} apresentaram valores de herdabilidade ajustada de 0,07 e 0,19 respectivamente. Esses valores são muito baixos e indicam que essas características não são transmitidas à maior parte dos descendentes. O CV_r para as duas características também foi muito

baixo com valores de 0,16 e 0,31 para A_{NO} e DB_{NOest} , respectivamente. Isso sugere que o equipamento é impreciso para detectar as variações sutis dos valores de densidade da madeira. Pode-se inferir que a seleção, com base nos parâmetros A_{NO} e DB_{NOest} não será satisfatória, tendo em vista que a A (%) não permite a estimativa confiável da DB para progênies de *Toona ciliata*, aos cinco anos de idade. Assim a seleção indireta com base nos valores de A (%) mostrou-se ineficiente.

Os coeficientes de variação genética foram 4,57%, 4,66% e 0,64% para DB_{NOobs} , A_{NO} (%) e DB_{NOest} , respectivamente. Os coeficientes de variação são importantes parâmetros nos estudos de genética quantitativa, tendo em vista que permitem inferir sobre a magnitude da variabilidade presente nas populações e em diferentes caracteres (RESENDE, 2002).

Tabela 17 Estimativas dos parâmetros genéticos e média geral de DB_{NOobs} , A_{NO} (%) e DB_{NOest} para progênies de *Toona ciliata*, aos cinco anos de idade

Parâmetros	DB_{NOobs} (g/cm ³)	A_{NO} (%)	DB_{NOest} (g/cm ³)
σ_g^2	0,000638	0,817889	0,000013
σ_{pare}^2	0,000129	5,194753	0,000021
σ_{hinc}^2	0,000095	1,447411	0,000008
σ_e^2	0,000261	10,60402	0,000053
σ_f^2	0,001124	18,06407	0,000094
h_g^2	0,57	0,04	0,13
h_{aj}^2	0,71	0,07	0,19
c_{pare}^2	0,115	0,287	0,222
c_{bloc}^2	0,085	0,080	0,085
$CV_{gi}\%$	9,15	9,32	1,29

$CV_{gp}\%$	4,57	4,66	0,64
$CV_e\%$	6,03	28,12	2,11
CV_r	0,76	0,16	0,31
h_{mp}^2	0,63340	0,07618	0,21963
h_{ad}^2	0,64687	0,05468	0,15100
AC_{prog}	0,7958	0,2760	0,4686
μ	0,2760	9,70	0,2743

Em que: σ_g^2 : variância genética; σ_{parc}^2 : variância ambiental entre parcelas; σ_{bloq}^2 : variância ambiental entre blocos; σ_e^2 : variância residual; σ_f^2 : variância fenotípica individual; h_g^2 : herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo, ou seja, dos efeitos genéticos totais; h_{aj}^2 : herdabilidade ajustada; c_{parc}^2 : coeficiente de determinação dos efeitos de parcelas; c_{bloq}^2 : coeficiente de determinação dos efeitos de blocos; $CV_{gi}\%$: coeficiente de variação genotípica; $CV_{gp}\%$: coeficiente de variação genotípica entre progênies; $CV_e\%$: coeficiente de variação residual; h_{mp}^2 : herdabilidade ajustada da média de genótipo, assumindo sobrevivência completa; h_{ad}^2 : herdabilidade aditiva; AC_{prog} : acurácia da seleção de genótipos, assumindo sobrevivência completa e μ : média geral.

Pode-se observar que os valores do coeficiente de determinação dos efeitos de parcela (c_{parc}^2) para as três características são baixos. Esse parâmetro revela quanto a variação nas parcelas contribuiu para a variação total. Assim o baixo valor indica que houve baixa variação ambiental dentro das parcelas e que o delineamento experimental pode ser considerado eficiente.

Foram estimados os efeitos genotípicos (\hat{g}), valores genotípicos ($\mu_{\hat{g}} + \hat{g}$), efeitos aditivos (\hat{a}), valores genéticos aditivos preditos ($\mu_{\hat{a}} + \hat{a}$), nova média e ganho (G%) para os 25 melhores indivíduos de *Toona ciliata*, aos cinco anos de idade para a característica DB_{obs} (Tabela 18 e Tabela 19).

Para a característica DB_{obs} , 22 indivíduos foram comuns a ambos os sistemas de propagação sexuada e assexuada. Os valores genotípicos ($\mu_{\hat{G}} + \hat{G}$) e valores genéticos aditivos preditos ($\mu_{\hat{G}} + \hat{a}$), para as 25 melhores árvores, variaram de 44,1860 a 25,8839 e 32,6517 a 22,0650, respectivamente para DAP (Tabela 14 e Tabela 15). Para a característica DB_{obs} (Tabelas 16 e Tabela 17), os valores variaram entre 0,5708 e 0,3127 e 0,4588 a 0,2996. Em geral, os valores genotípicos ($\mu_{\hat{G}} + \hat{G}$) são superiores aos valores genéticos aditivos preditos ($\mu_{\hat{G}} + \hat{a}$) para ambas as características.

Não foi observado nenhum indivíduo com valores superiores de efeitos genotípicos (\hat{G}) para características DAP e DB_{obs} , simultaneamente. Isso indicará a continuidade de trabalhos via cruzamentos controlados, visto que ambas as características não são significativamente e nem negativamente correlacionadas.

Tabela 18 Efeitos genotípicos (\hat{G}), valores genotípicos ($\mu_{\hat{G}} + \hat{G}$), nova média e ganho (G%) para os 25 melhores indivíduos de *Toona ciliata*, aos cinco anos de idade, para DB_{obs}

Nº	ORIGEM	BL	Prog	Arv	DAP (cm)	Propagação Assexual			
						\hat{G}	$\mu_{\hat{G}} + \hat{G}$	Nova média	G%
1	Shipton Flat	2	24	1	14,40	0,2948	0,5708	0,5708	106,81
2	Blue Mountain	1	31	5	14,50	0,0823	0,3583	0,4645	68,32
3	Pascoe River	2	100	1	14,80	0,0732	0,3492	0,4261	54,38

4	Pascoe River	2	99	3	16,30	0,0535	0,3295	0,4019	45,63
5	Pascoe River	3	11	3	16,80	0,0519	0,3279	0,3871	40,27
6	Kenilworth S,F,	2	76	1	11,30	0,0468	0,3228	0,3764	36,38
7	C. Wollongong	2	42	5	11,80	0,0461	0,3221	0,3687	33,57
8	Shipton Flat	1	23	3	15,90	0,0452	0,3212	0,3627	31,42
9	Allyn River	2	18	4	12,80	0,0442	0,3202	0,3580	29,71
10	Pascoe River	3	11	1	12,40	0,0439	0,3199	0,3542	28,33
11	Pascoe River	1	99	5	15,40	0,0436	0,3196	0,3510	27,19
12	C. Wollongong	3	42	3	14,50	0,0435	0,3195	0,3484	26,24
13	Blue Mountain	2	31	4	18,80	0,0426	0,3186	0,3461	25,41
14	Teviot Brook	1	50	3	9,40	0,0421	0,3181	0,3441	24,68
15	Shipton Flat	3	24	4	16,90	0,0414	0,3174	0,3423	24,04
16	Pascoe River	2	11	4	13,50	0,0411	0,3171	0,3408	23,46
17	Allyn River	2	18	1	5,90	0,0409	0,3169	0,3394	22,96
18	C. Wollongong	2	42	4	14,30	0,0407	0,3167	0,3381	22,50
19	Iron Range	3	79	2	10,70	0,0402	0,3162	0,3369	22,08
20	Pascoe River	2	11	5	11,00	0,0401	0,3161	0,3359	21,70
21	Shipton Flat	1	22	5	10,90	0,0395	0,3155	0,3349	21,35
22	Blue Mountain	2	32	1	18,80	0,0391	0,3151	0,3340	21,03
23	C. Wollongong	3	42	1	11,40	0,0371	0,3131	0,3331	20,70
24	Teviot Brook	1	50	1	9,10	0,0367	0,3127	0,3323	20,39
25	Blue Mountain	3	31	4	17,60	0,0367	0,3127	0,3315	20,10

$\mu = 0.2760 \text{ g/cm}^3$; BL= Bloco; Prog= Progênie e Arv= árvore da parcela

Tabela 19 Efeitos aditivos (α^i) e valores genéticos aditivos preditos ($\mu_{\hat{G}} + \alpha^i$), nova média e ganho (G%) para os 30 melhores indivíduos de *Toona ciliata*, aos cinco anos de idade, para DB_{obs}

Nº	ORIGEM	BL	Prog	Arv	DAP (cm)	Propagação Sexual			
						$\hat{\alpha}$	$\mu_{\hat{G}} + \hat{\alpha}$	Nova média	G%
**1	Shipton Flat	2	24	1	14,40	0,1828	0,4588	0,4588	66,23
**2	Blue Mountain	1	31	5	14,50	0,0533	0,3293	0,3941	42,77
**3	Pascoe River	2	100	1	14,80	0,0425	0,3185	0,3689	33,65
**4	Pascoe River	2	99	3	16,30	0,0358	0,3117	0,3546	28,47

**5	C.Wollongong	2	42	5	11,80	0,0342	0,3102	0,3457	25,25
6	Pascoe River	3	11	3	16,80	0,0337	0,3097	0,3397	23,08
7	Shipton Flat	1	23	3	15,90	0,0330	0,3090	0,3353	21,49
8	C. Wollongong	3	42	3	14,50	0,0326	0,3086	0,3320	20,28
9	Kenilworth S, F	2	76	1	11,30	0,0313	0,3073	0,3292	19,29
10	C. Wollongong	2	42	4	14,30	0,0310	0,3070	0,3270	18,48
11	Shipton Flat	3	23	4	10,40	0,0308	0,3068	0,3252	17,82
12	Allyn River	2	18	4	12,80	0,0301	0,3061	0,3236	17,24
13	Pascoe River	1	99	5	15,40	0,0298	0,3058	0,3222	16,75
14	Teviot Brook	1	50	3	9,40	0,0298	0,3058	0,3210	16,32
15	Blue Mountain	2	31	4	18,80	0,0295	0,3055	0,3200	15,95
16	Pascoe River	3	11	1	12,40	0,0292	0,3052	0,3191	15,61
17	C. Wollongong	3	42	1	11,40	0,0288	0,3048	0,3182	15,31
18	Allyn River	2	18	1	5,90	0,0281	0,3041	0,3175	15,02
19	Pascoe River	2	11	4	13,50	0,0275	0,3035	0,3167	14,75
20	Pascoe River	2	11	5	11,00	0,0269	0,3029	0,3160	14,50
21	Teviot Brook	1	50	1	9,10	0,0265	0,3025	0,3154	14,27
22	Blue Mountain	3	31	4	17,60	0,0259	0,3019	0,3148	14,05
23	Pascoe River	3	99	4	13,30	0,0254	0,3013	0,3142	13,84
24	Blue Mountain	2	32	1	18,80	0,0237	0,2997	0,3136	13,62
25	C. Wollongong	3	42	4	11,8	0,0236	0,2996	0,3130	13,42

$\mu = 0.2760 \text{ g/cm}^3$; BL= Bloco; Prog= Progenie; Arv= árvore da parcela; Indivíduos precedidos por ** correspondem a árvores selecionadas para propagação sexual, para DAP e DB_{obs}.

Na Tabela 20, é apresentada a matriz de cruzamento entre os melhores genitores, com base no sistema de propagação sexual (maiores valores de \bar{a} , apresentados nas Tabelas 16 e 19), para obtenção da segunda geração do programa de melhoramento.

Os códigos P1 a P25 referem-se aos indivíduos genitores para a segunda geração que herdarão as características genéticas de maiores valores para DAP e DB. Dos 10 indivíduos envolvidos no cruzamento, o sucesso desse

procedimento está diretamente relacionado com a intensidade da seleção e precisão dos parâmetros genéticos.

A indicação desta matriz de cruzamento envolve indivíduos não aparentados selecionados como genitores masculinos: indivíduos de 1 a 5, apresentados na Tabela 19, ordenados por efeitos aditivos (α) para DB_{obs} ; e genitores femininos: letras A a E apresentados na Tabela 16, ordenados por efeitos aditivos (α) para DAP. A viabilidade desses cruzamentos é descrita por Vieira (2013) em cujo trabalho verificou-se que a *Toona ciliata* é uma espécie alógama com flores hermafroditas, porém funcionalmente são monoicas com produção de pólen armazenáveis por, no mínimo, 12 meses. Tais resultados apontam para a exequibilidade da matriz de cruzamento apresentada na Tabela 20 e também, para a geração das progênies de segunda geração que, futuramente, deverão ser analisadas para avaliar a obtenção de indivíduos com constituição que englobam as duas características em questão.

Para maximizar os resultados dos acasalamentos, estudos no campo da genética molecular deverão ser feitos nas populações de genitores para, assim, avaliar as suas divergências genéticas e uma possível futura obtenção de heterose.

Tabela 20 Matriz de cruzamento em fatorial entre genitores para obtenção da segunda geração do melhoramento.

			Árvores selecionadas para DBo (g/cm ³) de acordo com TABELA X				
			1	2	3	4	5
DAP			BL 2 Arv 1	BL 1 Arv 5	BL 2 Arv 1	BL 2 Arv 3	BL 2 Arv 5
			Prog 24	Prog 31	Prog 100	Prog 99	Prog 42
			DAP= 14,40	DAP= 14,50	DAP= 14,80	DAP= 14,80	DAP= 16,30
			DB _{obs} = 0,3204	DB _{obs} = 0,2835	DB _{obs} = 0,3375	DB _{obs} = 0,2931	DB _{obs} = 0,2922
A	BL 3	DAP= 22,90	P1	P2	P3	P4	P5
	Arv 9						
B	BL 3	DAP= 22,50	P6	P7	P8	P9	P10
	Arv 8						
C	BL 2	DAP= 23,20	P11	P12	P13	P14	P15
	Arv 10						
D	BL 3	DAP= 21,10	P16	P17	P18	P19	P20
	Arv 16						
E	BL 3	DAP= 20,70	P21	P22	P23	P24	P25
	Arv 6						

Árvore representadas por letras de A a E correspondem às selecionadas na Tabela 16; DAP: valores em cm; DB_{obs}: valores em g/cm³

5 CONCLUSÕES

Os baixos valores de densidade básica obtidos para a madeira de cedro australiano permitem a classificação, de acordo com Melo, Coradin e Mendes (1990), como madeira leve, para a idade de 5 anos.

Os modelos lineares e não lineares testados para estimativa não destrutiva da densidade básica da madeira, que variou de 0,2055 a 0,3755 g/cm³, com base na resistografia de árvores vivas de cedro australiano foram imprecisos, com ajustes resultando em coeficientes de determinação (R²) muito baixos.

As metodologias REML/BLUP, aplicadas na análise do experimento, foram úteis para as avaliações dos componentes de variância e predições dos valores genéticos para diâmetro à altura do peito (DAP) e Densidade Básica da madeira obtida pelo método destrutivo (DB_{obs}) de *Toona ciliata*.

As predições dos valores genéticos aditivos para diâmetro à altura do peito (DAP) e densidade básica observada em laboratório (DB_{obs}) possibilitaram a indicação de indivíduos para cruzamentos controlados e obtenção de material genético de segunda geração.

Foram observados elevados valores de herdabilidade para DAP e DB, sendo uma referência consistente para *Toona ciliata*.

Indivíduos provenientes do norte da Austrália se desenvolveram melhor que os do sul da Austrália, para plantios realizados no sudeste do Brasil.

REFERÊNCIAS

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C. V. T. Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 665-674, out./dez. 2010.

BRAGA, M. M. **Crescimento e qualidade de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis*) em função da aplicação de calcário e enxofre**. 2011. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Programa Nacional de Florestas - PNF**. Brasília: MMA/SBF/DIFLOR, 2000. 52 p.

BRASIL, M. A. M. **Variação da densidade básica da madeira entre e dentro de procedências de *E. urophylla***. 1983. 89 p. Tese (Livre Docência) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1983.

BYGRAVE, F. L.; BYGRAVE, P. L. **Growing Australian red cedar**. Canberra: RIRDC/Land & Water Australia, 2005. 84 p. (Rural Industries Research and Development Corporation, 04/135).

CAIXETA, R. P. et al. Classificação de *Eucalyptus* relacionados com a qualidade da madeira após a secagem natural. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 61, p. 49-58, jun. 2002.

_____. Propriedades e classificação da madeira aplicadas à seleção de genótipos de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p. 43-51, jan./fev. 2003.

COSTA, R. B. et al. Prediction and genotypic values for yield trait in rubber tree-clone test trial using REML/BLUP procedure. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 2, n. 4, p. 579-586, Dec. 2002.

COSTELLO, L. R.; QUARLES, S. L. Detection of wood decay in blue gum and elm: an evaluation of the Resistograph and the portable drill. **Journal of Arboriculture**, Champaign, v. 25, n. 6, p. 311-318, 1999.

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.

CRUZ, C. D. Programa GENES: aplicativo computacional em estatística aplicada à genética. **Genetic Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 21, n. 1, mar. 1998. Disponível em:
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-47571998000100022&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 13 ago. 2013.

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa, MG: UFV, 1981. 279 p.

FERREIRA, M. **Estudo da variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw e *E. saligna* Smith**. 1968. 72 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais e Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1968.

FERREIRA, R. T. et al. *Toona ciliata* genotype selection with the use of individual BLUP with repeated measures. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 69, n. 3, p. 210-216, maio/jun. 2012.

GANTZ, C. H. **Evaluating the efficiency of the Resistograph® to estimate genetic parameters for wood density in two softwood and two hardwood**

species. 2002. 88 p. Dissertation (Master in Forest Science) - University of North Carolina State, Raleigh, 2002.

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

GOOGLE EARTH. Disponível em: <<http://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/index.html>>. Acesso em: 10 mar. 2013.

IML-RESI. **F-series electronic manual**: instrumenta mechanik labor system. Wiesloch, 2008. 54 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. **Melhoramento florestal seleção de populações**. Piracicaba: IPEF, 1976. 13 p. (Circular Técnica, 19).

ISIK, F.; LI, B. L. Rapid assessment of wood density of live trees using the *Resistograph*® for selection in tree improvement programs. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 33, n. 12, p. 2426-2435, Dec. 2003.

KAGEYAMA, P. Y. et al. Variação genética entre e dentro de progênies de *Pinus patula* SCHIEDE e DEPPE na região de Telêmaco Borba, PR. **IPEF**, Piracicaba, n. 15, p. 31-39, 1977.

KALIL FILHO, A. N.; RESENDE, M. D. V.; COSTA, G. P. Componentes de variância e predição de valores genéticos em seringueira pela metodologia de modelos mistos (REML/BLUP). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 9, p. 1883-1887, set. 2000.

KLITZKE, R. J. Secagem da madeira. In: SILVA, J. T. da; OLIVEIRA, N. C. F.; NOGUEIRA, M. (Org.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Jerônimo Monteiro: Suprema, 2007. v. 1, p. 271-342.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ, W. A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1968. 592 p.

LIMA, J. T. et al. Adequação do resistograph para a estimativa da densidade básica da madeira de *Eucalyptus*. **Revista da Madeira**, São Paulo, ano 7, p. 29-44, 2006a. 1 CD-ROM.

_____. Desempenho do *Resistograph*® na estimativa da densidade básica da madeira de eucalipto. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 12., 2006, São Pedro. **Anais...** São Pedro: UNESP; CEVEMAD; IBRAMEM, 2006b. 1 CD-ROM.

_____. Uso do resistógrafo para estimar a densidade básica e a resistência à perfuração da madeira de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 75, p. 85-93, set. 2007.

MARTINS, I. S. Eficiência da seleção direta e indireta e índices de seleção em *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 327-333, maio/jun. 2003.

MARTINS, P. S. Estrutura populacional, fluxo gênico e conservação "in situ". **Revista do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, v. 35, n. 1, p. 71-78, 1987.

MELO, J. E.; CORADIN, V. T. R.; MENDES, J. C. Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. v. 3, p. 695-699.

MISSIO, R. F. et al. Estimates of genetic parameters and prediction of additive genetic values in *Pinus kesyia* progenies. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 5, n. 4, p. 394-401, Sept. 2005.

_____. Seleção simultânea de caracteres em progênies de Pinus (*Caribaea morelet* var. *bahamensis*). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 2, n. 66, p. 161-168, dez. 2004.

MURAKAMI, C. H. G. Cedro australiano: valorização de espécies nobres. **Boletim Florestal: Informativo Florestal do Norte Pioneiro**, Colombo, ano 2, n. 7, p. 1-5, fev. 2008.

ORWA, C. et al. **Agroforestry database**: a tree reference and selection guide. Version 4.0. Disponível em: <<http://www.worldagroforestry.org/af/treedb/>>. Acesso em: 10 maio 2013.

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

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**: structure, identification, uses, and properties of the commercial wood of the United States and Canada. New York: McGraw-Hill, 1970. v. 1, 705 p.

PEREYRA, O. et al. Estudio de las propiedades físico-mecánicas y comportamiento en procesos industriales de la madera de kiri, *grevillea*, paraíso y *toona*. **Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 2, p. 214-223, mar. 2006.

PIRES, I. E. **Eficiência da seleção combinada no melhoramento genético de *Eucalyptus spp.*** 1996. 116 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1996.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2010. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 10 mar. 2013.

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

_____. **Software Selegen Reml/Blup**. Campo Grande: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2007. 299 p.

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

RESENDE, M. D. V. et al. Estimação de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos no melhoramento do cafeeiro pelo procedimento REML/BLUP. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 3, p. 185-193, set. 2001.

RINN, F.; SCHWEINGRUBER, F. H.; SCHAR, E. Resistograph and X-ray density charts of wood comparative evaluation of drill resistance profiles and X-ray density charts of different wood species. **Holzforschung**, Berlin, v. 50, n. 4, p. 303-311, 1996.

ROCHA, M. G. B. et al. Seleção de genitores de *Eucalyptus grandis* e de *Eucalyptus urophylla* para produção de híbridos interespecíficos utilizando REML/BLUP e informação de divergência genética. **Revista Árvore**, Vicosa, MG, v. 31, n. 6, p. 977-987, nov./dez. 2007.

RODRIGUES, E. A. C. et al. Seleção de clones de *Eucalyptus* para as propriedades físicas da madeira avaliadas em árvores no campo. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 2, p. 147-152, abr./jun. 2008.

ROSADO, S. C. da S.; CARVALHO, D. **Biodiversidade e conservação genética de espécies arbóreas**. Lavras: UFLA, 2001. 87 p.

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

SHIMOYAMA, V. R. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* sp.** 1990. 93 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1990.

SIMEÃO, R. M. et al. Avaliação genética em erva-mate pelo procedimento BLUP individual multivariado sob interação genótipo x ambiente. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 11, p. 1589-1596, nov. 2002.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Fatos e números do Brasil florestal**. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/FatoseNumerosdoBrasilFlorestal.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2013.

SORAGI, L. de C. **Qualidade de superfícies usinadas em madeira de *Toona ciliata* M. Roem.** 2009. 61 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SOUZA, A. G. C. et al. The *Cupuaçu* genetic improvement program at Embrapa Amazônia Ocidental. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 2, n. 3, p. 471-478, Sept. 2002.

SOUZA, J. C. A. V. de; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. de A. **Cedro australiano (*Toona ciliata*)**. Niterói: Rio Rural, 2010. 14 p. (Programa Rio Rural, Manual Técnico, 21).

SOUZA, V. R.; CARPIM, M. A.; BARRICHELO, L. E. G. Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e posições em árvores de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*. IPEF, Piracicaba, n. 33, p. 65-72, 1986.

VIEIRA, C. T. **Viabilidade de pólen de *Toona ciliata* M. Roemer (Meliaceae) visando à condução de hibridações em programas de melhoramento genético.** 2013. 70 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

XAVIER, A. et al. Parâmetros genéticos de características de qualidade da madeira em *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 21, n. 1, p. 71-78, jan./fev. 1997.

WORLD BOTANICAL ASSOCIATES. Disponível em:
<<http://www.worldbotanical.com>>. Acesso em: 10 mar. 2013.

WORLD OF CYDENIS. Disponível em: <<http://www.Cydenis.com>>. Acesso em: 10 mar. 2013.

ZANI FILHO, J.; BALLONI, E. A.; KAGEYAMA, P. Y. **Manejo de áreas produtoras de sementes visando a operacionalização de programas de melhoramento genético baseado em multipopulações.** Piracicaba: IPEF, 1987. 9 p. (Circular Técnica, 152).

ZIECH, R. Q. S. **Características tecnológicas da madeira de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem) produzida no sul do estado de Minas Gerais.** 2008. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

ANEXOS

ANEXO A – TABELAS

Tabela 1A Média e Coeficiente de Variação do DAP, H e DB de progênes de *Toona ciliata* aos cinco anos de idade

BL	Prog	Nº de Ind.	Origem	DAP (cm)		H (m)		DB (g/cm ³)	
				Média	CV (%)	Média	CV (%)	Média	CV (%)
1	2	5	Atherton	13,54	16,1	7,56	12,2	0,2541	10,4
1	22	5	Sipton Flat	12,92	5,4	7,10	3,7	0,2847	8,3
1	23	5	Sipton Flat	16,30	10,2	8,66	15,5	0,2687	6,5
1	24	5	Sipton Flat	17,18	6,2	9,12	6,2	0,2671	9,0
1	31	5	Blue Mountain	14,82	5,3	9,64	9,2	0,2944	17,0
1	50	5	Teviot Brook	12,78	17,1	8,54	13,5	0,3127	5,1
1	59	5	Atherton	12,00	3,5	7,04	29,5	0,2610	4,7
1	76	5	Kenilworth S, F,	13,98	21,9	8,38	11,3	0,2990	6,0
1	78	5	Iron Range	16,20	7,7	10,12	8,1	0,2549	4,1
1	79	5	Iron Range	16,90	9,3	9,46	4,3	0,2815	9,0
1	80	4	Iron Range	16,88	6,7	9,40	5,3	0,3139	5,2
1	88	5	Iron Range	14,50	6,2	8,66	9,9	0,3124	19,7
1	89	5	Iron Range	14,00	14,2	8,18	14,2	0,2869	5,5
1	90	5	Iron Range	11,06	12,6	6,86	3,7	0,2646	5,8
1	99	5	Pascoe River	16,44	1,9	9,70	3,7	0,3106	7,0
2	5	5	Atherton	12,42	7,8	7,92	4,1	0,2435	10,0
2	11	5	Pascoe River	16,70	9,6	10,62	2,4	0,2757	5,6
2	12	5	Pascoe River	19,50	10,8	9,78	9,4	0,2929	8,6
2	13	5	Pascoe River	17,26	6,4	10,16	6,1	0,2648	8,8
2	18	5	Allyn River	14,20	7,1	10,32	10,7	0,2946	8,6
2	21	4	Sipton Flat	15,85	33,8	8,38	26,4	0,2443	7,7
2	23	5	Sipton Flat	16,96	19,9	9,48	10,2	0,2517	5,9
2	24	4	Sipton Flat	19,05	3,5	9,48	7,3	0,2793	9,1
2	31	5	Blue Mountain	14,44	6,2	10,32	14,4	0,2876	8,1

2 32 5 Blue Mountain 16,06 16,5 8,88 15,2 0,2723 8,1

Tabela 1 A, continua

BL	Prog	Nº	Origem	DAP (cm)		H (m)		DB (g/cm ³)	
				Média	CV (%)	Média	CV (%)	Média	CV (%)
2	42	5	C. Wollongong	14,06	16,4	9,48	5,8	0,3018	7,1
2	50	5	Teviot Brook	11,80	30,2	8,98	20,1	0,2818	1,6
2	59	5	Atherton	13,70	6,5	9,90	19,5	0,2356	12,9
2	72	5	Kenilworth S, F,	17,10	9,9	11,28	5,2	0,2771	5,4
2	75	4	Kenilworth S, F,	16,08	21,1	9,63	9,4	0,2599	5,9
2	76	4	Kenilworth S, F,	13,90	11,6	9,28	9,8	0,2978	7,4
2	78	5	Iron Range	18,32	12,1	11,90	4,9	0,2526	3,9
2	79	4	Iron Range	18,15	7,2	11,15	4,0	0,2773	8,9
2	80	5	Iron Range	19,00	14,1	9,92	24,5	0,2486	6,7
2	88	5	Iron Range	18,06	10,8	10,04	11,3	0,2723	7,7
2	89	5	Iron Range	16,14	7,0	10,28	5,1	0,2411	4,3
2	90	5	Iron Range	14,86	11,5	9,74	8,6	0,2512	6,9
2	98	5	Pascoe River	16,68	13,8	10,00	8,2	0,2870	14,3
2	99	5	Pascoe River	16,54	2,1	8,28	14,8	0,2855	10,0
2	100	5	Pascoe River	18,20	16,1	8,78	9,9	0,2677	18,7
3	2	5	Atherton	17,14	11,9	9,56	9,7	0,2274	12,9
3	11	5	Pascoe River	14,14	13,5	10,18	5,5	0,2830	7,6
3	12	5	Pascoe River	17,44	17,0	10,84	6,6	0,2777	8,8
3	13	5	Pascoe River	18,38	7,0	11,16	6,6	0,2778	6,0
3	22	5	Shipton Flat	14,76	11,0	9,20	7,0	0,2348	9,1
3	24	5	Shipton Flat	18,74	15,3	10,98	7,9	0,2571	12,9
3	31	5	Blue Mountain	16,72	11,8	9,62	13,2	0,2920	6,1
3	42	5	C. Wollongong	12,72	17,2	10,38	6,6	0,2911	7,0
3	59	5	Atherton	13,58	12,4	9,44	9,5	0,2339	2,6
3	76	5	Kenilworth S, F,	12,98	8,1	9,70	1,3	0,2738	5,7
3	79	4	Iron Range	18,25	14,1	11,88	6,7	0,2625	13,5
3	80	5	Iron Range	17,12	7,0	10,70	6,6	0,2666	9,1
3	88	5	Iron Range	16,84	9,0	11,08	12,9	0,2824	6,6
3	89	5	Iron Range	13,76	10,7	9,40	6,8	0,2705	6,5

Tabela 1 A, conclusão

BL	Prog	N°	Origem	DAP (cm)		H (m)		DB (g/cm ³)	
				Média	CV (%)	Média	CV (%)	Média	CV (%)
3	90	3	Iron Range	13,33	27,6	10,07	11,9	0,2617	3,5
3	98	5	Pascoe River	13,24	11,7	9,46	7,6	0,2714	6,6
3	99	5	Pascoe River	18,48	12,0	10,94	6,3	0,2758	6,2