

Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Umidade natural e propriedades físicas e mecânicas do *Eucalyptus urophylla*

Laerte Scanavaca Júnior

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em  
Ciências, Programa Recursos Florestais. Opção em:  
Tecnologia de Produtos Florestais

Piracicaba  
2019

Laerte Scanavaca Júnior  
Engenheiro Florestal

**Umidade natural e propriedades físicas e mecânicas do *Eucalyptus urophylla***

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:  
Prof. Dr. **JOSÉ NIVALDO GARCIA**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em  
Ciências, Programa Recursos Florestais. Opção em:  
Tecnologia de Produtos Florestais

Piracicaba  
2019

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Scanavaca Junior, Laerte

Umidade natural e propriedades físicas e mecânicas do  
*Eucalyptus urophylla* / Laerte Scanavaca Junior. - - versão  
revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. -  
- Piracicaba, 2019.

229 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de  
Queiroz”.

1. Tecnologia da madeira 2. Umidade natural 3. Características  
silviculturais 4. Herdabilidade 5. Densidade básica I. Título



4

Dedico aos meus pais Laerte Scanavaca e Maria de Lourdes Thomaziello Scanavaca (in memoriam)

Ofereço ao meu amor, Maria de Fatima Christe Adorno, com amor, carinho, respeito e gratidão por sua compreensão, carinho e incentivo ao longo deste trabalho e de toda nossa vida, meu eterno Muito Obrigado

Ofereço também aos nossos filhos Linneo, Laerte e Maria Ignez, razão das nossas existências

## AGRADECIMENTOS

A minha esposa por incentivar, apoiar e ajudar em tudo ao longo deste trabalho e de toda nossa vida.

Aos nossos filhos Linneo, Laerte e Maria Ignez, por entenderem o momento e o sacrifício que todos passamos.

A minha cunhada Maria do Carmo Christe Adorno pelos incentivos e ajudas ao longo do trabalho.

Ao Prof. Dr. José Nivaldo Garcia, pela confiança e oportunidade, apoio e ajuda no desenvolvimento do trabalho, amizade e companheirismo.

Aos professores e amigos Antônio Natal Gonçalves, Paulo Henrique Muller da Silva, Israel Luiz de Lima e Marcelo Corrêa Alves, pela amizade e valiosas sugestões dadas ao trabalho.

A Luis Eduardo Facco, pela amizade, solidariedade, presteza, apoio e ajuda no desenvolvimento do trabalho.

A amiga e colega de turma Aline Faria Cerchiari pela ajuda, colaboração e apoio.

Aos colegas do LCF pela ajuda apoio e amizade, especialmente para Alex Canale, Alexandre Vendemiatti, Aparecido Cândido Siqueira, Carlito Fernandes dos Santos, Estevão Araújo, Higor Moraes, João Carlos Teixeira Mendes, Udemilson Luiz Ceribelli.

As bibliotecárias Thais Cristiane Campos de Moraes, Ligiana Clemente do Carmo Damiano e Eliana Maria Garcia, pela inestimável ajuda.

A Embrapa pela oportunidade do doutorado.



## BIOGRAFIA

Laerte Scanavaca Júnior é Engenheiro Florestal, mestre em Ciências Florestais e doutor em Tecnologia de Produtos Florestais pela ESALQ/USP. Casado com Maria de Fatima Christe Adorno, pai de três filhos Linneo, Laerte e Maria Ignez. Pesquisador da Embrapa desde 2002.



## SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	12
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	14
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	18
LISTA DE SÍMBOLOS	20
1 INTRODUÇÃO	21
1.1 Floresta comercial no mundo	21
1.2 O Setor Florestal Brasileiro	22
1.3 Painéis de Madeira	23
1.4 Madeira Processada Mecanicamente	24
1.5 Objetivos	26
1.5.1 Objetivo geral	26
1.5.2 Objetivos específicos	26
1.5.3 Hipóteses	26
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1 Myrtaceae	29
2.2 Evolução das Myrtaceae	31
2.3 Evolução dos Eucaliptos	33
2.4 Classificação dos Eucaliptos	34
2.5 Classificação dos eucaliptos no Brasil	36
2.6 Os Eucaliptos	38
2.6.1 O gênero <i>Eucalyptus</i>	38
2.6.2 O gênero <i>Corymbia</i>	40
2.6.3 O gênero <i>Angophora</i>	41
2.6.4 Demais gêneros dos Eucaliptos	42
2.7 Taxonomia do <i>Eucalyptus urophylla</i>	42
2.8 Ocorrência	43
2.9 Filogenia	46
2.10 Botânica	47
2.11 Introduções no Brasil	51
2.12 Melhoramento e Manejo	51
2.13 Pragas e Doenças	55
2.14 Parâmetros genéticos	57
2.14.1 Componentes de variância	58
2.14.2 Herdabilidades	58
2.14.3 Coeficientes de variação genético e relativo	60
2.14.4 Acurácia	61
2.15 Seleção	62
2.16 Métodos de seleção	63
2.17 Modelos matemáticos e efeitos estatísticos	64
2.18 Métodos para estimar os componentes de variância	64

2.18.1 Método ANOVA	64
2.18.2 Método dos Quadrados Mínimos (MQM) (LS)	65
2.18.3 Método da Máxima Verossimilhança (ML)	66
2.18.4 Método da Máxima Verossimilhança Restrita (REML)	68
2.19 Modelos Mistos e o Método REML/BLUP	70
2.20 Anatomia da madeira	73
2.20.1 Microfibrila	73
2.20.2 Vaso	76
2.20.3 Raio	78
2.20.4 Dimensões das fibras	78
2.20.5 Grã	79
2.20.6 Ângulo da Microfibrila (MFA)	80
2.20.7 Correlações com as propriedades mecânicas	81
2.20.8 Correlações com as dimensões das fibras	83
2.21 Água na madeira	84
2.22 Densidade básica	85
2.23 Retratabilidade	86
2.24 Propriedades Mecânicas da madeira	88
2.25.1 Módulo de Elasticidade (MOE) e Ruptura (MOR)	88
2.24.2 Cisalhamento	89
2.24.3 Compressão	89
3 MATERIAL E MÉTODOS	91
3.1 Material genético	91
3.2 Área experimental	91
3.3 Umidade do solo	92
3.4 Avaliações silviculturais	92
3.5 Umidade natural da madeira	93
3.6 Corte e Desdobro das toras	95
3.7 Propriedades físicas e mecânicas da madeira	96
3.8 Análise estatística e modelos matemáticos	96
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	99
4.1 Dados climatológicos	99
4.2 Umidade do Solo	100
4.3 Avaliações silviculturais	105
4.3.1 DAP	105
4.3.2 Casca	109
4.3.3 Competição (Número de árvores ao redor da progênie selecionada)	113
4.3.4 Copa	114
4.4 Umidade natural da madeira	119
4.5 Herdabilidade da umidade natural da madeira	131
4.6 Propriedades Mecânicas das madeiras verdes	135

10

4.7 Propriedades físicas das madeiras secas	139
4.8 Propriedades mecânicas das madeiras secas	148
5 CONCLUSÃO	161
REFERÊNCIAS	163
ANEXO	229

## RESUMO

### Umidade natural e propriedades físicas e mecânicas do *Eucalyptus urophylla*

Os eucaliptos apresentam boa taxa de crescimento, adaptam-se aos mais diferentes tipos de solos e de manejo e apresentam baixo custo de implantação e exploração. O *E. urophylla* é de Floresta Aberta Alta, de alta produtividade, atende aos mais diferentes usos e aplicações e por isso é uma das espécies mais plantadas no mundo. O objetivo deste trabalho foi estudar a variação da umidade natural da madeira em função do clima e sua influência nas propriedades físicas e mecânicas da madeira; deste modo, foram estudadas três árvores por progênie, em 21 progênies. Na Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi existe um ensaio de *E. urophylla* instalado em dezembro de 2009 Casualizado em blocos com 167 progênies de seis procedências, selecionadas para produtividade nos programas de melhoramento das empresas do Setor Florestal brasileiro. Este teste faz parte do Projeto Cooperativo de População Núcleo do IPEF e foram instalados e avaliados em outras nove localidades para a produtividade, resistência à geada e a ferrugem do eucalipto. As progênies mostraram-se estáveis e a interação genótipo ambiente foi simples, isto é, houve coincidência muito alta das melhores progênies em todos os locais; a ordem de classificação das progênies não variou muito de um local para outro. Este material não foi avaliado para a tecnologia da madeira; deste modo, foram avaliadas a umidade da madeira em seis estações climatológicas para monitorar a umidade natural da madeira e suas correlações com a umidade do solo e a precipitação. Foram avaliadas as características silviculturais (DAP, casca, competição e a arquitetura da copa das árvores) para ver se havia correlação com a umidade da madeira. Posteriormente, foram cortadas as 63 árvores, 21 progênies com três repetições, uma por bloco, para avaliação das propriedades físicas e mecânicas da madeira. Foram retirados dois corpos de prova de cada árvore para determinação das propriedades físicas (densidade básica e retratibilidade) e mecânicas (cisalhamento, compressão, MOR e MOE). Uma amostra com a madeira úmida e outra com a madeira seca. Os resultados mostraram que a umidade natural da madeira se mantém praticamente constante, independentemente da umidade do solo ou precipitação. As características silviculturais não se correlacionam com a umidade natural da madeira, DAP ou densidade básica. As progênies de casca lisa foram as menores frequências e as casca farinhenta as de maiores frequências. As progênies de copa fechada foram as maiores frequências e as de copa aberta as de menores frequências. Não há nenhuma correlação entre as características silviculturais e entre si. O alburno foi o compartimento menos úmido e o cerne o mais úmido em todas as estações. A densidade básica apresentou boa correlação com as retratibilidades, e estas entre si. A densidade básica não se correlacionou com as propriedades mecânicas da madeira seca, estas por sua vez mostraram boas correlações entre si. Todas as propriedades mecânicas da madeira seca foram cerca de 250% superiores as da madeira úmida. As herdabilidade médias das progênies foram baixas tanto para as propriedades mecânicas como para a umidade natural da madeira.

Palavras-chave: Tecnologia da madeira; Umidade natural; Características silviculturais; Filogenia dos eucaliptos; Densidade básica

## ABSTRACT

**Natural moisture and physical and mechanical properties of *Eucalyptus urophylla***

Eucalyptus trees show a good growth rate, adapt to different types of soil and management, and present low implantation and exploitation costs. *E. urophylla* is from High Open Forest, high productivity, meets the most different uses and applications and is therefore one of the most planted species in the world. The objective of this work was to study the variation of natural moisture of the wood as a function of climate and its influence on the physical and mechanical properties of wood; this way, three specimens per progeny were studied in 21 progenies. At Anhembi Forest Science Experimental Station there is an *E. urophylla* test installed in December 2009 in a randomized block design with 167 progenies of six provenances, selected for productivity in the breeding programs of the Brazilian Forest Sector. This test is part of the IPEF Core Population Cooperative Project and was installed and evaluated in nine other locations for eucalyptus productivity, resistance to frost and rust. The progenies are steady and the environment genotype interaction was simple, that is, there was a very high coincidence of the best progenies in all sites, the order of classification of the progeny did not vary much from one location to another. This material has not been evaluated for wood technology, so the wood moisture was evaluated in six climatic stations to monitor the natural moisture of the wood, and its correlations with soil moisture and precipitation. The silvicultural characteristics (DBH, bark, competition and tree crown architecture) were evaluated to see if there was correlation with moisture of the wood. Subsequently, the 63 trees were cut, 21 progenies with three replications, one per block, for evaluate of the physical and mechanical properties of the wood. Two specimens were removed from each tree to determine the physical properties (basic density and shrinkage) and mechanical properties (shear, compression, MOR and MOE) properties. One sample with moist wood and another with the dry wood. The results showed that the natural moisture of the wood remains practically constant, regardless of the soil moisture or precipitation. Silvicultural characteristics do not correlate with natural wood moisture, DBH or basic density. The smooth bark progenies were the lowest frequencies and the rough bark the highest frequencies. The closed canopy progenies were the highest frequencies and the open canopy progenies the lowest frequencies. There is no correlation between silvicultural characteristics and each other. The sapwood was the least humid compartment and the wettest heartwood in all seasons. The basic density showed a good correlation with the shrinkages, and these with each other. The basic density did not correlate with the mechanical properties of dry wood, which in turn showed good correlations with each other. All mechanical properties of dry wood were about 250% higher than wet wood. The average progeny heritability was low for both mechanical properties and natural wood moisture.

Keywords: Wood Technology; Natural moisture; Silvicultural characteristics; Heritability; Basic density

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sítios adequados ao <i>Eucalyptus urophylla</i> no Brasil	54
Figura 2 – Ultraestrutura da parede celular	75
Figura 3 – Principais tipos de grã: a) direita; b) reversa e c) inclinada	80
Figura 4 – Furadeira com broca vazada retirando a bagueta de madeira (a); Furo de recém-furado e o da estação anterior já cicatrizado (b); Momento da retirada da bagueta (c); Furo com batoquinha para vedação do buraco (d)	94
Figura 5 – Áreas de coleta de solos: a) aberta; b) intermediária e c) fechada	102
Figura 6 – Tipos de casca: a) lisa; b) meia casca; c) farinhenta e d) rugosa	110
Figura 7 – Bagueta para avaliação da umidade natural da madeira, onde: a) retirada da bagueta da árvore; b) embalagem e identificação da progênie; c) corte da bagueta em segmentos de 2 cm para pesagem e d) amostras cortadas e pesadas embaladas novamente para secagem e pesagem seca	131
Figura 8 – Corpos de prova com colapso e nó	141

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Área (em milhões de ha) com floresta nativa e comercial no mundo em 2015	21
Tabela 2 – Comparação da classificação dos Subgêneros dos <i>Eucalyptus</i> feita por Pryor e Johnson (1971) com Brooker (2000)	37
Tabela 3 – Seções do subgênero <i>Symphyomyrtus</i> pela classificação feita por Pryor e Johnson (1976)	38
Tabela 4 – Características quantitativas do <i>E. urophylla</i> em função das ilhas	50
Tabela 5 – Elementos estruturantes da madeira em porcentagem e principais funções	76
Tabela 6 – Estruturas da parede celular	76
Tabela 7 – Origem e grau de melhoramento do <i>E. urophylla</i> da rede BEEP instalado na E.E.C.F. Anhembi	91
Tabela 8 – Médias anuais de temperatura máxima, mínima e precipitação anual total, com as respectivas amplitudes de variação anuais, média geral e desvio padrão geral, da E. E. C. F. de Anhembi	99
Tabela 9 – Teste de normalidade, coeficiente de assimetria e curtose para a umidade do solo em todas estações	100
Tabela 10 – Médias da umidade dos solos nas estações por tratamento e profundidade	101
Tabela 11 – Análises estatísticas dos solos em todas as estações, teste Tukey a 5% e médias das porcentagens de umidade por profundidade	103
Tabela 12 – Teste de normalidade, coeficiente de assimetria e curtose para os DAPs	105
Tabela 13 – Análise estatística do DAP em função das progênies	106
Tabela 14 – Média dos DAPs em cinco Estações, média geral, coeficiente de variação, desvio padrão e teste Tukey a 5% de probabilidade	107
Tabela 15 – Regressões do DAP nas estações do ano com a umidade natural da madeira por compartimento, e com a densidade básica, eliminando até 20% dos outliers	108
Tabela 16 – Análise estatística do DAP e umidade natural da madeira em função do ideótipo de casca das progênies	109
Tabela 17 – Médias e frequências do DAP e umidade natural da madeira em função do ideótipo de casca das progênies	111
Tabela 18 – Frequência do ideótipo de copa em função do ideótipo de casca e médias do DAP (cm) e umidade natural da madeira (%)	112
Tabela 19 – Análise estatística do DAP e umidade natural da madeira em função da competição entre as progênies	113
Tabela 20 – Frequência do número de árvores ao redor da progênie selecionada em função do ideótipo de casca, médias do DAP (cm) e umidade natural da madeira (%)	114
Tabela 21 – Análise estatística do DAP e umidade em função da copa das progênies	115
Tabela 22 – Frequência do número de árvores ao redor da progênie selecionada em função do tipo de copa, médias do DAP e umidade natural da madeira em função da competição e copa	115

Tabela 23 – Médias do DAP, umidade do fuste e densidade básica em função do ideótipo de copa em função do número de árvores ao redor da progênie selecionada, médias, coeficiente de variação e desvio padrão	117
Tabela 24 – Correlação fenotípicas das características silviculturais	118
Tabela 25 – Teste de normalidade, coeficiente de assimetria e curtose para a umidade natural da madeira em todas estações	120
Tabela 26 – Análise estatística da umidade natural da madeira em todas estações	121
Tabela 27 – Umidade natural da madeira por progênie e teste Tukey a 5% de probabilidade, média de três árvores, em 26/04/2017 (Outono)	122
Tabela 28 – Umidade natural da madeira por progênie e teste Tukey a 5% de probabilidade, média de três árvores, em 16/08/2017 (Inverno)	123
Tabela 29 – Umidade natural da madeira por progênie e teste Tukey a 5% de probabilidade, média de três árvores, em 24/11/2017 (Primavera)	124
Tabela 30 – Umidade natural da madeira por progênie e teste Tukey a 5% de probabilidade, média de três árvores, em 26/02/2018 (Verão)	125
Tabela 31 – Umidade natural da madeira por progênie, média de três árvores, em 21/06/2018 (Inverno)	126
Tabela 32 – Umidade natural da madeira por progênie e teste Tukey a 5% de probabilidade, média de três árvores, em 21/11/2018 (Primavera)	127
Tabela 19 – Análise estatística do DAP e umidade natural da madeira em função da competição entre as progênies	113
Tabela 20 – Frequência do número de árvores ao redor da progênie selecionada em função do ideótipo de casca, médias do DAP (cm) e umidade natural da madeira (%)	114
Tabela 21 – Análise estatística do DAP e umidade em função da copa das progênies	115
Tabela 22 – Frequência do número de árvores ao redor da progênie selecionada em função do tipo de copa	115
Tabela 23 – Médias do DAP, umidade do fuste e densidade básica em função do ideótipo de copa em função do número de árvores ao redor da progênie selecionada, médias, coeficiente de variação e desvio padrão	117
Tabela 24 – Correlação fenotípicas das características silviculturais	118
Tabela 25 – Teste de normalidade, coeficiente de assimetria e curtose para a umidade natural da madeira em todas estações	120
Tabela 26 – Análise estatística da umidade natural da madeira em todas estações	121
Tabela 27 – Umidade natural da madeira por progênie e teste Tukey a 5% de probabilidade, média de três árvores, em 26/04/2017 (Outono)	122
Tabela 28 – Umidade natural da madeira por progênie e teste Tukey a 5% de probabilidade, média de três árvores, em 16/08/2017 (Inverno)	123
Tabela 29 – Umidade natural da madeira por progênie e teste Tukey a 5% de probabilidade, média de três árvores, em 24/11/2017 (Primavera)	124
Tabela 30 – Umidade natural da madeira por progênie e teste Tukey a 5% de probabilidade, média de três árvores, em 26/02/2018 (Verão)	125
Tabela 31 – Umidade natural da madeira por progênie, média de três árvores, em 21/06/2018 (Inverno)	126
Tabela 32 – Umidade natural da madeira por progênie e teste Tukey a 5% de probabilidade, média de três árvores, em 21/11/2018 (Primavera)	127



Tabela 33 – Média da umidade natural da madeira por compartimento e estação, média geral e desvio padrão	128
Tabela 34 - Herdabilidades em função do modelo para o cerne1 no proc mixed do SAS modelo REML testando diversos modelos de matrizes de covariância	132
Tabela 35 - Herdabilidades em função do modelo para o alburno2 no proc mixed do SAS modelo REML testando diversos modelos de matrizes de covariância	132
Tabela 36 - Herdabilidades em função do modelo para o total médio2 no proc mixed do SAS modelo REML testando diversos modelos de matrizes de covariância	132
Tabela 37 - Herdabilidades em função do modelo para o cerne3 no proc mixed do SAS modelo REML testando diversos modelos de matrizes de covariância	132
Tabela 38 - Herdabilidades em função do modelo para o total médio3 no proc mixed do SAS modelo REML testando diversos modelos de matrizes de covariância	133
Tabela 39 - Herdabilidades em função do modelo para o cerne4 no proc mixed do SAS modelo REML testando diversos modelos de matrizes de covariância	133
Tabela 40 - Herdabilidades em função do modelo para o alburno6 no proc mixed do SAS modelo REML testando diversos modelos de matrizes de covariância	133
Tabela 41 – Herdabilidades da umidade natural da madeira, acurácia, coeficiente de variação genética e relativo (coeficiente $\bar{b}$ ), nos diferentes compartimentos do fuste e nas diferentes estações em que houve diferenças estatísticas entre as progênies para esta característica	134
Tabela 42 – Teste de normalidade para as propriedades mecânicas das madeiras verdes	135
Tabela 43 – Análise estatística das propriedades mecânicas das madeiras verdes e teste Tukey a 5% de probabilidade	136
Tabela 44 – Média das propriedades mecânicas das madeiras verdes por progênies, teste Tukey a 5%, média geral e desvio padrão	137
Tabela 45 – Correlações da porcentagem de umidade no corpo de prova, densidade aparente ou massa específica aparente com as propriedades mecânicas das madeiras verdes e destas entre si	138
Tabela 46 – Teste de normalidade, coeficiente de assimetria e curtose das propriedades físicas das madeiras secas	139
Tabela 47 – Análise estatística das retratilidades, índice anisotrópico e Db da madeira	139

Tabela 48 – Média por progênie das propriedades físicas das madeiras secas, média geral e desvio padrão	143
Tabela 49 – Correlação da densidade básica com as propriedades físicas das madeiras secas e destas entre si	146
Tabela 50 – Regressões lineares entre a Db e as retratibilidades e índice anisotrópico, das retratibilidades entre si e com o índice anisotrópico	147
Tabela 51 – Teste de normalidade, coeficiente de assimetria e curtose das propriedades mecânicas das madeiras secas corrigido para 12% de umidade	148
Tabela 52 – Análises estatísticas para as propriedades mecânicas das madeiras secas corrigido para 12% de umidade	149
Tabela 53 – Média por progênie das propriedades mecânicas das madeiras secas ao ar com umidade corrigida para 12% e teste Tukey a 5% de probabilidade, média geral e desvio padrão	150
Tabela 54 - Variâncias em função do modelo para a compressão no Proc mixed do SAS modelo REML testando diversos modelos de matrizes de covariância	152
Tabela 55 - Variâncias em função do modelo para o cisalhamento no Proc mixed do SAS modelo REML testando diversos modelos de matrizes de covariância	152
Tabela 56 - Variâncias em função do modelo para o MOR no Proc mixed do SAS modelo REML testando diversos modelos de matrizes de covariância	152
Tabela 57 – Variâncias em função do modelo para o MOE no Proc mixed do SAS modelo REML testando diversos modelos de matrizes de covariância	153
Tabela 58 – Variâncias do quadrado médio (QM) em função do modelo para o MOE no Proc varcomp do SAS nos modelos Tipo I, MINQUE, MIVQUE, RL e REML	153
Tabela 59 – Herdabilidades das propriedades mecânicas da madeira, acurácia, coeficiente de variação genética e relativo	154
Tabela 60 – Correlação da densidade básica com as propriedades mecânicas das madeiras secas e destas entre si	154
Tabela 61 – Regressões lineares entre a Db e as propriedades mecânicas das madeiras secas e destas entre si com eliminação de até 20% dos outliers	156
Tabela 62 – Teste de normalidade, coeficiente de assimetria, curtose e teste t pareado para as diferenças entre as propriedades mecânicas das madeiras verdes e secas corrigido para 12% de umidade	157
Tabela 63 – Regressões lineares entre o alburno e a Db e com as propriedades mecânicas das madeiras secas com eliminação de até 20% dos outliers	159

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIMCI	Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAF	Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
AIC	Critério de Informação Akaike
ANOVA	Análise de Variância
APS	Área de Produção de Sementes
BEPP	Brazil <i>Eucalyptus</i> Potential Productivity
BP	Melhor Predição (Best Prediction)
BLP	Melhor Predição Linear (Best Linear Prediction)
BLUE	Melhor Estimação Linear Não Viesada
BLUP	Melhor Predição Linear Não Viciada (Best Linear Unbiased Prediction)
C	Celsius
CC	Capacidade de Campo
CCT	Método de Curvas Correlacionadas
Cisal	Cisalhamento (MPa)
Comp	Compressão paralela às fibras (MPa)
cpDNA	Abreviatura de cloroplastidial em inglês
CS	Matriz de Simetria Composta
CV	Coefficiente de Variação
CV <sub>g%</sub>	Coefficiente de Variação Genético
CV <sub>r%</sub>	Coefficiente de Variação Relativa
DAP	Diâmetro à Altura do Peito (130 cm)
Db	Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )
DP	Desvio Padrão
DBC	Delineamento Blocos Casualizados
DNA	Ácido desoxirribonucléico
E.E.C.F.	Estação Experimental de Ciências Florestais
ESALQ	Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
ETS	Região de Sequência Expressa (Expressed Sequence Tag)
FAO	Food and Agriculture Organization
FSC	Forest Stewardship Council
F <sub>ST</sub>	Diferença genética entre populações clássicas de Nei (1977)
GLS	Quadrados Mínimos Generalizados (Generalized Least Squares)
G <sub>ST</sub>	Diferença genética entre populações de Hedrick (2005)
H	Altura da árvore (m)
Há	Hectares (100 x 100 m = 10.000 m <sup>2</sup> )
HB	Hardboard (Chapa de Fibra)
HDF	High Density Fiberboard (Placa de Fibra de Alta Densidade)

HF	Matriz de Huynh-Feldt
HP	Horse Power
IA	Índice Anisotrópico (RT/RR)
IBÁ	Indústria Brasileira de Árvores
IPEF	Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais
IRs	Regiões Repetidas Invertidas
ITS	Espaçadores Internos não Transcritos
Kb	Quilobases
L	Leste
LCF	Departamento de Ciências Florestais
LS	Método dos Quadrados Mínimos (MQM)
LSC	Região Longa de Cópia
Ma	Milhões de anos
MDF	Medium Density Fiberboard (Placa de Fibra de Média Densidade)
MDP	Medium Density Particleboard (Painel de Aglomerado Constituído de Partículas de Madeira Aglutinada)
MFA	Micro Fibrila Ângulo
MF	Máxima Verossimilhança
MINQUE	Métodos dos Estimadores Quadráticos de Norma Mínima
MIVQUE	Métodos dos Estimadores Quadráticos de Variância Mínima
ML	Máxima Verossimilhança
MOE	Módulo da Elasticidade na Flexão Estática (MPa)
MOR	Módulo da Ruptura (MPa)
mRNA	RNA mensageiro
N	Norte
OLS	Quadrados Mínimos Ordinários (Ordinary Least Squares)
OSB	Oriented Strand Board (Painel de Tiras de Madeira Orientadas)
PCPN	Programa Cooperativo de População Núcleo
PRODEPEF	Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal
PSF	Ponto de Saturação das Fibras
QM	Quadrado Médio
rDNA	Sequência de DNA codificador de RNA ribossômico
REML	Máxima Verossimilhança Restrita
RL	Retratibilidade Longitudinal
RR	Retratibilidade Radial
RR	Retratibilidade Tangencial
RR	Retratibilidade Volumétrica
S	Sul
SQ	Soma dos Quadrados
SSC	Região curta de cópia única
TOEP	Matriz de Toeplitz
UR	Umidade Relativa
USP	Universidade de São Paulo
VC	Matriz de Componentes de Variância
W	Oeste

## LISTA DE SÍMBOLOS

a.a.	ao ano
° C	Graus centígrados
CCT	Correlated Curve Tend (Tendência das Curvas de Crescimento Correlacionadas)
cm	centímetro
$f_{wc,0}$	Resistência à compressão paralela às fibras
$f_{c0}$	Tensão máxima
$h^2_a$	Herdabilidade no sentido restrito
$h^2_r$	Herdabilidade no sentido amplo
$kg.m^{-3}$	Quilogramas por metro cúbico
m	metro
$m^3$	metro cúbico
mm	milímetro
$N_e$	Tamanho efetivo da população
°	Graus
%	Porcentagem
v/v	Volume por volume

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Floresta comercial no mundo

As áreas com florestas naturais diminuíram cerca de 130 milhões de ha nos últimos 30 anos; em compensação, as áreas com florestas comerciais passaram de 167,5 para 279,9 milhões de ha no mesmo período (Tabela 1) (PAYN *et al.*, 2015; FAO, 2015).

Tabela 1 – Área (em milhões de ha) com floresta nativa e comercial no mundo em 2015.

Continentes	Floresta nativa	Floresta comercial	Total
África	600	16	616
Ásia	462	129	591
Europa	929	83	1012
América do Norte	707	43	750
América do Sul	827	15	842
Oceania	169	4,4	173,4
Total	3694	290,4	3984,4

Fonte: FAO, 2015.

Os cinco países que mais preservaram suas florestas são, em ordem decrescente: Rússia, Brasil, Canadá, Estados Unidos da América e China, que, juntos, preservam 54% das florestas mundiais; desse total, 36% são florestas primárias (FAO, 2015). Os eucaliptos representam 26% das florestas comerciais do mundo (FSC, 2012).

Dentro das Angiospermas, o *Eucalyptus* é o gênero florestal mais plantado no mundo em mais de 90 países tropicais e subtropicais, porque é bastante produtivo; algumas espécies rebrotam bem, o que permite manejá-las em talhadia de até três ciclos; boa produção de sementes, facilidade de propagação vegetativa, boa forma do fuste, ampla gama de adaptação a condições climáticas, plasticidade para adaptar-se a todos os tipos de solos e disponibilidade hídrica, além de ser adequada aos mais diversos produtos industriais.

Apesar do grande número de espécies (> 900) e da grande variabilidade de clima e solo, quatro espécies representam 80% destes plantios, *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. camaldulensis* e *E. globulus* (ROCKWOOD *et al.*, 2008). No Brasil, o *E. globulus* é substituído pelo *E. saligna*, e o *E. camaldulensis* pelo *Corymbia citriodora*; estas quatro espécies representam mais de 90% da área de florestas plantadas com eucaliptos no país. A produtividade das florestas comerciais no Brasil, com este gênero, varia de 36 a 50 m<sup>3</sup>/ha/ano (IBA, 2016).

## 1.2 O Setor Florestal Brasileiro

No Brasil, são 7,84 milhões de ha de florestas plantadas em 2016, sendo 5.673.783 ha com eucalipto, com produtividade média de 35,7 m<sup>3</sup>/ha/ano, dos quais 3,2 milhões de ha são certificados. Com *Pinus* são mais 1.584.332 ha cuja produtividade média é de 30,5 m<sup>3</sup>/ha/ano. O retorno financeiro das florestas são de 8 a 12% ao ano, ou seja, uma boa opção de mercado. Os eucaliptos estão assim distribuídos por Setor (IBÁ, 2016; 2017; 2018):

35% Setor de Celulose e Papel;

30% para fomento florestal (normalmente vendido ao Setor de Celulose e Papel);

13% Setor de Siderurgia e Carvão;

9% Fundo de investimentos;

6% Pisos e painéis de madeira laminada;

4% Produtos de madeira sólida;

3%. Outros.

Os 7,84 milhões de ha de florestas plantadas em 2016 geraram 1,7 bilhão de toneladas de CO<sub>2eq</sub>, e mais 2,48 bilhões de toneladas de CO<sub>2eq</sub> nas reservas legais e Áreas de Preservação Permanente (APP), do Setor Florestal Brasileiro (IBÁ, 2017).

O PIB do Brasil em 2016 teve uma queda de 3,6%, com retração em todos os setores. O Setor Industrial retraiu 3,8% e o dos Serviços 2,7%. O Setor Agropecuário cresceu 6,6%. O Setor Florestal retraiu menos, 3,3% em relação a 2015, com 71,1 bilhões de dólares, e um superávit de 7,8 bilhões de dólares, alta de 3,2% em relação ao ano passado, as exportações cresceram 14,1% em relação ao ano passado com US\$ 8,9 bilhões de dólares enquanto as importações

diminuíram 15,4% em relação a 2015 com US\$ 1,1 bilhão de dólares. O Setor gerou 11,4 bilhões de reais, sendo R\$ 9,3 bilhões em tributos, R\$ 1,7 bilhão em equipamentos e insumos e R\$ 300 milhões em salários e encargos, ou seja, 1% do total do PIB, e uma redução de 5% em relação a 2015 (IBA, 2017).

O Setor empregou 510 mil pessoas em 2015. Estima-se que com o efeito renda e os empregos indiretos tenha sido 3,7 milhões, e 10 bilhões de reais em renda (IBA, 2017).

O Setor de Produtos Sólidos de Madeira produziu 7,3 milhões de metros cúbicos em 2015. Houve uma redução no mercado interno e um aumento das exportações, que totalizaram 1,6 milhão de metros cúbicos em 2015 ou 18% do total produzido (IBÁ, 2016).

O Setor Florestal possui 5,6 milhões de ha em florestas nativas protegidas em APP (30%), Reserva Legal (RL) (67%) e Reserva Particular do Patrimônio Nacional (RPPN) (3%), o que corresponde a 0,7 ha de floresta nativa para cada hectare de floresta plantada. O Setor gerou 67,5 milhões de giga joules (GJ), isto é, 69% do que consome anualmente. O principal produto é o licor preto, que representa 62,5% da energia térmica ou 17,4% da energia elétrica consumida pelo Setor (IBÁ, 2017).

Embora a área total seja de menos de 1% do território brasileiro, o Setor Florestal é muito importante economicamente. Dessa forma, para cada hectare de floresta plantada foram gerados R\$ 7,8 mil/ha/ano em 2014. Para efeito de comparação, o complexo da soja gerou R\$ 4,9 mil/ha/ano e o da pecuária R\$ 2,7 mil/ha/ano (IBÁ, 2015).

### **1.3 Painéis de Madeira**

O Setor de painéis de madeira industrializada é formado pelas indústrias produtoras de painéis de MDP (aglomerado), MDF, OSB e chapas de fibra. As indústrias desses segmentos são importantes fornecedoras de matérias-primas para as indústrias de móveis, construção civil e embalagens. De 2002 a 2012 o Setor passou de 3,1 para 7,3 milhões de toneladas, um crescimento médio de 8,9% a.a. O consumo cresceu de 2,8 para 7,2 milhões de toneladas no mesmo período, numa taxa média de 9,9% a.a. (ABRAF, 2013). Atualmente ocupa a 8ª



colocação mundial com 7,3 milhões de m<sup>3</sup> produzidos anualmente em 18 unidades produtoras localizadas nas regiões Sul e Sudeste (IBÁ, 2017).

Em 2016 as produções foram reduzidas 2,4% em relação a 2015 nos painéis de compensados; desta forma, as produções de MDF/HDF e HB diminuíram 8,8% e 8,9%, respectivamente, enquanto a produção de MDP aumentou 8,9%. O principal motivo da redução foi a queda de 12,1% no volume de vendas no setor moveleiro, que provocou uma queda de 2,2% na comercialização de painéis de madeira reconstituída no mercado interno. Em compensação, as exportações cresceram 64% em relação a 2016, gerando um volume de 1,1 milhão de metros cúbicos. A produção de pisos laminados foi de 11,8 milhões de m<sup>3</sup>, uma redução de 7% em relação ao ano passado (IBÁ, 2017).

#### **1.4 Madeira Processada Mecanicamente**

O Setor de madeira mecanicamente processada é composto pelas indústrias de madeiras sólidas serradas, laminados, compensados e demais produtos de maior valor agregado, tais como portas, janelas, esquadrias, rodapés etc. (ABRAF, 2013). Representa 12% dos tributos do Setor Florestal brasileiro e valorizou em média 0,9% a.a. nos últimos 10 anos (IBÁ, 2017).

O Setor é bastante pulverizado, de pequeno porte, tipicamente familiar e atende principalmente às indústrias de móveis e construção civil (ABRAF, 2013). Responsável por 57% dos empregos da cadeia florestal madeireira, com 93% das empresas, das quais 90% são de pequeno porte, com produção de múltiplos produtos voltados para o mercado interno. Além da geração de empregos, o Setor é importante porque fixa a mão de obra em pequenas cidades (BATISTELLA, 2016).

Houve uma queda no consumo doméstico pelo segundo ano consecutivo, em função da desaceleração da construção civil, desta forma a produção em 2016 foi de 8,6 milhões de m<sup>3</sup>. Entretanto as exportações aumentaram 39% e atingiram 2,2 milhões de m<sup>3</sup> (IBÁ, 2017).

O consumo em toras é de 65,7 milhões de m<sup>3</sup>, dos quais 80% são provindos de madeira de reflorestamento e 20% de madeiras nativas (SIQUEIRA, 2016).

O Setor de madeira sólida está assim distribuído para o consumo da madeira (BATISTELLA, 2016):

Construção civil: 40 a 45%;

Embalagens: 30 a 35%;

Móveis: 20 a 25%;

Outros: 10 a 15%.

O Brasil é o oitavo exportador mundial de madeira serrada. As exportações em 2015 foram de 1.300.000 m<sup>3</sup>, crescimento de 30% em relação ao ano anterior (BATISTELLA, 2016).

## 1.5 Objetivos

### 1.5.1 Objetivo geral

Com o intuito de explorar a variabilidade genética existente no *Eucalyptus urophylla*, que é uma das espécies de eucaliptos mais plantadas no mundo e no Brasil e com o maior potencial para ocupar as fronteiras florestais do Brasil, entre e dentro de procedências das progênies mais produtivas e estáveis existentes no Brasil, os objetivos deste estudo foram estimar a herdabilidade da umidade natural da madeira e suas correlação com as propriedades físicas e mecânicas da madeira.

Esperava-se com isso selecionar progênies com menor teor de umidade natural que reduziriam os custos de transporte, estocagem e secagem da madeira para aproveitamento mecânico (marcenaria e carpintaria).

### 15.2 Objetivos específicos

Para atingir estes objetivos seriam necessários:

1. Estimar os parâmetros genéticos e predizer ganhos para a umidade natural da madeira;
2. Correlacionar a umidade natural da madeira com a densidade básica da madeira;
3. Correlacionar a densidade básica com as propriedades físicas e mecânicas da madeira;
4. Correlacionar a umidade natural e a densidade básica da madeira com as características de crescimento (DAP).

### 15.3 Hipóteses

Para atingir estes objetivos foram levantadas as seguintes hipóteses:

1. A umidade natural da madeira acompanha as características climatológicas (precipitação);
2. Quanto maior a umidade da madeira maior a produtividade da floresta;
3. Progênies superiores (maior DAP) apresentam maior teor de umidade;
4. Dentro de uma mesma progênie, quanto maior o diâmetro, maior o teor de umidade;

5. Quanto maior a competição, menor a disponibilidade hídrica, conseqüentemente, menor a taxa de crescimento;
6. A umidade do solo é o principal fator a influenciar a taxa de crescimento;
7. Progênes de maior diâmetro apresentam menor densidade básica e conseqüentemente, propriedades mecânicas com menores valores;
8. Identificar o melhor procedimento para estimação/predição no melhoramento genético estatístico para predição dos ganhos genéticos;
9. Fornecer subsídios tecnológicos para o aproveitamento de *E. urophylla* para marcenaria e carpintaria.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Myrtaceae

As Angiosperma surgiram no Cretáceo, há 135 milhões de anos. As Myrtaceae surgiram no Cretáceo superior (100,5 a 66 milhões de anos), há 85 milhões de anos na Colômbia, Gabão e Bornéu (LADIGES *et al.*, 2003; MULLER, 1981). O clima no Hemisfério Sul era subtropical a tropical e sempre úmido (BRIGGS; JOHNSON, 1979; LADIGES *et al.*, 2003; MARTIN, 1994; SYTSMA *et al.*, 2004; WILLIS; McELWAIN, 2002; WILSON *et al.*, 2001). O subgênero *Symphyomyrtus* apareceu no Ypresiano, há 48 milhões de anos (Ma). O *Eucalyptus spathulata* apareceu mais tarde, no Lutetiano, há 46 a 41 Ma (BIFFIN *et al.*, 2010; CHRISTOPHELL; LYS, 1986; CRISP *et al.*, 2004; LANGE, 1978).

As Myrtaceae (Ordem Myrtales das Rosídeas) agrupam 132 gêneros (25 monoespecíficos) e mais de 5950 espécies validamente descritas (GOVAERTS *et al.*, 2008). São arbóreas e arbustivas, geralmente perenifólias e aromáticas, muito ricas em óleos essenciais. Distribuem-se nas regiões tropicais e subtropicais do mundo com centros de diversidade na Austrália, Ásia, América do Sul e na África com poucas espécies (WILSON *et al.*, 2001). Divididas em duas subfamílias, a Myrtoideae, com 75 gêneros, a qual pertence todos os gêneros Americanos, apresentam frutos carnosos, folhas opostas e sementes mais desenvolvidas. A Psiloxiloideae é da Oceania (Austrália e Polinésia), os frutos são secos (cápsulas), folhas em espiral ou alternas, sementes menos desenvolvidas, com flores unissexuadas, óvulos com saco embrionário bispórico e basicamente com 11 cromossomos. A subfamília Leptospermoideae, com 80 gêneros, à qual pertencem os gêneros *Eucalyptus*, *Melaleuca* e *Callistermon*, apresentam folhas alternas ou em espiral e frutos secos deiscentes (cápsulas) (GOVAERTS *et al.*, 2008; McVAUGH, 1968; MABBERLEY, 1997; SOUZA; LORENZI, 2008; WILSON *et al.*, 2005).

Em 2005 Wilson *et al.* (2005) propuseram uma nova Subfamília a Psiloxiloideae, com duas tribos monoespecíficas apenas e Myrtoideae com 15 tribos. As Myrtaceae ocorrem principalmente no Hemisfério Sul, com destaque para a Austrália, com 85 gêneros, e na América neotropical, especialmente o Brasil (GOVAERTS *et al.*, 2008).

A maioria dos gêneros na subfamília Myrtoideae são, em geral, muito difíceis de identificar na ausência de frutos maduros. Ocorrem nas regiões subtropicais e tropicais de todo o mundo, com centros de origem nos neotrópicos, nordeste da Austrália e Malásia (GOVAERTS *et al.*, 2008).

As Leptospermoideae ocorrem majoritariamente na Australásia, com um dos centros de origem na Austrália. Muitos gêneros da Austrália Ocidental (Western Australia) apresentam folhas muito reduzidas e flores típicas de habitats xeromórficos. O centro de dispersão é o trópico úmido, sendo o *Eucalyptus* L' Héritier um deles (GOVAERTS *et al.*, 2008).

A hibridação e poliploidia, resultando em tipos recombinantes com características intermediárias entre os pais é comum. O fluxo gênico é interrompido por diferenciação cromossômica, principalmente pela duplicação do número cromossômico (GOVAERTS *et al.*, 2008).

As Myrtoideae de frutos secos (tribos Chamelaucieae, Leptospermeae e Melaleuceae) apresentam espécies diplóides com maior frequência, enquanto que a poliploidia é mais comum na tribo Myrteae de frutos carnosos (RYE, 1979). Entretanto algumas espécies de *Eucalyptus* (*E. dysenterica*, *E. klotzchiana* e *E. puniceifolia*) apresentam poliploidia ( $2n = 3x = 33$ ) provavelmente de origem apomítica (COSTA; FORNI-MARTINS, 2006; RYE, 1979).

A família Myrtaceae contém as tribos Leptospermae, Eucalyptae e Chamellaucieae, que se irradiaram pela Austrália resultando nos gêneros *Lepstospermum*, *Eucalyptus*, *Melaleuca* e *Chamelacium* (WILSON *et al.*, 2001). Biffin *et al.* (2010) sugerem que gêneros com grande número de espécies, como os *Eucalyptus*, com cerca de 700 espécies, tenham conseguido isso porque tinham animais como dispersores, entretanto, Crisp *et al.* (2011) sugerem que a adaptação ao fogo, tais como: brotos epicômicos de gemas dormentes abaixo da casca, ou botões armazenados no lignotubérculo na base do caule, alto teor de óleos inflamáveis nas folhas para queimar rapidamente e causar menos danos que a queima lenta, como a razão mais importante. Crisp *et al.* (2004) atribuem ainda a grande adaptabilidade dos eucaliptos as mudanças climáticas. Florence (1983) afirma que o fator mais importante é a adaptação a baixa fertilidade dos solos.

A Tasmânia foi refúgio durante o Mioceno Precoce, há 17 milhões de anos, em função

da profundidade dos mares neste local, menos de 100 m (BAILLIE, 1989). O clima diverso da ilha, propiciou dois tipos de florestas; uma aberta com árvores de 10 a 30 m, na parte central da ilha, que era mais seca, e outra fechada com árvores com mais de 30 m e com precipitação acima de 2000 mm/ano no Norte e nas bordas da ilha (JACSON *et al.*, 1999). Como a Tasmânia ligava-se e isolava-se do continente australiano nesse período, e a facilidade de hibridação no *Eucalyptus*, aliada a seca no continente, intensificaram a diversificação dos *Eucalyptus* (McKINNON *et al.*, 2001).

Na Tasmânia há 12 espécies de *Eucalyptus*, antigo Subgênero *Monocalyptus* de Pryor e Johnson, (1971) e atual gênero *Eucalyptus* e 17 espécies do antigo Subgênero *Symphyomyrtus* Seção *Maidenaria*, e atual gênero *Symphyomyrtus* (BROOKER, 2000). Estes grupos estão isolados entre si geneticamente, mas dentro do grupo a hibridação é muito comum. Isso foi constatado pela técnica cpDNA, cromossomos maternos (BYRNE *et al.*, 1993; JACSON *et al.*, 1999; Mc KINNON *et al.*, 2001; STEANE *et al.*, 1998). Quando as florestas tropicais se contraíram, nos últimos 40 milhões de anos, os *Eucalyptus* e *Corymbia* adaptaram-se ao clima seco, solos pobres e degradados, propícios aos incêndios (LADIGES *et al.*, 2003).

O gênero *Eucalyptus* apresenta mais de 700 espécies (BROOKER; KLEINIG, 1994; CHIPPENDALE, 1988b). Varia em arquitetura e forma, desde a árvore folhosa mais alta do mundo (*E. regnans* com 99,6 m) até os arbustos de um metro, como os mallees. Ocupada o interior desértico da Austrália até as bordas da Floresta tropical (Rainforest) (ROZEFELDS, 1996).

## 2.2 Evolução das Myrtaceae

Os plastídios são encontrados nos cloroplastos de folhas, possuem genoma próprio (Plastoma), responsáveis pelo metabolismo vegetal. Os plastoma da maioria das plantas superiores possuem tamanho entre 120 e 180 quilobases (kb). Em Angiospermas é caracterizado pela presença de duas regiões repetidas e invertidas (IRs) separadas por duas regiões de cópias únicas; uma longa (LSC) e outra curta (SSC) (ALVES, 2005).

A utilização de DNA plastidial é bastante eficiente em genética evolucionária porque tem



origem materna nas Angiospermas. Desse modo, os estudos filogenéticos se baseiam nas regiões intergênicas, que possuem maior variabilidade, mas, eventualmente, podem ser usadas regiões gênicas. Estudos mostram que, para funções básicas, os genes plastidiais são mantidos, mesmo em espécies distintas evolutivamente (WOLFE; SHARP, 1988).

O conhecimento da sequência de nucleotídeos do plastoma de diferentes espécies é importante na filogenia porque é herança uniparental, e no caso das Angiospermas é herança preferencialmente materna. Há exceções, para cerca de 21% das famílias a herança dos plastídios é bi parental (HARRIS; INGRAM, 1991). Em *Eucalyptus*, entretanto, até agora só foi achada herança materna, tanto no *E. nitens* (BYRNE; MORAN, 1994) como no *E. globulus* (McKINNON *et al.*, 2001).

A técnica da cpDNA forneceram resultados consistentes sobre padrões de variação de cpDNA dentro da seção Maidenaria. Estes podem ser resumidos da seguinte forma: (i) O DNA de cloroplasto é variável em muitas espécies. Dezoito das 23 espécies com amostras replicadas mostram variação intraespecífica; (ii) a variação intraespecífica de cpDNA mostra estruturação geográfica significativa; (iii) os padrões geográficos de cpDNA são idênticos para muitas espécies da Tasmânia. Os indivíduos que estão geograficamente próximos tendem a compartilhar linhagens de cpDNA ou haplótipos específicos de cpDNA, apesar de serem de espécies diferentes; (iv) as distribuições de alguns haplótipos de cpDNA estão correlacionadas com ex-refúgio glacial na Tasmânia (McKINNON *et al.*, 2001).

Os genes cloroplastidiais, herdado dos ancestrais, estão organizados em operons, cuja expressão de vários genes é controlada por um mesmo promotor, e produzem mRNAs policistrônicos por co-transcrição, em contraste com os genes do núcleo das células (BOCK; KHAN, 2004).

Técnicas de biologia molecular usando regiões do rDNA têm obtido bons resultados em taxonomia de gêneros em várias espécies (BAYER *et al.*, 1999). As regiões ribossômicas mais estudadas são 18S, 5.8S e 26S do rDNA, cujas sequências são altamente conservadas e repetidas em células eucarióticas (ARAÚJO *et al.*, 2002). Regiões gênicas: ITS, ITS-1, 5.8S, rRNA, ITS-2 (nucleares) e ETS matK, psbA-trnH (plastidiais).

As sequências de espaçamento ocorrem entre genes de rDNA dentro e fora das

unidades de codificação. Os dois espaçadores entre os genes da subunidade ribossômica são ITS1 (entre 18S e 5.8S rDNA) e ITS2 (entre 5.8S e 26S rDNA). Esses espaçadores fazem parte da transcrição primária, mas não possuem função conhecida e são removidos antes que os transcritos finais deixem o núcleo. Eles também divergem muito em sequência, bem como o comprimento entre diferentes espécies. A análise de sua sequência produziu resultados positivos em estudos filogenéticos com boa resolução até o gênero, e também em nível de espécie (LANOUE *et al.*, 1996; QUIJADA *et al.*, 1998). Steane *et al.* (1999) determinaram e analisaram as sequências ITS de 35 eucaliptos e cinco espécies fora do grupo, distinguindo claramente os subgêneros e as seções avaliadas.

As taxas de cruzamento nos *Eucalyptus* são estimadas entre 0,69 a 0,86 (MORAN; BELL, 1983). Para populações naturais de *Eucalyptus urophylla* são de 0,90 (HOUSE; BELL, 1994), e para uma procedência de Timor, plantada em Aracruz, ES a taxa de cruzamento foi de 0,89 (GAIOTTO *et al.*, 1997).

### 2.3 Evolução dos Eucaliptos

Os eucaliptos apareceram a mais de 70 milhões de anos no Cretáceo Superior (100,5 a 66 Ma) no supercontinente e Gondwana (CANTRILL, 2001; CRISP *et al.*, 2004; HILL *et al.*, 1999; LADIGES *et al.*, 2003). Existem evidências fósseis da presença dos eucaliptos na Austrália, no Eoceno (55 a 34 Ma) (ROZEFELDS, 1996), enquanto que Thornhill e Macphail (2012), por meio de técnicas moleculares, para todos os gêneros, afirmam que os *Eucalyptus* apareceram do Eoceno Precoce (37,8 a 33,9 Ma) na Patagônia. Entretanto Hill *et al.* (1999) afirmam que foi no Mioceno (27 a 10 Ma) na Nova Zelândia; e Pole *et al.* (1993) no mesmo período, mas na Austrália.

O isolamento tectônico da Austrália no Oligoceno (23,03 a 33,90 Ma) levou a climas mais frios, secos e mais sazonais e, conseqüentemente, uma flora de transição de floresta tropical dominada pela flora esclerófila, única na Austrália (CRISP *et al.*, 2004; HILL, 2004; HILL *et al.*, 1999; LADIGES *et al.*, 2003). Há pouca dúvida de que o domínio atual do continente australiano pelos eucaliptos seja relativamente recente e está relacionado com o início da

aridez severa durante o Mioceno Superior (10 a 7 milhões de anos) e o atual sistema climático de ciclos glaciais úmidos e secos que começaram por volta de 2,9 milhões de anos (CRISP *et al.*, 2004). A crescente prevalência de fogo desempenhou um papel significativo na transformação da biota australiana dos eucaliptos durante este período de aridez, que se acredita terem expandido das regiões centrais mais secas e mais propícias aos incêndios para ambientes costeiros mais úmidos e florestas mais sensíveis ao fogo (HILL *et al.*, 1999; KERSHAW *et al.*, 1994). Com a chegada dos aborígenes ao continente australiano há pelo menos 55.000 anos e a “agricultura de combate a incêndios” teria continuado esta mudança (BOWMAN, 1998; KERSHAW *et al.*, 1994).

Pela datação molecular a divergência dos gêneros e subgêneros antecedeu a divisão da Antártica com a Austrália há 32 milhões de anos (CRISP *et al.*, 2004). Entretanto não há dados suficientes para que esta teoria seja plenamente aceita (CRISP *et al.*, 2004; STEANE *et al.*, 2002).

## 2.4 Classificação dos Eucaliptos

A primeira classificação abrangente dos eucaliptos foi publicada no início do século passado (BLAKELY, 1934), a qual trazia mais de 600 táxons, com base nos trabalhos anteriores de Maiden e Mueller. A classificação de Blakely continuou a ser a referência crítica para taxonomistas de *Eucalyptus* por quase 40 anos. Pryor e Johnson (1971) dividiram o gênero em sete subgêneros (Blakella, Corymbia, Eudesmia, Gaubaea, Idiogenes, Monocalyptus e Symphyomyrtus), e o pequeno gênero *Angophora* foi mantido separado. Embora de natureza informal, apresentaram um sistema de grande avanço no tratamento de Blakely. Johnson (1976) sugeriu um novo subgênero, o Telocalyptus ao qual pertence o *E. deglupta*.

Apesar das técnicas desenvolvidas nos últimos anos, nenhuma delas sozinha ou em conjunto foi capaz de explicar ou classificar definitivamente o eucalipto. Isso ocorre porque a facilidade de hibridação deixa as espécies muito próximas umas das outras, e quanto maior o subgênero, por exemplo Symphyomyrtus, maior a facilidade de hibridação e maior a dificuldade de separação ou identificação de uma espécie.

Com o avanço da biotecnologia no final da década de 1990 e principalmente a partir do

ano 2000, os trabalhos sobre a filogenia dos *Eucalyptus* se intensificaram. Chippendale (1988b) propôs um único gênero *Eucalyptus* com 13 subgêneros, entre eles o *Angophora* e *Corymbia*. Brooker (2000) também dividiu o gênero *Eucalyptus* em 13 subgêneros, entretanto, os ghost gums (*E. papuana* de Pryor e Johnson, 1971) virou o subgênero *Blakella* e os bloodwood (*E. gummifera* de Pryor e Johnson, 1971) virou *Corymbia*; para Hill e Johnson (1995) ambas espécies pertencem ao gênero *Corymbia*. Além destas espécies, o *E. deglupta*, do Subgênero *Telocalyptus* na classificação de Johnson (1976), virou Subgênero *Munitifructa*. Esta classificação seguia a ideia básica de Pryor e Johnson (1971), ou seja, o modelo hierárquico de subgênero, seções, subseções, séries, subséries e supraespécies (BROOKER, 2000). Estes trabalhos levantaram bastante controvérsias sobre os gêneros *Corymbia* e *Angophora*, se eram ou não independentes dos *Eucalyptus*, se o *Corymbia* era monofilético ou não, além da troca do subgênero de algumas espécies.

Steane *et al.* (2002) fizeram uma pesquisa por meio da técnica ITS com 90 espécies do gênero *Eucalyptus* e 28 de gêneros correlatos e concluíram que os gêneros *Angophora* e *Corymbia* são independentes do *Eucalyptus* (clado destacado). O mesmo estudo mostrou que os gêneros *Allosyncarpia*, *Eucalyptopsis*, *Stockwellia* e *Arillastrum* também estão separados do *Eucalyptus*.

Parra-O *et al.* (2006) por meio das técnicas de ETS (DNA do cloroplasto) e ITS (DNA ribossômico nuclear) chegaram a três cladogramas principais: a) *Corymbia* + *Angophora*; b) *Eucalyptus* e c) *Eucalyptopsis*, mostrando mais uma vez que os gêneros *Corymbia* + *Angophora* devem ser independentes do *Eucalyptus*.

A classificação mais aceita na Austrália é da Tribo Eucalypteae (Peter G. Wilson), que contém sete gêneros (BAYLY, 2016; LADIGES *et al.*, 2003; PARRA-O *et al.*, 2009; RYE, 2009): *Allosyncarpia* (S. T. Blake, 1977), com apenas uma espécie: *Allosyncarpia ternata* (S. T. Blake, 1977) ocorre apenas em Northern Territory, na Austrália;

1. *Angophora* (A. J. Cavanilles, 1797), com 13 espécies nativas da Austrália;
2. *Arillastrum* (Pancher ex Baill.), com apenas uma espécie: *Arillastrum gummiferum* (Brongn e Gris, Pancher, ex. Baill.), ocorre apenas na região central e sudeste da Nova Caledônia;

3. *Corymbia* (K. D. Hill e L. A. S. Johnson, 1995), com 115 espécies ocorrem na Nova Guiné e Austrália;
4. *Eucalyptopsis* (C. T. White, 1951), com apenas duas espécies, nativas de Nova Guiné e no Arquipélago Moluccano;
5. *Eucalyptus* (C. L. L' Héritier, 1788), com 620 a 810 espécies, nativas principalmente da Austrália; apenas 16 espécies ocorrem fora da Austrália, ainda assim confinadas na Malásia (Indonésia, Filipinas e Timor) e Nova Guiné;
6. *Stockwellia* (D. J. Carr et al., 2002), com apenas uma espécie: *Stockwellia quadrifida* (D. J. Carr, S. G. M. Carr & B. Hyland, 2002), ocorre apenas em Queensland.

## 2.5 Classificação dos eucaliptos no Brasil

Pryor e Johnson (1971) dividiram o gênero *Eucalyptus* oito subgêneros: *Blakella*, com nove espécies, *Corymbia* com 35 espécies, *Eudesmia* com 15 espécies, *Gaubaea* com duas espécies, *Idiogenes* com uma espécie, *Monocalyptus* com 100 espécies, e *Symphyomyrtus*, com 300 espécies, que são as mais importantes economicamente e plantadas em todo o mundo. Posteriormente, foi acrescentado o subgênero *Telocalyptus*, com uma espécie (PRYOR, 1976). Essa classificação é mais usada no Brasil. Na Tabela 2 temos a comparação da classificação feita por Pryor e Johnson (1971) com a proposta atual de vários classificadores, com destaque para Brooker (2000).

Tabela 2 – Comparação da classificação dos Subgêneros dos *Eucalyptus* feita por Pryor e Johnson (1971) com Brooker (2000).

Pryor e Johnson	Brooker*	Espécies
Angophora	Angophora (7)	<i>Angophora costata</i>
Blakella	Blakella (15)	<i>E. papuana</i>
Corymbia	<i>Corymbia</i> (67)	<i>C. citriodora, C. maculata, C. torelliana</i>
Eudesmia	Eudesmia (19)	<i>E. phoenicia, E. tetradonta</i>
Gaubea	Acerosa (1)	<i>E. curtisii</i>
	Cuboidea (1)	<i>E. tenuipes</i>
Idiogenes	Idiogenes (1)	<i>E. cloeziana</i>
Monocalyptus	Primitiva (1)	<i>E. rubiginosa</i>
	Eucalyptus (110)	<i>E. phaeotricha, E. pilularis, E. nigra</i>
Symphyomyrtus	Cruciformes (1)	<i>E. guilfoylei</i>
	Alveolata (1)	<i>E. microcorys</i>
	Symphyomyrtus (474)	<i>E. camaldulensis, E. resinifera, E. globulus</i>
Talocalyptus	Minutifructus (4)	<i>E. deglupta, E. brachyandra, E. raverentiana</i>

\* Os números entre parênteses, representam o número de espécies da cada Subgênero.

Pryor e Johnson (1971) dividiram o subgênero Symphyomyrtus em oito seções: Exsertaria, Maidenaria e Transversaria, os três maiores e mais importantes seções que englobam a maiorias das espécies de eucaliptos utilizadas comercialmente, além de: Triadaria, Pygmaearia, Dumaria, Exlegaria e Adnataria.

Tabela 3 – Seções do subgênero *Symphymyrtus* pela classificação feita por Pryor e Johnson (1976).

Seções	Espécies
Tingleria	<i>E. guilfoylei</i>
Transversaria	<i>E. deanei, E. grandis, E. saligna, E. urophylla, E. botryoides, E. robusta,</i>
Triadaria	<i>E. longifolia</i>
Pygmaearia	<i>E. pumila</i>
Aenigmataria	<i>E. cladocalyx</i>
Dumaria	<i>E. costata</i>
Exlegaria	<i>E. michaeliana</i>
Exsertaria	<i>E. alba, E. tereticornis, E. camaldulenses, E. brassiana, E. exserta</i>
Maidenaria	<i>E. benthamii, E. dunnii, E. maidenii, E. globulus, E. nitens, E. badjensis, E. viminalis</i>

## 2.6 Os Eucaliptos

Genericamente o termo Eucalipto incluem os gêneros *Eucalyptus*, *Corymbia*, criado em 1995, com 113 espécies das quais 80 pertenciam ao gênero *Eucalyptus*, e *Angophora*, que contém 13 espécies. O *Angophora* apresenta flores com sépalas e pétalas separadas. No gênero *Eucalyptus* e *Corymbia* a flor normalmente é opercular e as folhas adultas são alternadas. No *Angophora* as folhas são opostas e os frutos não apresentam opérculo (PRYOR; JOHNSON, 1981). No *Corymbia* e *Angophora*, as flores estão mais ou menos no mesmo nível na copa das árvores (CHIPPENDALE, 1988a).

### 2.6.1 O gênero *Eucalyptus*

A grande diversidade genética dos eucaliptos é função de pressões ecológicas e adaptações do sistema reprodutivo; dessa forma, espécies dentro de um mesmo subgênero apresentam diferenças ecológicas apenas, e, por isso, podem se cruzar, enquanto que entre os subgêneros existem também diferenças reprodutivas, por isso, não se cruzam (FLORENCE, 1996; LADIGES, 1997; PRYOR, 1976; WILLIAMS; WOINARSKI, 1997).

Os eucaliptos são as espécies dominantes ou codominantes de praticamente todos os

tipos de vegetação na Austrália, com exceção da floresta tropical, a vegetação da zona árida central e as regiões de maior altitude (WILTSHIRE, 2004). Geralmente são esclerofilos e adaptados a solos de baixa fertilidade (ELDRIDGE *et al.*, 1993; FLORENCE, 1996; SPECHT, 1996) e ao fogo (PRYOR, 1976; BURROWS, 2002).

O gênero *Eucalyptus* é dividido em 10 subgêneros que são: *Symphomyrtus*, *Eucalyptus* e *Eudesmia*, os três mais importantes. Os outros subgêneros são bem menores com uma a quatro espécies cada um, que são: *Acerosae* (*E. curtisii*), *Cuboidea* (*E. tenuipes*), *Idiogenes* (*E. cloeziana*), *Alveolata* (*E. microcorys*), *Cruciformes* (*E. guilfoylei*), *Minutifructus* (quatro espécies de boxes, *E. deglupta*, *E. brachyandra*, *E. howittiana* e *E. raverentiana*) e *Primitiva* (*E. rubiginosa*, próximo do subgênero *Eucalyptus*) (BROOKER, 2000; LADIGES *et al.*, 2010).

Os subgêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* são predominantemente australianos, mas ocorrem naturalmente fora da Austrália como o *E. deglupta*, que se estende desde Nova Guiné e Nova Bretanha até o sul das Filipinas e Sulawesi. O *E. urophylla*, ocorre na Indonésia, nas ilhas de Timor, Flores, Alor, Adonara, Lombok, Pantar, Wetar e Timor Português, o *E. orophila* é endêmico de Timor e *E. wetarensis*, endêmico de Wetar (PRYOR *et al.*, 1995), as vezes tratado como subespécies do *E. urophylla*, provando que o continente australiano seguiu para o norte e chegou perto do sul da Ásia nos últimos 10 milhões de anos (LADIGES *et al.*, 2003; MORTON *et al.*, 2011; PAYN *et al.*, 2007). O *E. alba* ocorre no arquipélago de Sunda e na Austrália.

São cerca de 700 espécies de *Eucalyptus* que ocorrem na Austrália, desde o nível do mar até as mais altas montanhas, das áreas mais secas as mais úmidas (1600 mm) e 12 que ocorrem fora da Austrália, nas Filipinas, Indonésia e Nova Guiné; e só quatro (*E. deglupta* (Nova Guiné) e *E. urophylla*, *E. orophila* e *E. wetarensis* (Indonésia e Timor Português) não ocorrem na Austrália. As principais espécies são do Subgênero *Symphomyrtus* Seção *Transversaria* (*E. grandis*, *E. saligna* e *E. urophylla*), *Maidenaria* (*E. globulus*, *E. dunnii*) e *Exsertaria* (*E. camaldulenses* e *E. tereticornis*). O cruzamento dentro de Subgênero é fácil mas entre Subgêneros é difícil, uma das razões para a separação do Subgênero *Corymbia* do Gênero *Eucalyptus* (BOLAND *et al.*, 2006; CHIPPENDALE, 1988b; PRYOR; JOHNSON, 1971; 1981).

Os *Eucalyptus* apresentam folhas adultas alternadas, uma única inflorescência em forma de umbela, sempre com número ímpar de flores, normalmente maior que três, exceto



no *E. globulus* em que é solitária, frutos capsulados lenhosos que se abrem por valvas curvas e pouco simétricas. As flores apresentam sépalas e/ou pétalas que se fundiram para formar o opérculo, exceto no antigo subgênero *Eudesmia* (Exemplo: *E. tetradonta*) e algumas outras espécies como *E. microcorys* (antigo subgênero *Monocalyptus*). As flores são bissexuais, com numerosos estames que se expõem após a abertura do opérculo (PRYOR, 1976). Os frutos geralmente são lisos, mas há exceções (exemplo *E. globulus*). Os frutos são a estrutura mais importante para diferenciar as espécies, principalmente tamanho, forma, orientação dos discos e disposição e número de valvas. O disco estaminal pode ser abaixo, nivelado ou acima da linha de estames, as valvas são inclusas, niveladas ou salientes (BOLAND *et al.*, 2006; CHIPPENDALE, 1988b; PRYOR; JOHNSON, 1971; 1981).

O opérculo que cobre o botão floral evoluiu mais de uma vez independentemente no *Corymbia* e nos três principais subgêneros de *Eucalyptus*. Um opérculo apenas é característico do subgênero *Eucalyptus* (*E. erectifolia*). No subgênero *Symphyomyrtus* aparecem flores com dois opérculos que vieram das modificações das sépalas e pétalas (*E. robusta*). O subgênero *Eudesmia* apresenta um opérculo proveniente das pétalas porque apresentam as sépalas (*E. erythrocoris*) (LADIGES *et al.*, 2003).

No *Symphyomyrtus*, espécies da mesma seção tendem a ter DNA similar, que é quase o dobro do DNA das espécies do subgênero *Corymbia*. Uma exploração das diferenças genômicas entre as espécies, sem dúvida dependerá da comparação de mapas de ligação derivados de marcadores moleculares (BYRNE *et al.*, 1993; GRATTAPAGLIA; SEDEROFF, 1994; MORAN *et al.*, 1995; VAILLANCOURT *et al.*, 1995) e sequenciamento gênico (HIBINO *et al.*, 1994; HARCOURT *et al.*, 1995).

### 2.6.2 O gênero *Corymbia*

O gênero engloba os antigos subgêneros *Corymbia* e *Blakella*. No *Corymbia* o disco estaminal está abaixo da linha de estames e as valvas são inclusas. As flores não apresentam sépalas e pétalas, mas apresentam opérculo. As flores estão no mesmo nível ou altura na árvore. Os frutos são lisos, mas há exceções (*C. bunites*, *C. leichhardtii*). São adaptados ao clima

seco, solos pobres e degradados propícios a incêndios (BOLAND *et al.*, 2006; CHIPPENDALE, 1988a; PRYOR; JOHNSON, 1971; 1981; LADIGES *et al.*, 2003).

As estruturas anatômicas das flores, como as tricomas, e dos frutos, corroborados com dados de DNA, mostram que o *Corymbia* está mais próximo do *Angophora* que do *Eucalyptus* (LADIGES *et al.*, 2003).

O gênero *Corymbia* foi separado do gênero *Eucalyptus* em 1995 e na classificação filogenética baseada em mais de 7000 características, que mostra o subgênero *Corymbia* mais próximo do subgênero *Blakella* que do gênero *Angophora* (BAYLY, 2016).

### 2.6.3 O gênero *Angophora*

O *Angophora* (Cavanilles, 1797) com 10 espécies de árvores ou arbustos da Austrália Ocidental diferencia-se dos *Eucalyptus* por apresentar folhas adultas opostas, enquanto que os *Eucalyptus* apresentam folhas adultas alternadas. As flores do *Angophora* não apresentam opérculos, presentes no *Corymbia* e no *Eucalyptus*, mas apresentam sépalas e pétalas, ausentes nos *Corymbia* e no *Eucalyptus*, exceto na Subgênero *Eudesmia*, e algumas outras espécies como o *E. microcorys*. As flores apresentam-se em vértices umbeliformes dispostas em corimbos terminais, com cinco lóbulos dentados. Corola com cinco pétalas juntas na base. Androceu com numerosos estames dispostos em várias séries. As flores estão no mesmo nível ou altura na árvore. Os frutos do gênero *Angophora* apresentam nervuras proeminentes, enquanto que nos *Eucalyptus* e *Corymbia*, geralmente são lisos. Apresentam grande quantidade de espécies, com ampla distribuição geográfica, mais adaptadas ao clima seco e solos pobres e degradados, propícios a incêndios (BOLAND *et al.*, 2006; CHIPPENDALE, 1988a; PRYOR; JOHNSON, 1971; 1981; LADIGES *et al.*, 2003; ROZEFELS, 1996). É monofilético e originário do gênero *Corymbia* (HILL; JOHNSON, 1995; LADIGES *et al.*, 1995; STEANE *et al.*, 1999; UDIOVICIC *et al.*, 1995).

#### 2.6.4 Demais gêneros dos Eucaliptos

Os outros quatro gêneros menores que compõem o grupo de eucalipto são: *Arillastrum* (Pancher & Baill), é um gênero monotípico (*A. gummiferum*) endêmico de Nova Caledônia. O *Allosyncarpia* (S.T. Blake, 1977) de Arnhem Land no norte da Austrália também é monotípico (*A. ternata*), sobrevive no planalto de Arnhem em desfiladeiros rochosos profundos e domina pequenas manchas de floresta monçônica. A espécie é sensível ao fogo e precisa ser protegida (LADIGES *et al.*, 1995; 2003). Um terceiro gênero monotípico *Stockwellia* (D. J. Carr., S. G. M. Carr, B. Hyland) é restrito ao Atherton Tableland no Norte de Queensland (*S. quadrifida*), trópicos úmidos de Queensland. O gênero *Eucalyptopsis* (C. T. White) é composto por duas espécies, *E. papuana* e *E. alauda* e é encontrado na Nova Guiné e no Arquipélago Molucano (LADIGES *et al.*, 2003).

Os gêneros *Allosyncarpia*, *Stockwellia*, *Eucalyptopsis* e *Arillastrum* são da floresta tropical (Rainforest) e totalizam cinco espécies (CHAH, 2016). Os três primeiros são bastante próximos, enquanto que, o *Arillastrum* é monotípico e endêmico da Nova Caledônia (BOHTE; DRINNAN, 2005). Os outros três gêneros são esclerofilos, adaptados à seca, e somam mais de 830 espécies, e são bastante próximos (CHAH, 2016).

#### 2.7 Taxonomia do *Eucalyptus urophylla*

O *Eucalyptus urophylla* pertence ao antigo Subgênero *Symphyomyrtus*, o maior dos 10 Subgêneros com 75% das espécies, Seção *Transversaria* e Série *Salignae* Subsérie *Resiniferae* (MARTIN; COSSALTER, 1975). Pryor e Johnson (1971; 1981) reclassificam-no na Seção *Transversaria*, Série *Salignae*, Subsérie *Saligninae* e Supersérie *Saligna*.

Isso evidencia a variação clinal da espécie, Martin e Cossalter (1975) propuseram a classificação baseados nas Procedências de Timor acima de 1000 m, que possuem casca fibrosa, folhas grandes, de pouca espessura, afinando na ponta como uma cauda, razão do nome da espécie. Entretanto Pryor e Johnson (1971) se basearam nas Procedências de Flores, que possuem casca lisa em boa parte do fuste, folhas pequenas, mais espessas, de forma

lanceolada. Por outro lado, Araújo *et al.* (2002) estudaram 17 espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* por meio do sequenciamento do gene 5.8S do DNA ribossômico e tanto o *Eucalyptus urophylla* da procedência Timor quanto Flores foram classificados como da Seção Transversaria, Subsérie Salignae; porém, trabalharam com procedências brasileiras, que poderiam ter hibridado. Outra possibilidade é que Araújo *et al.* (2002) tenham trabalhado com baixas altitudes de Timor uma vez que a espécie ocorre de 800 a 2960 m, e o *E. alba* de 80 a 1300 m em Timor, havendo o contato entre as espécies de 800 a 1300 m e também a coincidência na época de florescimento do *E. alba*, *E. urophylla* e o híbrido entre as duas espécies (VIEIRA; BUCSAN, 1980).

Martim e Cossalter (1976b) dividem o *E. urophylla* em dois grandes grupos:

1. Região Sul: Procedente de Timor: fruto pequeno, casca fibrosa ou rugosa, mais adaptado as áreas úmidas com pequenos períodos de déficit hídrico, precipitação ao redor de 2.500 mm. As melhores procedências são de baixas altitudes, como Dili, região de Remexio. As procedências acima de 1.500 m de altitude estão mal adaptadas ao Brasil.
2. Região Norte: Procedências Flores, Lomblen, Adonara, Plantar, Alor, Wetar e Costa Nordeste de Timor: frutos grandes, casca lisa, exceto na base, mais adaptados ao clima seco com 750 a 1.200 mm de precipitação anual, com grandes períodos secos, baixas altitudes, de 300 a 1.100 m. Apresentam boa performance em clima úmido, subúmido, tropical e subtropical do Brasil. A precipitação média é de 1.100 a 1.500 mm e suportam 1 a 5 meses de seca.

## 2.8 Ocorrência

O *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake ocorre em Timor, onde cresce predominantemente em florestas montanas úmidas, acima de 1000 m de altitude, e se estende até o extremo leste de Flores, Adonara, Lomblen, Pantar, Alor e Wetar (ELDRIDGE *et al.*, 1993; PRYOR *et al.*, 1995). São limitados ao norte pelo mar de Flores e ao sul pelo mar de Timor, sendo sua ocorrência nas Latitudes de 7° 30' S a 10° 30' S e nas Longitudes de 122° L a 127° L (MARTIN; COSSALTER, 1976a). As altitudes variam de 90 a 3.000 m (DORAN; TURNBULL, 1997; GUNN; McDONALD, 1991; MARTIN; COSSALTER, 1976b; PRYOR; JOHNSON, 1971). São 476 km de leste a oeste, e

230 km de norte a sul (DVORAK *et al.*, 2008).

A precipitação varia de 600 a 2500 mm (MARTIN; COSSALTER, 1975;1976c). Dvorak *et al.* (2008) verificaram que a precipitação em Flores, Adonara e Lomblen é muito similar, e varia de 1085 a 1110 mm, diminuindo de Oeste para Leste. Em Wetar a precipitação varia de 850 a 925 mm. Em Timor a precipitação nos locais mais altos variam de 1225 a 1300 mm. Os autores formaram dois grupos em função da precipitação e temperatura. Num grupo está Wetar com a menor precipitação e o maior período seco (5 a 6 meses). No outro grupo estão as demais ilhas. Timor é um subgrupo deste grupo em função da maior precipitação e menor temperatura. Nos testes de procedências/progênes conduzidos pela Camcore no México, Venezuela, Colômbia e Brasil, em baixas altitudes, a porcentagem de sobrevivência e produtividade das procedências de Timor são significativamente menores que das demais ilhas. Os fatores que mais influenciam isso são a latitude (0,38 a 0,69%) e altitude (0 a 0,75%), sendo a latitude mais influente. A procedência é bastante influente também em relação a resistência aos fungos *Aulographina* spp. (Wetar 3% e Adonara 35% de folhas atacadas) e *Mycisogaerekkia* spp. (a porcentagem de ataque variou de 8 a 19% dentro da ilha Flores), e parece ser controlada por poucos genes (DVORAK *et al.*, 2008).

A Longitude foi a característica climatológica que mais influenciou a densidade básica desta espécie porque reflete a precipitação nas ilhas ( $R^2 = 0,4264$ ;  $P < 0,0001$ ) (SCANAVACA JR.; GARCIA, 2017). House e Bell (1994) avaliaram a diversidade genética em função dos dados climatológicos e só acharam correlação significativa para a frequência alélica de genes com a longitude ( $r = 0,422$ ;  $p < 0,0005$ ) e entre a heterozigosidade observada e a longitude ( $r = 0,624$ ;  $p < 0,0005$ ).

Pinyopusarek *et al.* (1993) avaliaram as características das folhas, cinco qualitativas e sete quantitativas, e correlacionaram com os dados climatológicos (latitude, longitude e altitude), no *E. urophylla*, *E. pellita* e *E. scias*. A longitude foi a característica que melhor se correlacionou com o comprimento da folha ( $R^2 = 0,73$ ) e forma do fuste ( $R^2 = 0,71$ ).

Em Timor a espécie apresenta casca rugosa em todo o fuste, folhas lanceoladas com a ponta recurvada, frutos pequenos e uniformes. O *E. alba* ocorre de 80 a 1300 m, apresenta folhas arredondadas de tamanho variável, nos frutos as valvas são bastante salientes, a casca

é lisa e clara. Em Flores, a floração das duas espécies e do híbrido são simultâneas (VIEIRA; BUCSAN, 1980).

Payn *et al.* (2007), usando marcadores microssatélites, também encontraram dois grupos, com um baixo grau de diferenciação genética entre populações (pequenos grupos de procedências da mesma ilha). Por meio de análise bayesiana de clusters, identificaram um grupo formado pelas ilhas Flores, Adonara, Lomblen e Pantar, e outro formado por Wetar e Timor. Alor estava numa zona de transição, com aproximadamente 50% dos indivíduos em cada grupo. Segundo os mesmos autores, a diversidade de haplótipos de cloroplasto exibiu uma tendência decrescente de leste para oeste, consistente com uma antiga rota de migração Leste-Oeste da espécie através das sete ilhas.

A diversidade genética é maior dentro das ilhas que entre elas; entretanto, não há nenhum padrão relacionado à geografia, exceto em Wetar; entretanto, quando eliminaram os outliers, há maior estruturação gênica e aparece outro grupo em Timor, embora não forte o suficiente para separá-lo numa nova espécie (HOUSE; BELL, 1994). Embora não haja estrutura por isoenzimas, há clara correlação entre a altitude e o tamanho dos frutos de Timor em relação a Wetar, e a produtividade com as baixas altitudes de Flores (CHAROMAINI, 1990; ELDRIDGE *et al.*, 1993).

A diversidade do *E. urophylla* está acima de outras espécies de *Eucalyptus* com ampla distribuição geográfica, como o *E. grandis*, *E. saligna*, *E. delegatensis*, *E. cloeziana* e *E. nitens* (HAMRICK *et al.*, 1992; HOUSE; BELL, 1994).

O *E. alba* e *E. urophylla* são espécies simpátricas em todas as ilhas da Indonésia, exceto em Timor, onde estão separadas por 500 a 600 m na altitude. As duas espécies são introgressivas, isto é, a hibridação e retrogressão nas duas espécies e muito comum nas altitudes variando de 400 a 800 m, de modo que é difícil determinar o genótipo puro de cada uma destas espécies. A taxa de hibridação nestas altitudes varia de zero a 17%. Em Timor as duas espécies estão teoricamente separadas, entretanto, a taxa da hibridação varia de 0 a 2% (DVORAK *et al.*, 2008).

O clima varia de subtropical seco a tropical úmido, tornando-se seco de Oeste para Leste. A temperatura média varia de 20 a 30° C, nos meses mais frios pode chegar à 15° C. Os

solos são bastante variáveis, sendo que o *E. urophylla* sempre ocorre nos melhores solos e o *E. alba* nos solos menos desenvolvidos e pedregosos (HOUSE; BELL, 1994; VIEIRA; BUCSAN, 1980).

Os estudos por enzimas em treze loci revelaram que a espécie apresenta alta diversidade genética; dentro das ilhas é maior que entre as ilhas, embora haja troca de genes as populações dentro e entre ilhas (ilhas,  $G_{st} = 11,75\%$ ). A distância genética entre populações foi baixa, de modo que não foi possível separá-las geograficamente. Existem dois grupos distintos, um de Flores, Adonara, Lomblen e Pantar, e outro formado por Wetar e Timor. Em função da maior variabilidade por cpDNA deduziram que a espécie surgiu no Oeste, Timor ou Wetar, onde as diferenças climáticas também são evidentes, e migrou para as demais ilhas (HOUSE; BELL, 1994; PAYN *et al.*, 2007).

## 2.9 Filogenia

A ilha de Timor faz parte do arco externo, enquanto que as demais ilhas, inclusive Wetar, fazem parte do arco interno, que surgiu devido o choque da placa tectônica australiana com a placa tectônica asiática durante o Plioceno (5,33 a 2,58 milhões de anos) (MICHAUX, 1991). A colonização do *E. urophylla* e as migrações entre as ilhas ainda não estão claras, mas estudos com isoenzimas sugerem que colonizou primeiro Timor, para depois colonizar as demais ilhas, porque as populações de Timor e de Wetar, ilha mais próxima a Timor, continham o maior número de alelos (HOUSE; BELL, 1994). Isso teria acontecido durante um período de baixo nível do mar na era glacial, por uma ponte terrestre, menos de 150 km separa as bordas das plataformas continentais de Timor (LADIGES *et al.*, 2003).

As ilhas Flores, Lomblen e Adonara eram conectadas quando os oceanos apresentavam nível de 60 a 120 m abaixo do que está hoje. As outras quatro ilhas (Timor, Wetar, Pantar e Alor) permaneceram separadas (HEANEY, 1991; PAYN *et al.*, 2007; VORIS, 2000). Espécies de cobras comuns entre as ilhas Flores e Lomblen reforçam esta teoria (HOW *et al.*, 1996). Entretanto Hall (2001) acredita que nunca existiu ponte terrestre entre a Austrália e Timor, e acredita que a colonização tenha sido feita via semente que atravessou o mar.

Payn *et al.* (2007) estudaram a colonização das ilhas da Indonésia pelo *E. urophylla* por

meio de cpDNA em 198 indivíduos de 51 procedências das sete ilhas. A ilha Wetar mostrou a maior diversidade de haplótipos com 0,878, enquanto as populações as ilhas Flores e Lomblen mostraram os Haplótipo X fixados. A média dos haplótipos de todas as ilhas foi de 0,689.

O  $N_{ST}$  foi 0,724 e o  $G_{ST}$  0,581 ( $P < 0,01$ ), isto indica que, existe uma estrutura filogeográfica e o haplótipos são encontrados com maior frequência numa mesma área. A variação dentro das procedências foi de 25,1% e 25,5% entre procedências de uma mesma ilha. A variação entre ilhas foi de 49,9% para cpDNA. Isto permite concluir numa colonização de Leste (Timor ou Wetar) para Oeste em Alor, e depois para Pantar, Lomblen, Adonara e Flores. O DNA nuclear permitiu concluir que a maior diversidade está dentro das ilhas e não entre as ilhas (PAYN *et al.*, 2007).

A alta diversidade genética do *E. urophylla* de Flores pode ser resultado da hibridação com *E. alba*, embora Martin e Cossalter (1976a; b) os considere raros como árvores maduras (PAYN *et al.*, 2007). Timor e Alor contém a maior número de alelos da espécie (89%) que qualquer outra ilha (Wetar = 83%; Pantar = 60%; Lomblen = 60%; Adonara = 59% e Flores = 81%) (HOUSE; BELL, 1994).

## 2.10 Botânica

O *E. urophylla* normalmente apresenta de 25 a 45 m de altura e o diâmetro pode chegar a um metro; a copa ocupa de um terço a metade do fuste. Em condições ótimas pode atingir 55 m de altura e dois metros de diâmetro. A casca é extremamente variável, aparentemente associada com a altitude e umidade. Abaixo de 1000 m em Alor e Flores a casca é lisa com pequenas porções de casca fibrosa na base (de 0 a 0,50 m de altura). De 1000 a 2960 m em Timor, onde as condições normalmente são mais úmidas, a casca é subfibrosa (rugosa), superficialmente e longitudinalmente fissurada, os galhos finos são marrons avermelhado. Nas outras ilhas a casca também varia. As vezes ocorre associado ao *E. alba* e o híbrido pode exibir outro tipo de casca. As folhas também são bastante variáveis nos estádios de plântula, juvenil, intermediária e adulta, quanto ao tamanho, forma e a cauda. A folha é verde-escuro na face dorsal e verde pálido na face ventral, subopostas a opostas, amplamente lanceolada e de 12 a



20 cm de comprimento e dois a cinco cm da largura, com uma cauda que aparece abruptamente na extremidade da folha. Nervura intramarginal reticuladas com 45 a 50°. As flores são de brancas a cremes, com sete a onze botões em umbela e pedicelo achatado. Os botões são globulares a ovoides, os frutos em forma de taça ou oblíquo, apresentam três a cinco valvas mais ou menos niveladas (DORAN; TURNBULL, 1997; DVORAK *et al.*, 2008; ELDRIDGE *et al.*, 1993; GUNN; McDONALD, 1991; PRYOR *et al.*, 1995; TURNBULL; BROOKER, 1978).

A hibridação e introgressão não é evidente nas áreas naturais (MARTIN; COSSALTER, 1975;1976c). Entretanto outros pesquisadores discordam. As cascas das duas espécies puras são bastante distintas. O *E. alba* apresenta casca lisa e branca e o *E. urophylla* tem casca rugosa ou fibrosa e marrom. A introgressão entre as duas espécies produz indivíduos com casca lisa e branca a indivíduos com casca lisa acinzentada e escamosa (DVORAK *et al.*, 2008; GUNN; McDONALD, 1991). A maior parte da hibridação, expressa na porcentagem de casca fibrosa na base da árvore, varia de 0 a 17% e diminui com o aumento da altitude; exceto nos montes Hokeng com altitudes variando de 300 a 850 m, e as encostas do Monte Lewotobi no Oeste da ilha Flores, em que as porcentagens de casca variam de 0 a 51%. Em Timor a taxa da hibridação varia de 0 a 2%.

Acredita-se que períodos secos tenham favorecido a expansão do *E. alba*, e períodos úmidos, a expansão do *E. urophylla*, e que a precipitação seja mais influente que a temperatura nesta expansão e contração em função dos períodos secos. Em função disso e da manifestação da casca em baixas altitudes no México e Venezuela, os autores acreditam que o *E. urophylla* de baixas altitudes contenham genes do *E. alba* em seu germoplasma (DVORAK *et al.*, 2008). Payn *et al.* (2007) também acreditam na hibridação das duas espécies principalmente em função do haplótipo X mais comum nas ilhas do Oeste (Flores, Lomblen e Adonara) em que a ocorrência das duas espécies é mais comum, bem como a alta variabilidade acusada por cromossomos nucleares em Flores, o que não acontece com os cromossomos mitocondriais.

Em Timor, nas baixas altitudes (300 a 600 m), onde o clima é mais seco, os frutos são pequenos, as folhas são menores, e forma do fuste é ruim, enquanto que nas altas altitudes (2800 m) os frutos e as folhas são grandes, a casca é totalmente rugosa e o fuste apresenta boa

forma (GUNN; McDONALD, 1991; MARTIN; COSSALTER, 1975; 1976c; MOURA, 1977). O tamanho da folha se correlaciona negativamente com a altitude (MOURA, 1977).

Pinyopusarek *et al.* (1993) avaliaram sete características quantitativas e cinco qualitativas em 22 procedências de *E. urophylla* e concluíram que quatro procedências de Wetar distinguem-se das demais, principalmente por apresentar folhas mais estreitas e maior relação entre o comprimento e a largura da folha, bem como menor ângulo de inserção da folha. Atribuíram isso aos solos mais rasos e secos.

Pryor *et al.* (1995) avaliaram 11 características quantitativas e cinco características qualitativas em 367 mudas de *E. urophylla* de 22 procedências (139 de Flores, uma de Adonara, 74 de Wetar seco e 68 de Wetar úmido, 24 de Alor, 17 de Pantar, 18 de Timor de alta altitude, 18 de média altitude e 21 de baixa altitude), as médias das características quantitativas estão na Tabela 4.

Duas subpopulações foram descritas como novas espécies por Pryor *et al.* (1995), com base em 11 características quantitativas e cinco qualitativas em 428 mudas de 26 lotes de sementes de *E. urophylla*. O *E. wetarensis*, com a altura variando entre 10 e 17 m, da parte mais seca da ilha Wetar, apresenta folha mais estreita e fruto maior que o *E. urophylla*. O *E. orophila* ocorre na ilha Timor acima de 2100 m de altitude, diferencia-se do *E. urophylla* por apresentar casca rugosa até 2 ou 3 m e daí para cima casca lisa acinzentada, folha mais estreita com cauda mais curta e altura da árvore ao redor de 14,5 m. O pedicelo do fruto também é mais curto.

Tabela 4 – Características quantitativas do *E. urophylla* em função das ilhas.

Ilha	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flores	144,4	25,49	37,99	21,45	46,03	6,43	6,88	8,81	14,38	4,27
Adonara	137,6	27,00	37,56	19,31	42,81	6,87	7,06	9,31	14,50	4,75
Wetar seco	130,4	21,36	32,20	16,35	41,15	10,49	6,74	13,36	15,09	4,68
Wetar úmido	130,2	26,87	38,97	17,37	47,96	7,55	8,00	9,09	15,70	4,27
Alor	151,3	23,56	36,63	24,23	49,55	6,97	7,05	9,63	16,14	4,23
Pantar	147,2	23,85	38,41	19,42	48,23	8,76	7,25	11,13	16,37	4,32
Timor alto	97,8	24,00	40,11	9,28	60,33	8,28	4,65	10,07	14,22	4,00
Timor médio	144,3	23,67	41,78	22,50	53,00	6,27	6,40	8,13	14,29	4,07
Timor baixo	154,5	22,90	45,33	22,30	55,86	6,76	6,67	10,48	12,05	4,05

Fonte: Adaptado Pryor et al., 1995; Timor alto = altitude acima de 2100 m; Timor médio = altitude de 1200 a 2100 m; Timor baixo = altitude abaixo de 1200 m; 1 = Comprimento da folha; 2 = Comprimento do pecíolo; 3 = Largura da folha; 4 = Comprimento da cauda da folha; 5 = Ângulo da base da folha; 6 = Comprimento do fruto; 7 = Comprimento do pedicelo; 8 = Largura do fruto; 9 = Comprimento do pedúnculo; 10 = Número máximo de valvas.

Estudos com isoenzimas confirmaram a diferenciação do *E. wetarensis*, ilha mais seca do Arquipélago Sonda, mas o *E. orophila* não apresentou diferenças por isoenzimas (HOUSE; BELL, 1994; VERCOE; CLARKE, 1994). Pinyopusarek *et al.* (1993) também separaram as procedências de solos rasos das encostas íngremes e secas de Wetar das demais procedências. Doran *et al.* (1995) também separaram as procedências de Wetar das demais em função do teor de óleos.

O *E. urophylla* é a espécie dominante nas encostas e o *E. alba*, no fundo de vale. O *E. urophylla* se adapta melhor em solos de origem vulcânica ou metamórfica, com pH neutro a levemente ácido. Solos profundos, úmidos e bem drenados. Ocorrem em solos basálticos ou xistosos, mas nunca em solos de origem calcário. Abaixo de 1500 m ocorre associado ao *E. alba* (DORAN; TURNBULL, 1997).

O *E. urophylla* uma das espécies mais altas do mundo podendo atingir até 55 m de altura. É bastante parecida com as espécies da Wet Sclerophyll Eucalypts Forest no Norte da Austrália, que permite a formação de sub-bosque (PRYOR *et al.*, 1995).

A densidade varia de 540 a 570 kg.m<sup>-3</sup>, o cerne é castanho amarelado a castanho avermelhado. A fibra tem aproximadamente 1 mm de comprimento, o rendimento em polpa para celulose é de 49,5%. As madeiras de árvores mais velhas são adequadas para carpintaria

(DORAN; TURNBULL, 1997). A densidade básica e a produtividade foram maiores nas procedências de Flores (casca lisa) que as de Timor (casca rugosa) na África do Sul (DAROW; ROEDER, 1983).

Procedência de altitudes superiores a 1500 m não estão adaptadas a países tropicais. As procedências de 300 a 1100 m de altitude apresentaram bom desenvolvimento em países tropicais, subtropicais, úmidos a sub úmidos com até cinco meses de déficit hídrico (FERREIRA, 1992; VERCOE; HOUSE, 1992).

### 2.11 Introduções no Brasil

Devido à importância da espécie no Brasil, várias introduções foram feitas, sendo que a primeira foi realizada por Edmundo Navarro de Andrade em 1919 com o nome de *E. alba*, famoso mundialmente com o nome de *E. alba* de Rio Claro ou *E. alba* do Brasil. Com sementes de duas árvores, provindas da ilha Flores, do Jardim Botânico de Bogor em Java na Indonésia. A segunda introdução foi feita em 1967 pela Companhia Paulista de Estrada de Ferro, com sementes de Timor, coletada de árvores entre 914 e 2.135 m de altitude (MOURA, 2004).

A terceira também de Timor foi feita pelo IPEF em 1969. De 1970 a 1976 foram introduzidos 44 lotes de sementes de *E. urophylla* de Timor, Flores etc. pelo PRODEPEF, IPEF e Aracruz Florestal S. A. Em 1977 a Companhia Vale do Rio Doce fez uma das introduções mais completas da espécie no Brasil, sendo dez procedências de Flores, sete de Timor Oeste, cinco de Adonara, quatro de Alor e uma de Pantar (VIEIRA; BUCSAN, 1980).

### 2.12 Melhoramento e Manejo

O *Eucalyptus urophylla* é de Floresta Aberta Alta, com casca lisa ou fibrosa (variação clinal), reage ao espaçamento e adubação, apresenta lignotubérculo, o que lhe confere boa brotação e produção na segunda rotação, é resistente ao déficit hídrico, apresenta boa forma do fuste e densidade básica ao redor de 500 kg.m<sup>3</sup>. O sistema radicular é superficial a intermediário, as procedências de casca lisa são mais indicadas a produção de celulose e papel,

enquanto que as de casca fibrosa, ao uso múltiplo da madeira (FERREIRA, 1992).

O *Eucalyptus urophylla* é uma espécie de grande interesse para as zonas tropicais úmidas e as procedências mais produtivas são as tropicais, isto é; as altitudes na origem estão entre 300 e 1.200 m, estas procedências no Brasil apresentam grande adaptabilidade e estabilidade de resposta (CORBASSON; COSSALTER, 1983; DARROW; ROEDER, 1983; FERREIRA, 1999; GOUMA, 1998; MORI *et al.*, 1988; MOURA, 1981; PASZTOR *et al.*, 1990; PINTO JR., 1984; PUPIN *et al.*, 2015; ROCHA *et al.*, 2006; SANTOS *et al.*, 1990; SCANAVACA JR. *et al.*, 1990; 1993; SCANAVACA JR.; GARCIA, 2003).

Segundo Ferreira (1999), o *E. urophylla* é uma das espécies mais importantes para as regiões tropicais úmidas; as procedências mais importantes são as mais tropicais. Diversos ensaios instalados em diversos países tropicais revelaram grande estabilidade de respostas das macroprocedências.

Segundo Ferreira (1999), resumidamente:

1. A procedência aceitável de Timor é Dili, região do Remexio (até 800 m de altitude), as procedências de altitude superiores não estão bem-adaptadas;
2. As melhores procedências são das baixas altitudes de Flores como Monte Egon (315 a 515 m), Monte Lewotobi (325 a 500 m);
3. Existem boas procedências na ilha Alor (Ulanu), com excelente forma do tronco;
4. As procedências das ilhas Adonara e Lomblen são vigorosas, mas a forma é muito ruim;
5. As procedências de Wetar e Pantar não estão adaptadas as regiões bioclimáticas do Brasil.

Ferreira (1999) avaliou os ensaios de *E. urophylla* em Anhembi e selecionou 108 árvores mais produtivas, oito de Timor, 83 de Flores e 17 de Outras Ilhas. Estas árvores foram classificadas em cinco grupos. O tipo de casca é independente do tipo botânico e os tipos botânicos são independentes das procedências. As progênies com maior capacidade adaptativa e produtiva concentravam-se em dois grupos. Dentro do grupo Outras Ilhas o autor encontrou árvores que não se encaixavam em nenhum dos cinco grupos.

Scanavaca Jr. e Garcia (2003) trabalharam com procedências de Flores com 19 anos de idade, as árvores com a copa mais aberta foram mais produtivas que as de copas fechadas, as

de copa intermediárias foram as menos produtivas. As cascas lisas foram mais produtivas que as de meia casca e casca rugosa, que não diferiram estatisticamente entre si. As árvores de casca totalmente lisa só não aparecerem na Procedência Aradetung (720 m de altitude). Nas demais procedências aparecem os três ideótipos de casca. Havia oito formas de folha, com predomínio da forma lanceolada (48,8%). Apareceram três formas de fruto, ovoide truncado (29,9%), amplamente cônico (32,8%) e cônico (37,2%). Não há correlação entre as características tecnológicas com as características botânicas.

Pinyopusarek *et al.* (1993) estudaram 22 procedências e concluíram que as procedências Arnau, Telemar, Carububu e Old Uhak, de Wetar eram distintas das demais, inclusive de Wetar. Atribuíram as diferenças a adaptações climáticas uma vez que os locais apresentavam alta declividade, solos bastante rasos e clima muito seco. House e Bell (1994) estudaram este material por meio de marcadores moleculares e chegaram as mesmas conclusões.

Ferreira e Souza (1997) estudaram várias características em 20 clones de *E. urophylla*. Com base nos resultados, os clones foram agrupados em três grupos, sendo um de *E. urophylla* de altitude ou originário de Timor, portanto casca fibrosa. O segundo grupo de *E. urophylla* var. *platyphylla* de casca lisa e o terceiro grupo formado pelo híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*.

No Brasil, adaptou-se melhor ao clima tipo Aw, e em menor proporção nos tipos Af, Am, Cwa, Cwb (Figura 1). As principais exigências climáticas são: temperatura média anual entre 16 e 27° C e precipitação média anual entre 1000 e 2000 mm (FLORES *et al.*, 2016).

Esse mesmo teste foi avaliado aos dois anos de idade para a produtividade (DAP), estabilidade e adaptabilidade em cinco locais, Anhembi e Itatinga em São Paulo, Uberaba e Itamarandiba em Minas Gerais e Selvíria no Mato Grosso do Sul. Os maiores crescimentos foram obtidos em Anhembi, a interação genótipo ambiente foi simples, isto é, as melhores progênies selecionadas em um local se repetem ou muda muito pouca a ordem nos outros locais (PUPIN *et al.*, 2015).

Santos *et al.* (1990) avaliaram diversas progênies separadas por macroprocedências sendo 109 e 104 de Flores em Linhares, ES e Grão Mogol, MG, respectivamente, 68 e 63 de Timor, respectivamente, e 87 e 83 de Outras Ilhas, respectivamente. Os comportamentos

foram distintos de um local para outro aos oito anos de idade para o DAP, altura e volume real com casca. A produtividade foi maior em Linhares para todas macroprocedências. Dentre as macroprocedências, as de Flores foram melhores e as das Outras Ilhas as piores nos dois locais.

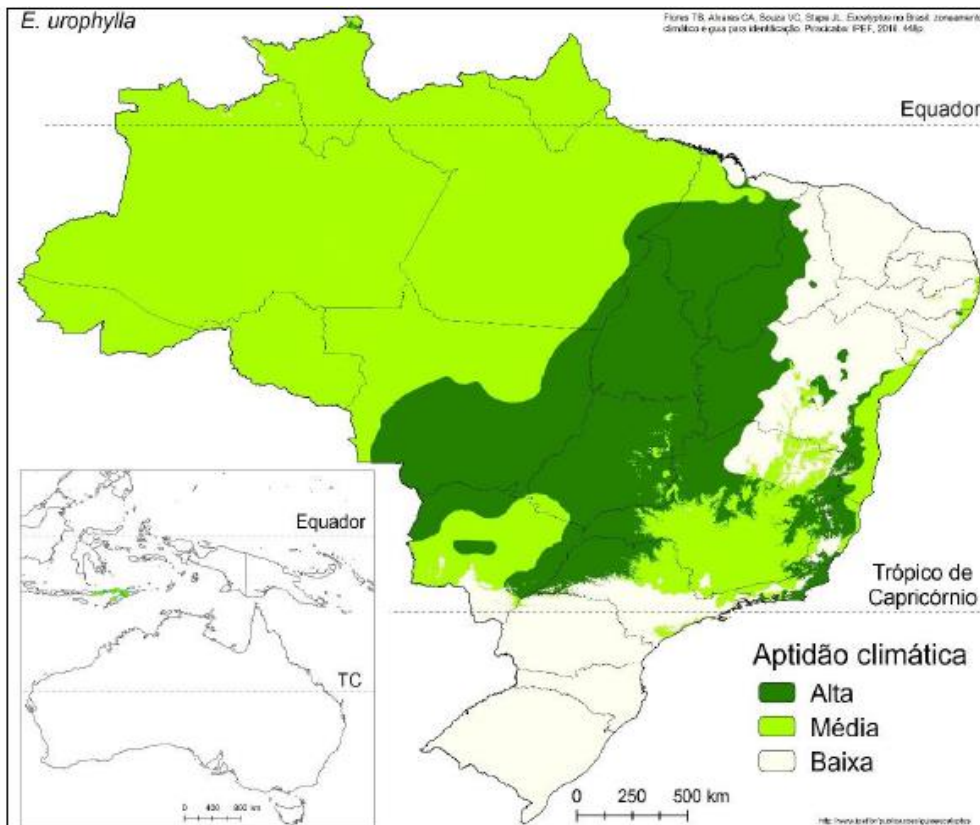


Figura 1 – Sítios adequados ao *Eucalyptus urophylla* no Brasil  
Fonte: Flores *et al.*, 2016.

Mori *et al.* (1988) avaliaram diversas progênies da ilha Flores (59 em Aracruz, ES, 61 em Bom Despacho, MG, 109 em Grão Mogol, MG e 87 em Belo Oriente, MG) aos 7 anos de idade. A procedência mais produtiva em cada local foi: Aracruz: Lewotobi com 0,4021 m<sup>3</sup>/árvore e a média do local 0,3510 m<sup>3</sup>/árvore; Bom Despacho: Ilegele com 0,1926 m<sup>3</sup>/árvore e a média do local 0,1509 m<sup>3</sup>/árvore; Grão Mogol: Londangwang com 0,1483 m<sup>3</sup>/árvore e a média do local 0,1289 m<sup>3</sup>/árvore; e Belo Oriente: Ilegele com 0,3282 m<sup>3</sup>/árvore e a média do local 0,2730 m<sup>3</sup>/árvore. Houve interação e as perdas seriam grandes caso a seleção fosse feita em um só local ou procedência.

Tripiana *et al.* (2007) avaliaram procedência de *E. urophylla* por meio de marcadores moleculares, para o crescimento aos 37 meses no Congo, em função da altitude na origem, e acharam correlação negativa entre a produtividade e a altitude ( $R^2 = 0,59$  a  $0,67$ ).

O projeto BEPP (Brazil *Eucalyptus* Potential Productivity), coordenado pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), teve como objetivo estudar os fatores limitantes das produtividades das florestas comerciais no Brasil. Desta forma os melhores materiais genéticos de *E. urophylla* disponíveis no Brasil foram selecionados e testados em diversas regiões bioclimáticas visando compreender a influência dos fatores abióticos no desenvolvimento da espécie (STAPE *et al.*, 2010).

O melhoramento genético florestal visa, entre outros, a um aumento da produtividade, adequação da matéria-prima ao uso industrial, maior plasticidade para poder suportar melhor o ataque de pragas e doenças, maior sincronia na floração e frutificação para aumentar a variabilidade e conseqüentemente a capacidade adaptativa e manutenção ou ampliação da base genética.

Pigato e Lopes (2001) avaliaram quatro gerações de *E. urophylla* instalados em Anhembi, por meio de marcadores moleculares e concluíram que a variabilidade ou base genética vem aumentando de geração em geração. Sinal de boa recombinação e adequado índice de seleções utilizados.

Kien *et al.* (2009) avaliaram diversas procedências de *E. urophylla* com 5 e 9 anos idade, em dois locais no norte do Vietnã, a procedência Lewotobi se destacou das demais em produtividade. A herdabilidade para o DAP aumenta com a idade e para a altura não muda.

### 2.13 Pragas e Doenças

A ocorrência do cancro basal, causado pelo fungo *Cryphonectria cubensis* em *E. grandis* no Espírito Santo, acelerou as introduções do *E. urophylla*, bem como as técnicas de propagação vegetativa, visando a obtenção de plantas produtivas e resistentes ao cancro. A Aracruz Florestal foi a empresa pioneira nesta técnica, em 1979, com o estabelecimento dos primeiros plantios clonais no Brasil em escala comercial (FERREIRA, 1989; FERREIRA; SANTOS,



1997; HENRIQUES *et al.*, 2017; MORI *et al.*, 1988; MORA; GARCIA, 2000; MOURA, 2004; ROCHA *et al.*, 2006a).

O cancro do *Eucalyptus* causado pelo fungo *Chrysophorte cubensis*, anteriormente chamado de *Cryphonectria cubensis* e antes ainda chamado de *Diaporthe cubensis*, ocorre desde Santa Catarina até a Região Amazônica, a maior severidade é na costa do Espírito Santo, Vale do Rio Doce em Minas Gerais e algumas áreas de São Paulo. O fungo se desenvolve bem quando a temperatura está acima de 23° C e a precipitação acima de 1200 mm.ano<sup>-1</sup> (GUIMARÃES *et al.*, 2010).

O ataque pode ocorrer em três épocas distintas: até doze meses, quando há o anelamento do câmbio, a planta pode morrer. O segundo, até dois anos, quando há o afundamento do fuste e depreciação da madeira; e o terceiro, quando a árvore forma uma calosidade em torno da lesão (GUIMARÃES *et al.*, 2010). Esta madeira atacada é depreciada para a serraria e diminui o rendimento para a celulose e papel. O *E. grandis* e *E. saligna* são susceptíveis, bem como o *C. citriodora*, *C. maculata* e *E. paniculata* (ALVARES *et al.*, 2014).

Vários pesquisadores constataram que o *E. urophylla* é tolerante ao cancro do eucalipto (*Chrysophorte cubensis*) (FERREIRA, 1989; 1992; MORI *et al.*, 1988; MOURA, 2004; ROCHA *et al.*, 2006; SILVA *et al.*, 2015; ZANI *et al.*, 1984). A resistência genética seria quantitativa de origem epistática ou dominante (BORGES; BRUNE, 1981; GUIMARÃES *et al.*, 2010).

A ferrugem causada pelo fungo *Puccinia psidii* se adaptou bem aos eucaliptos, é mais comum em viveiros mas podem aparecer em campo também, foi registrado nas espécies *C. citriodora*, *E. cloeziana*, *E. grandis*, *E. obliqua*, *E. pilularis* e *E. saligna* (SANTOS *et al.*, 2001). O *E. grandis* e *E. saligna* são bastantes susceptíveis, enquanto que, o *C. citriodora*, *C. torelliana*, *E. camaldulenses*, *E. pellita* e *E. urophylla* são bastante resistentes (SANTOS *et al.*, 2001; SANTOS, 2011).

Silva *et al.* (2015) testaram 18 espécies dos gêneros *Corymbia* e *Eucalyptus* para a ferrugem e a galha da vespa (*Leptocybe invasa*). O *E. urophylla* estava entre as mais resistentes para as duas pragas. Thu *et al.* (2009) também constataram que a espécie é tolerante à vespa da galha.

Os coeficientes de herdabilidade foram relativamente altos para resistência à ferrugem

em progênies de *E. urophylla*. A média herdabilidade entre progênies foi 0,83 e 0,48 entre plantas individuais; e 0,44 dentro de progênies (CARIGNATO *et al.*, 2018).

O coleóptero *Platypus* ataca os *Eucalyptus*, sendo que no *E. urophylla* há preferência pelas procedências de alta altitudes na origem (Timor com 46% de ataque e Flores com 33,3% de ataque) (ZANI FILHO *et al.*, 1984).

É resistente a murcha do eucalipto (*Ceratocystis fimbriata*) (CARVALHO *et al.*, 1998; FIRMINO *et al.*, 2012; PINTO *et al.*, 2014).

É susceptível ao fungo de raiz (*Botryodiplodia sp.*, *Fusarium sp.* e *Helminthosporium sp.*) (DORAN; TURNBULL, 1997). É resistente ao psílideo-de-concha (*Glycaspis brimblecombei*) (CAMARGO *et al.*, 2014). É resistente ao *Cylindrocladium clavatum* (BLUM *et al.*, 1992).

## 2.14 Parâmetros genéticos

Parâmetros genéticos são valores numéricos que permitem inferir sobre a estrutura genética, variam com os diferentes caracteres, idades e populações (DUDA, 2003). As estimativas dos parâmetros genéticos permitem obter informações da ação gênica na herança dos caracteres, que são essenciais para predizer os ganhos genéticos advindos da seleção (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

Os parâmetros genéticos mais importantes para o melhoramento genético florestal são: a variância genotípica aditiva e não aditiva, os coeficientes de variação genético e ambiental, herdabilidade, que possibilita a estimativas de ganhos genéticos, no sentido amplo e restrito, as interações genótipo x ambiente, as correlações genotípicas e fenotípicas entre as características de interesse (ALLARD, 1971; COCKERHAM, 1963; KAGEYAMA, 1980; KIKUTE, 1988; VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

Dentre as variâncias, a variância genética aditiva reflete a semelhança ente os pais e os descendentes, e controla a maioria das características, o que permite a seleção e os ganhos advindos desta (FALCONER, 1993; SHIMIZU *et al.*, 1982).

### 2.14.1. Componentes de variâncias

O estudo de caráter quantitativo baseia-se em sua variação total. Deste modo, podemos segmentá-la conforme os fatores genéticos e ambientais agem sobre o mesmo. As grandezas relativas destes componentes determinam as propriedades genéticas desta população (FALCONER, 1993). Do ponto de vista estatístico, os componentes de variância são variâncias associadas aos efeitos aleatórios de um modelo matemático (BARBIN, 1993).

Em estudos de herança de caracteres quantitativos é necessário mesclar abordagens genéticas e estatísticas por meio de delineamentos experimentais, que são estudados por meio de modelos matemáticos. Mesmo que os componentes encontrados não sejam exatamente os procurados pelos melhoristas, é possível por meio de associações calcular os componentes de variâncias genéticos desejados (COELHO, 2010).

### 2.14.2 Herdabilidades

O valor observado em um indivíduo é denominado valor fenotípico. Este valor pode ser decomposto em duas partes, sendo uma genética, resultado da combinação gênica, e outra ambiental, resultado de todos os fatores que não são genéticos, desta forma,  $F = G + A$  (FALCONER, 1993).

A variabilidade dos componentes de variância é fundamental para o entendimento das propriedades genéticas de uma população. O valor genotípico (herdável) deve ser separado do fenotípico [genético (G) + ambiental (E)], bem como a interação G x E (FALCONER, 1993).

Jacquard (1983) apresentou três definições para a herdabilidade: 1) é a medida da semelhança entre pai e filho; 2) proporção genética no sentido amplo; e 3) proporção genética no sentido restrito. Ressaltou que a herdabilidade caracteriza a estrutura de uma população e não um caráter.

A herdabilidade no sentido amplo é a razão entre a variância genética e a variância fenotípica. A herdabilidade no sentido restrito é a razão entre a variância genética aditiva e a variância fenotípica (KAGEYAMA, 1983; RESENDE, 2002; VENCOSKY; BARRIGA, 1992).

A variância genética por sua vez pode ser decomposta em três partes: variância genética aditiva, variância genética dominante e variância genética epistática (RESENDE, 2002; SOUZA JÚNIOR, 1989; VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

Falconer (1993) define os componentes de variância genética em:

1. Variância genética aditiva: considerando um loco gênico, a expressão do caráter é a média dos genótipos dos pais. A variância aditiva é relativa ao efeito médio dos alelos (média entre os pais), sendo a mais importante porque mede a semelhanças e diferenças entre os pais e os descendentes; e responde à seleção (VENCOVSKY, 1987).
2. Variância genética dominante: considerando somente um loco, mede a diferença entre o valor genotípico e o valor aditivo, é conhecido como desvio da dominância, ou seja, um alelo B domina ou mascara completamente seu complemento b, deste modo, a expressão genética de um caráter para o loco BB ou Bb é o mesmo, difere apenas do alelo homocigoto recessivo bb, na dominância completa. Na dominância parcial o valor de Bb é intermediário entre BB e bb;
3. Variância genética epistática: é quando há interação entre dois ou mais locos. Em outras palavras é uma hibridação intraespecífica. Se houver ruptura ou perdas de genes, a manifestação do caráter é chamada de depressão (perda de vigor para aquele caráter). Se houver integração ou ganho de genes, os descendentes expressam vigor superior aos pais, como se fosse uma heterose.

A herdabilidade varia de zero a um. Quando  $h^2 = 1$ , significa que toda diferença fenotípica observada se deve exclusivamente a diferenças genéticas. Quando  $h^2 = 0$ , significa que toda diferença fenotípica observada se deve exclusivamente ao ambiente (ALLARD, 1971).

A herdabilidade no sentido restrito ( $h^2_a$ ), que representa a variância genética aditiva, é mais utilizada porque é transmitida rapidamente a próxima geração. A herdabilidade no sentido amplo ( $h^2_r$ ), representa toda variabilidade aditiva e não aditiva, é o limite superior da  $h^2_a$ , e ajuda a estimar o ganho efetivo no processo de seleção, é mais utilizada na propagação vegetativa. Desta forma, em gerações avançadas em endogamia causada pela homocigose, resultantes de sucessivas autofecundações, espera-se que a herdabilidade ampla e restrita sejam praticamente iguais (HANSON, 1963; REZENDE, 2002). A herdabilidade média das

progênies reduz os efeitos ambientais (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

A covariância entre parentes é função dos componentes de variância genética (variâncias aditiva, dominante e epistática). Isso é importante para o melhoramento genético porque permite estudar a estrutura genética de uma população por meio das estimativas de componentes de variância genética, bem como, os parâmetros relacionados aos processos seletivos (SOUZA JÚNIOR, 1989).

Quando manipulamos uma determinada característica, se houver correlação genética alta com outro caractere, podemos manipulá-lo indiretamente. Pode haver correlação simples entre caracteres de importância econômica, mas pode ocorrer correlações múltiplas interdependentes.

### 2.14.3 Coeficientes de variação genético e relativo

O coeficiente de variação (CV) reflete a variabilidade do caráter avaliado em relação à média desse caráter. O coeficiente de variação genético ( $CV_g\%$ ) reflete quanto desta variação se refere as variâncias genéticas. O coeficiente de variação relativa ( $CV_r\%$ ) é a razão entre o CV e o  $CV_g\%$ .

O  $CV_r\%$  ou índice “b” é o parâmetro que auxilia a detectar a variabilidade genética da população. Fornece a real grandeza do incremento de um caráter dentro de uma população. Se igual ou maior que um, mais fácil será a seleção porque a herdabilidade será alta (CRUZ et al., 2012; GARCIA; NOGUEIRA, 2005; RESENDE, 2002; VENCOVSKY, 1987; VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

Quando o Coeficiente de Variação entre plantas dentro de parcela ( $CV_d$ ) / Coeficiente de Variação ambiental entre parcelas ( $CV_c$ ) for menor ou igual a 1, a variância genética dentro de progênies é nula, porém quanto maior mais favorável a seleção dentro de progênie (PIRES, 1996).

#### 2.14.4 Acurácia

Tão importante quanto a estratégia de melhoramento, é a precisão experimental, porque permite a correta avaliação do potencial genético do material e conseqüentemente sua seleção, bem com as previsões de ganho. Neste contexto, a acurácia é um dos parâmetros mais relevantes na avaliação experimental (RESENDE; DUARTE, 2007).

Geralmente os valores genéticos preditos não são verdadeiros. A proximidade dos valores preditos e reais pode ser avaliada pela acurácia, que é a razão entre ambos, portanto depende da herdabilidade e repetibilidade do caráter e dos procedimentos utilizados (VAN VLECK *et al.*, 1987). A acurácia também permite comparar métodos de seleção e é um indicativo do índice de seleção, desta forma, valores genéticos preditos altos, mas com baixa acurácia devem ser usados com ressalvas, considerado bom valor quando acima de 50%. Quando o programa de melhoramento está nos estágios iniciais espera-se valores superiores à 70% (RESENDE, 2002; 2007a).

Fritsche Neto (2008) avaliou a acurácia do método REML/BLUP para 1000 simulações com híbridos de milho em 13 ambientes diferentes e conclui que com até 20% de perdas ou desbalanceamento a acurácia foi boa. Na tabela 2 temos a classificação da herdabilidade em função da acurácia.

A acurácia de cada método de seleção depende do delineamento experimental, da correta estimativa da herdabilidade do caráter em análise, do sistema de seleção e peso de cada caráter. Assim, para um único caráter, as principais fontes de informações ou unidades de seleção são: indivíduo, família, irmãos, dentro de famílias, entre e dentro de famílias, combinada pela progênie e métodos ou modelos mistos de seleção do modelo BLUP individual. A acurácia da seleção bem como o melhor método de seleção para uma determinada população depende do arranjo e combinação gênica, e a técnica do REML/BLUP é um modelo bastante robusto para isso (RESENDE, 2002).

## 2.15. Seleção

A expressão parâmetros genéticos indicam as propriedades de uma população, principalmente média e variância. Os cálculos dos componentes de variância são o ponto de partida para se estimar os parâmetros genéticos (BARBIN, 1993).

Para populações infinitas, a amostragem direcional de uma seleção altera os componentes da média e variância dos valores genéticos e fenotípicos, por meio da mudança das frequências alélicas, desequilíbrio dos gametas, endogamia e deriva gênica (LUSH, 1945; BULMER, 1971, PINTO JR., 2004).

A eficiência da seleção permite diminuir o tempo ou os números de ciclos para se chegar a uma determinada combinação gênica, entretanto, isso pode significar a perda de alelos importantes, então, o melhorista deverá saber dosar bem estes dois extremos.

Em plantas perenes, para a propagação sexuada, a seleção deve basear-se nos valores genéticos aditivos, ou herdabilidade restrita, enquanto que para a propagação assexuada, utiliza-se a herdabilidade ampla (RESENDE, 2002; ROCHA *et al.*, 2006b).

A seleção visa obter material genético com boas características silviculturais e tecnológicas nos menores tempos e custos possíveis (NUNES *et al.*, 2002; VALERA; KAGEYAMA, 1998).

Os principais programas tradicionais de melhoramento genético de espécies arbóreas no Brasil são baseados na seleção entre e dentro de famílias (seleção individual). Identificam-se as melhores famílias com base na média das parcelas. Posteriormente, selecionam-se as melhores árvores dentro das melhores famílias (FALCONER, 1993).

A seleção combinada é baseada em um índice que leva em consideração o comportamento de indivíduos e de suas famílias simultaneamente, isto é, em valores genéticos (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992). Leva em consideração o desvio do indivíduo em relação à média da família no bloco e o desvio da média da família em relação à média geral do experimento, entretanto, há possibilidade de parte da variância genética aditiva ficar retida nas parcelas e ou nos blocos (RESENDE; HIGA, 1994b).

## 2.16 Métodos de seleção

Existem vários métodos de seleção genética, sendo que para caracteres de baixa herdabilidade destacam-se os índices multiefeitos uni e multivariado para ganho genético sem comprometer o tamanho efetivo da população ( $N_e$ ). Em experimentos desbalanceados, o Melhor Método de Predição Linear Não Viciada (BLUP – Best Linear Unbiased Prediction) é o mais indicado (RESENDE *et al.*, 1996). Milliken e Johnson (1992) afirmam que os modelos mistos devem ser utilizados em experimentos que misturam efeitos fixos com aleatórios.

Resende e Mendes (1996) estimaram os componentes de variância por três métodos visando a predição de valores genéticos. O método dos Quadrados Mínimos (LS), Máxima Verossimilhança (ML) e Máxima Verossimilhança Restrita (REML). O ML apresentou convergência rápida e as herdabilidades foram similares ao método REML e superiores ao método LS. O REML foi o mais preciso. Para estimar ganhos genéticos recomendaram o procedimento REML interagindo com o modelo misto (BLUP).

Três aspectos são importantes na predição de modelos mistos (MARCELINO; IEMMA, 2000):

1. Estimação e os teste de hipóteses sobre os efeitos fixos;
2. Predição dos efeitos aleatórios;
3. Estimação dos componentes de variância.

Se a estimativa das variâncias for feita em modelos desbalanceados, a estimativa por ser função do método utilizado, desta forma, nove métodos estão consagrados em três conceitos básicos de estatística, o dos momentos, a função da verossimilhança e as funções quadráticas. Dentre os métodos derivados dos momentos estão o método de Fisher (1918), ANOVA, os métodos I, II e III de Henderson (1953); dentre os métodos derivados da função verossimilhança estão os métodos da máxima verossimilhança (ML) de Hartley e Rao (1967) e o da máxima verossimilhança restrita (REML) de Patterson e Thompson (1971); e dentre os métodos das funções quadráticas estão os métodos dos estimadores quadráticos de norma mínima (MINQUE) de Rao (1971a), de variância mínima (MIVQUE) de Rao (1971b) e o iterativo



de norma mínima Searle (1987) (MARCELINO; IEMMA, 2000).

### 2.17. Modelos matemáticos e efeitos estatísticos

Para se conhecer o potencial genético de um determinado material genético de herança quantitativa são empregados delineamentos genéticos estatísticos fundamentados em modelos matemáticos, e em função disso, os procedimentos estatísticos para estimar os parâmetros genéticos (FALCONER; MACKAY, 1996; FERNANDES *et al.*, 2004).

As mensurações efetuadas nas plantas são explicadas por meio de modelos matemáticos, compostos por efeitos de natureza fixa ou aleatória (JOMAR FILHO, 2002). A média geral, sempre é considerada fixa e o erro experimental sempre aleatório. Os demais efeitos podem ser fixos ou aleatórios, desta forma, os modelos matemáticos podem ser fixos, aleatórios ou mistos.

Basicamente, quando se sorteia um determinado efeito ele é aleatório, e seus resultados podem ser extrapolados para outras áreas ou populações. Se a escolha for determinística, isto é, determinada ou escolhida pelo melhorista ou planejador do experimento, o efeito é fixo e os resultados só valem para aquele local ou população. Para Casella e Berger (1991) definem em função das generalizações das conclusões, assim, o fator é fixo se todos os valores de interesse são incluídos no experimento, e no fator é aleatório nem todos os valores foram inclusos. Para White e Hodge (1989), os fatores são fixos se os níveis dos efeitos são constantes e aleatórios os níveis que estão distribuídos de maneira probabilística.

### 2.18 Métodos para estimar os componentes de variâncias

#### 2.18.1 Método ANOVA

A forma clássica de analisar dados de testes de progênie, representados por modelos estatísticos é por meio da análise de variância (ANOVA) proposta por Fisher (1918). Os modelos

representam as variações dos caracteres, próprios para a estimação, e podem indicar se os efeitos são de natureza fixa (Modelo I) ou aleatória (Modelo II) (RESENDE, 2002).

Comparando a análise de variância obtida pelo teste F (ANOVA) com o procedimento da Máxima Verossimilhança Restrita (REML). Na ANOVA os componentes de variâncias são obtidos pela decomposição dos Quadrados Médios, com base em suas esperanças matemáticas (HENDERSON, 1953). Quando os dados são balanceados, os resultados são semelhantes a uma análise de variância convencional, deste modo, são bastante limitados, levando a obter estimativas negativas, e impossibilitando estimar valores genéticos individuais (SEARLE, 1971).

O método iguala as esperanças dos quadrados médios (EQ) de cada fonte de variação. Pode ser aplicado em modelos experimentais simples porque normalmente os dados são balanceados. Não faz nenhuma suposição das distribuições dos dados além das suposições básicas, que são: não viesadas, tem variância mínima, são funções estatísticas suficientes (LÓPEZ BAUTISTA, 2014).

Entretanto se os dados não forem balanceados, como normalmente acontece nos delineamentos mais complexos, existem vários modelos para se obter a tabela da análise de variância, levando a diferentes estimativas para o mesmo componente, inclusive com resultados negativos (SEARLE *et al.*, 1992).

Embora úteis e eficientes com espécies anuais e perenes, em experimentos com dados balanceados, os modelos matemáticos tradicionais ajustados à ANOVA não são adequados à seleção genética para dados não balanceados em qualquer delineamento com blocos porque fornecem estimativas não exatas e tendenciosas das diferenças entre tratamentos genéticos. Se os dados estiverem balanceados os modelos matemáticos da ANOVA funcionam bem, mas se os dados forem desbalanceados temos que usar outro procedimento (SEARLE *et al.*, 1992).

### 2.18.2 Método dos Quadrados Mínimos (MQM) (LS)

Nos Modelos Mistos, a análise da parte aleatória consiste na predição dos efeitos aleatórios na presença de efeitos fixos. A análise da parte fixa consiste na estimação de testes

e hipóteses de funções estimáveis dos efeitos fixos; e ambos dependem dos componentes de variância (PERRI; IEMMA, 1999).

Para Henderson (1977) o grande problema do método dos quadrados mínimos ordinários é a impossibilidade de estimar os parâmetros genéticos de indivíduos não observados. Em contrapartida, o método dos modelos lineares mistos, permite obter os melhores preditos lineares não viesados bem como a predição de cruzamentos não realizados.

Resende (2000; 2007a) apresenta uma série de motivos pelos quais não se deve utilizar o MQM para a análise de dados visando o melhoramento de espécies perenes, tais como:

- Presença simultânea de efeitos fixos e aleatórios no mesmo modelo;
- Desbalanceamento provocado pelo corte ou morte de plantas;
- Heterogeneidade de variâncias;
- Possibilidade de se obter estimativas negativas de variâncias;
- Medições repetidas em um mesmo indivíduo durante vários anos ou épocas, deste modo, estas medições são correlacionadas ao longo do tempo, o que interfere na homogeneidade dos erros, pressuposição básica para a análise da variância (ANOVA).

### 2.18.3 Método da Máxima Verossimilhança (ML)

O método da Máxima Verossimilhança (ML), a função de verossimilhança L dada por:

$$L = L(\theta, V/y) = \frac{\exp \{-\frac{1}{2} (y - X\theta)' V^{-1}(y - X\theta)\}}{(2\pi)^{n/2} |V|^{1/2}} \quad (1)$$

Em que:

$|V|$  = determinante da matriz  $v$ ;

Derivando-se  $\delta = \log L$  em relação a  $\theta$ , em relação a  $\sigma_\epsilon^2$  e a cada  $\sigma_i^2$  e igualando-se cada derivada parcial a zero, obtém-se o sistema de equações:

$$X' \tilde{V}^{-1} X \tilde{\theta} = X' \tilde{V}^{-1} y \quad (2)$$

$$\text{tr}(\tilde{V}^{-1} Z_i \hat{Z}_i' \tilde{V}^{-1} Z_j \hat{Z}_j') \sigma_j^2 = \hat{y}' P Z_i \hat{Z}_i' P y$$

Que iterativamente resolvido para  $\hat{\Theta}$  e  $\hat{\sigma}_i^2$ , fornece, respectivamente, os estimados de ML para os efeitos fixos e para os componentes de variância. O PROC MIXED do SAS por meio de uma modificação do processo iterativo de Newton-Raphson obtém as estimativas dos componentes de variância, que não são negativas, mas viesadas; porque o método não considera a perda dos graus de liberdade resultantes da estimação dos efeitos fixos (SEARLE et al., 1992).

Foi desenvolvido por Fisher (1922), entretanto somente após o trabalho de Hartley e Rao (1967), que apresentaram as especificações matriciais para um modelo misto e a derivação da ML para vários modelos, passou a ser utilizado. O ML pressupõe que todos os efeitos são fixos, são conhecidos e sem erro, o que na prática não existe (SEARLE, 1991).

Os trabalhos de Henderson (1953) desenvolveram métodos de estimação dos componentes de variâncias para dados desbalanceados, cujas vantagens são apontadas por Shaw (1987):

- Suficiência de maneira que o preditor condense o máximo possível a informação contida na amostra de modo a não ficar dependente do parâmetro;
- Consistência ou aumento da precisão da estimativa com o aumento do tamanho da amostra;
- Eficiência de modo que o preditor apresente variância mínima;
- Translação invariante ou não afetada pelos efeitos fixos;
- Geração de estimativas não negativas para os componentes de variância.

Entretanto Resende (2007b) alerta que neste método os componentes de variâncias dos efeitos fixos devem ser conhecidos ou serão substituídos por suas estimativas, que não considera a perda dos graus de liberdade destas estimativas, que leva a subestimativas dos parâmetros de variâncias.

### 2.18.4 Método da Máxima Verossimilhança Restrita (REML)

No método da Máxima Verossimilhança Restrita (REML), a função de verossimilhança  $L$  dada pela equação (1) que dividida em duas partes independentes, um referente aos efeitos fixos ( $L''$ ) e outra referente aos efeitos aleatórios ( $L'$ ). Os componentes de variância referentes aos efeitos aleatórios são estimados pela maximização de  $L''$ . Os componentes aleatórios  $\sigma_\epsilon^2$  e  $\sigma_i^2$  são estimados por  $L'$  e os fixos  $\theta$  pela maximização de  $L''$ . Os estimadores REML para os componentes de variâncias  $\sigma_i^2$  são obtidos pela resolução da equação (3) (MARCELINO; IEMMA, 2000).

$$L = \{ \text{tr} (\hat{P}Z_iZ_i'\hat{P}Z_jZ_j') \sigma_j^2 \}_{j=0}^r = y\hat{P}Z_iZ_i'\hat{P}y \quad (3)$$

Este método foi desenvolvido por Patterson e Thompson (1971) que supera o ML por que considera os graus de liberdade da estimação dos parâmetros fixos, deste modo, são menos viesados e impõe restrição de não negatividade, desta forma, é o método ideal para dados desbalanceados. Para dados balanceados apresentam dados coincidentes com os da ANOVA, se mostrando ideal para qualquer análise, uma vez que muitas vezes o melhorista não sabe se o experimento está ou não balanceado (McCULLOCH *et al.*, 2001; RESENDE, 2007a).

O método REML possui propriedades estatísticas mais adequadas quando comparadas àquelas dos Quadrados Mínimos para estimar parâmetros genéticos quando os dados não são balanceados (SEARLE *et al.*, 1992). Em função disso, é considerado o método padrão para estimar os componentes de variância atualmente (HARVILE, 1977; MARCELINO; IEMMA, 2000; PATTERSON; THOMPSON, 1971; PERRI; IEMMA, 1999; SEARLE, 1971; SEARLE *et al.*, 1992).

Possui a grande vantagem de eliminar o viés causado pela mudança nas frequências alélicas decorrentes da seleção, por meio da matriz de parentesco completa, que torna possível a obtenção de componentes de variância de uma população referência onde se efetuou a seleção e a predição dos valores genéticos de indivíduos de qualquer geração (VAYEGO *et al.*, 2008).

Os modelos mistos, contemplam efeitos fixos e aleatórios e servem para estimar a

média dos blocos pelo método de quadrados mínimos generalizados (GLS) e para prever os valores genéticos aditivos. O REML nos modelos mistos gera estimativas não tendenciosas (SCHAEFFER, 1999). Além disso, consideram a covariância genética e ponderam genótipos com desigual número de informações na mesma geração ou em gerações diferentes (RESENDE, 2002).

Para os efeitos genéticos serem aleatórios a população deve ser suficientemente grande o que é praticamente impossível. Assim, populações finitas podem ser consideradas aleatórias se foram adaptadas ou sofrerem algum tipo de restrição. Os estimadores permitem minimizar as flutuações ocasionadas pela mudança de efeito, isto é, aproxima a média observada numa população finita, aquela supostamente obtida numa população infinita, validando as estimativas (FERNANDES, 1991). O REML (Máxima Verossimilhança Restrita) é um exemplo destes estimadores, que elimina o viés devido à mudança nas frequências alélicas causadas pela seleção, por meio da matriz de parentesco completa. Isso é possível porque a matriz leva em consideração a endogamia e o desequilíbrio de ligação (RESENDE, 2007b).

O método REML requer que o vetor de dados  $Y$  apresente distribuição normal multivariada, entretanto são apropriados mesmo quando isso não acontece (HARVILLE, 1977; MEYER, 1989; PERRI; IEMMA, 1999). Balzarini (2001) ressalta que a aplicação de modelos mistos permite a identificação apropriada do erro experimental para testar a hipótese dos efeitos fixos.

O método da máxima verossimilhança restrita, também é iterativo e exige normalidade, como o Método ML. No entanto, considera a perda dos graus de liberdade devida aos efeitos fixos, fornecendo estimadores não viesados e de variância mínima para dados balanceados. Para dados desbalanceados, ambos os métodos fornecem estimativas viesadas. No entanto, têm sido preferidos quando os dados são desbalanceados (SEARLE, 1971; HARVILLE, 1977; SEARLE *et al.*, 1992; PERRI; IEMMA, 1999).

Nos modelos mistos a análise da parte aleatória consiste na predição dos efeitos aleatórios na presença dos efeitos fixos e na estimação dos componentes de variância. A análise da parte fixa consiste de estimação e testes de hipóteses sobre as funções estimáveis dos efeitos fixos. Em geral, tanto a predição dos efeitos aleatórios quanto a estimação dos efeitos

fixos dependem da estimação dos componentes de variância (PERRI; IEMMA, 1999). Os mesmos autores afirmam que o PROC MIXED do SAS é o modelo mais apropriado destes pacotes estatísticos para analisar modelos mistos e equivalente ao Selegen/REML/BLUP.

### 2.19 Modelos Mistos e o Método REML/BLUP

Para prever os valores genéticos é necessário estimar os componentes de variância dos parâmetros genéticos. Existem três modelos básicos para isso (RESENDE, 1997a):

1. Melhor Predição (BP – Best Prediction): iguais quantidades e precisões de informações associadas a todos os candidatos à seleção, onde as médias e variâncias são conhecidas ou estimadas com precisão;
2. Melhor Predição Linear (BLP – Best Linear Prediction): diferentes quantidades e precisões de informações associadas a todos os candidatos à seleção, com médias e variâncias conhecidas ou estimadas com precisão;
3. Melhor Predição Linear Não Viciada (BLUP – Best Linear Unbiased Prediction): diferentes quantidades e precisões associadas aos candidatos à seleção, sendo a variância conhecida ou estimada com precisão e a média não conhecida.

As equações de modelos mistos produzem soluções BLUE (Melhor Estimação Linear Não Viesada) dos efeitos fixos, além dos preditores BLUP (Melhor Predição Linear Não Viesada) dos efeitos aleatórios (HENDERSON, 1973; 1975; HENDERSON *et al.*, 1959; ROBINSON, 1991; THOMPSON, 1976; 1979).

O método BP utiliza os mesmos pesos (ponderadores das informações fenotípicas) para todos os indivíduos candidatos à seleção, o método BLP e BLUP utilizam diferentes pesos. Dentre estes modelos, o BLUP é mais completo (PEREIRA; VENCOVSKY, 1998; RESENDE, 1997a; 1997b).

O método BLUP consiste na predição dos valores genéticos dos caracteres de efeitos aleatórios observados fenotipicamente, ajustando os dados dos efeitos fixos e aleatórios dos modelos mistos utilizados. O modelo assume que os componentes de variância são conhecidos,

entretanto, não são conhecidos e devem ser estimados por meio da REML (Máxima Verossimilhança Restrita) (THOMPSON, 1979). Bueno Filho e Vencovsky (2000) complementam que não importa se o modelo é fixo ou aleatório, o método BLUP funciona bem em qualquer caso.

Patterson e Thompson (1971) propuseram modificações com o intuito de eliminar aspectos indesejáveis das estimativas do ML (Método da Máxima Verossimilhança) para qualquer modelo de análise de variância. Basicamente o método estima os componentes de variância por máxima verossimilhança, sem considerar os efeitos fixos. A função é dividida em duas partes.

A maximização da função de verossimilhança dos efeitos aleatórios fornece os estimadores de máxima verossimilhança para os componentes de variância e a outra fornece os estimadores para os efeitos fixos. O método passou a ser chamado de Máxima Verossimilhança Restrita (REML), que manteve as propriedades positivas do ML, as modificações conduzem a estimativas idênticas àquelas obtidas na análise de variância em delineamentos balanceados e as restrições de não negatividade forem ignoradas. Desta forma o REML mantém as propriedades do ML (é não viesado e permite a imposição de restrições de não negatividade, portanto, ideal para estimação de componentes de variância com dados desbalanceados.

É a obtenção de predições de valores genéticos, tratados como sendo de efeito aleatório, corrigidos para os efeitos fixos contidos no modelo, em que é possível obter o REML/BLUP dos caracteres estudados (HENDERSON, 1949).

Modelam experimentos cuja estrutura envolve fatores fixos e aleatórios, independentemente da média e do erro. A análise da parte aleatória consiste na predição dos efeitos aleatórios, na presença de efeitos fixos, e a estimação dos componentes de variância. A análise da parte fixa consiste na estimação e testes de hipóteses das funções estimáveis dos efeitos fixos. Em geral, tanto a estimação dos efeitos fixos como a predição dos efeitos aleatórios dependem da estimação dos componentes de variância (PERRI; IEMMA, 1999).

Resende e Mendes (1996) avaliaram diferentes procedimentos para estimar os componentes de variância em *Pinus* com quatro métodos. Com dados balanceados e havendo



homogeneidade das variâncias genética e ambiental, os métodos dos Quadrados Mínimos Ordinários (Ordinary Least Squares – OLS), Quadrados Mínimos Generalizados (Generalized Least Squares – GLS), Melhor Predição (Best Prediction – BP), Melhor Predição Linear (Best Linear Prediction – BLP) e Melhor Predição Linear Não Viesada (Best Linear Unbiased Prediction – BLUP) apresentam valores equivalentes para o ordenamento de materiais genéticos, mas não para estimação de componentes de variância genéticos e predição de valores genéticos. O Método ML e REML apresentam valores de herdabilidade bastante parecidos e significativamente superiores aos da LS, mas o Método REML foi mais preciso, portanto, superior aos outros. Em qualquer situação estudada o método BLUP foi igual ou superior aos demais.

Bueno Filho (1997) chegou ao mesmo resultado estudando seleção de árvores dentro de progênies de eucaliptos para densidade básica, DAP, altura e volume.

Segundo Fritsche Neto (2008) o método mais recomendado na estimação de componentes de variância em situações com dados desbalanceados ou não é o REML, em função de:

1. Não viesado, tal que a esperança matemática do preditor seja o próprio parâmetro;
2. Consistência, tal que, com o aumento do tamanho da amostra, a esperança do preditor convirja para o parâmetro e a variância para zero. Refere-se, portanto, ao aumento da precisão da estimativa com o aumento do tamanho da amostra;
3. Eficiência, tal que o preditor apresente variância mínima;
4. Suficiência, tal que o preditor condense o máximo possível a informação contida na amostra e não seja função dependente do parâmetro;
5. Completitude, que está ligada a unicidade do estimador;
6. Invariância a translação, tal que a estimação dos componentes de variância não seja afetada por mudanças nos efeitos fixos.

As principais vantagens do REML/BLUP são: permite comparar indivíduos ou variedades através do tempo (gerações ou anos) e espaço (locais ou blocos); permite a simultânea correção para os efeitos ambientais; estimar os componentes de variância e predição de

valores genéticos; permite lidar com estruturas complexas de dados (medidas repetidas, diferentes anos, locais e delineamentos); pode ser aplicado a dados desbalanceados, a ANOVA conduz a imprecisas estimativas de componentes de variância e conseqüentemente a não acuradas predições de valores genéticos (RESENDE, 2004).

O longo prazo e altos custos na condução dos programas de melhoramento de espécies perenes, como o *E. urophylla*, impõe o uso de metodologia mais acuradas. A seleção baseada em procedimentos biométricos inadequados pode ser ineficiente devido ao confundimento entre os efeitos genotípicos e ambientais. A estimação dos componentes de variância pelo método da verossimilhança restrita (REML) e a predição dos valores genotípicos pelo melhor preditor linear não viciado (BLUP) tem sido a melhor alternativa atualmente (RESENDE, 2002).

Em experimentos de modelo misto e classificação dupla, utilizando os procedimentos GLM, VARCOMP e MIXED do SAS, mostrando os prós e contras de cada procedimento, Perri (1998) concluiu que o PROC MIXED é o mais apropriado para modelos mistos. Para saber qual a matriz de covariância melhor representa os dados analisados, Marcelino e lemma (2000) sugerem o uso do menor AIC (Critério de Informação Akaike).

## 2.20 Anatomia da madeira

### 2.20.1 Microfibrila

As fibrilas elementares juntam-se para formar a microfibrila, com dimensões entre 100 e 300 Å de diâmetro, deixando entre si uma distância de aproximadamente 10 Å, o que permite a entrada de moléculas de água, bem como outras moléculas orgânicas e inorgânicas. Aproximadamente 20 microfibrilas se juntam para formar uma fibrila, que por sua vez, se juntam para formar as lamelas, que são visíveis ao microscópio ótico comum. As microfibrilas de celulose estão envolvidas por uma bainha de substâncias amorfa constituída principalmente de pectina e hemiceluloses; os espaços entre as microfibrilas são de aproximadamente 100 Å, acessível às moléculas de água e outras substâncias macromoleculares como a lignina (MORESCHI, 2014).

A fibra é formada por uma parede celular primária e outra secundária. Durante o crescimento da fibra em comprimento, só existe a parede primária, que é praticamente desprezível em espessura, com menos de 0,1  $\mu\text{m}$  ou 2%. Com a estabilização do comprimento, a fibra começa a ficar mais espessa com o acréscimo da parede secundária, que ocorre com a deposição de carboidratos. A parede secundária é formada por três camadas, sendo a exterior ( $S_1$ ), a central ( $S_2$ ) e a interior ( $S_3$ ) (DONALDSON, 2008; EVANS *et al.*, 2000; KLOCK *et al.*, 2005; PANSHIN; ZEEUW, 1980).

A camada  $S_1$  é formada por várias lamelas de microfibrilas cruzadas, altamente espiraladas, com espessura entre 0,2 a 0,35  $\mu\text{m}$  ou 16% e orientação transversal, em suave helicoidal, o ângulo varia de 50° a 70°, é a camada mais lignificada, conferem resistência à compressão e ao ataque de fungos (DONALDSON, 2008; EVANS *et al.*, 2000; KLOCK *et al.*, 2005; PANSHIN; ZEEUW, 1980). A concentração de lignina é máxima na lamela média (55 a 70%) e vai diminuindo nas camadas mais internas, sendo mínima na camada  $S_3$ , enquanto que, com as hemiceluloses acontece o oposto (20% na lamela média e 70% na camada  $S_3$ ) (FOELKEL, 2009).

A camada  $S_2$  apresenta 1,8 a 5,0  $\mu\text{m}$  espessura ou até 80% do volume, é constituída principalmente de celulose, com elementos estruturais altamente compactados e orientados em conjuntos de fibrilas na posição axial, ligeiramente espiraladas, formando lamelas concêntricas para diferentes tecidos lenhosos, podendo variar de 10° a 30°, diminuindo com o aumento do comprimento da célula, em folhosas, este ângulo decresce constantemente da medula para casca no sentido radial do fuste. É a camada mais importante da parede celular (DONALDSON, 2008; FOELKEL, 2009, KLOCK *et al.*, 2005; MORESCHI, 2014; PANSHIN; ZEEUW, 1980). A camada  $S_2$  contém até 80% de celulose e é a mais influente na retratibilidade da madeira, e conferem resistência à tração (FOELKEL, 2009; KLOCK, 2000). A transição da camada  $S_1$  para a camada  $S_2$  é suave, enquanto que da camada  $S_2$  para  $S_3$  é abrupta (DONALDSON; XU, 2005). Por ser mais espessa também é mais resistente e que suporta o peso da copa (DONALDSON, 2008).

A camada  $S_3$  é formada por celulose altamente resistente ao ataque de fungos. Sua espessura varia de 0,10 a 0,15  $\mu\text{m}$  ou 8% e as fibrilas são espiraladas e cruzadas e a orientação é transversal, com ângulos de 50° a 70° (BARNETT; BONHAM, 2004; DONALDSON, 2008;

FOELKEL, 2009; KLOCK *et al.*, 2005; MORESCHI, 2014; PANSHIN; ZEEUW, 1980).

A estrutura cruzada das microfibrilas proporcionam alta rigidez axial à madeira, além de alta resistência ao colapso e a ruptura, o que permite uma eficiente condução de água das raízes à copa e um crescimento ereto da planta (BARNETT; BONHAM, 2004; FOELKEL, 2009). As camadas  $S_1$  e  $S_3$  estão relacionadas com dureza lateral e resistência ao esmagamento da madeira (BOOKER, 1993; DONALDSON, 2008) (Figura 2).

Geralmente a concentração de celulose na parede celular é mais alta perto do lume (85%) e diminui na direção à lamela média (10% a 40%). A concentração de hemiceluloses e lignina são mais altas nas camadas exteriores (Lamela Média (LM), Parede Primária (PP) e camada  $S_1$ ) onde as hemiceluloses atingem níveis de até 60% na camada  $S_1$ , e a lignina de 60% a 90% na LM (HILLIS, 1978; MORESCHI, 2014). Em função disso, a lamela média restringe a retratibilidade da madeira mais que a parede secundária (HILLIS, 1978).

Em eucaliptos, o espaço intracelular vazio das microfibrilas, em cerca de 25% está preenchido com água; o restante, com extrativos de baixo peso molecular, que conferem alta durabilidade e estabilidade à madeira (HILLIS, 1978). A porcentagem de extrativos e de lignina aumentam com a idade, em contrapartida, a porcentagem de holocelulose diminui (KU *et al.*, 1989).

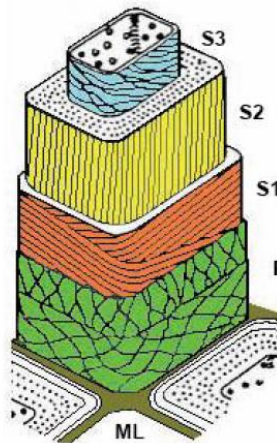


Figura 2 – Ultraestrutura da parede celular.

Fonte: Foelkel, 2009.

Tabela 5 – Elementos estruturantes da madeira em porcentagem e principais funções.

Coníferas	Folhosas	Composto	Propriedades mecânicas
42 ± 2	45 ± 2	Celulose	Parede celular (Estrutural)
27 ± 2	30 ± 2	Hemiceluloses	Parede celular (Subestrutura)
28 ± 2	20 ± 2	Lignina	Rigidez e Resistência a Compressão e retratibilidade
5 ± 3	3 ± 2	Extrativos	Cheiro, gosto, cor, durabilidade, retratibilidade

Fonte: Klock; Andrade, 2013

Tabela 6 – Estruturas da parede celular.

Camada	Esp (µm)	Ângulo	Constituinte	Propriedades mecânicas
LM	0,2-1,0		Lignina (60-90%), hemiceluloses (10-40%) e pectina	Retratibilidade
Primária	0,1-0,2		Holocelulose, pectina e proteína	
S <sub>1</sub>	0,2-0,3	50-70º	Hemiceluloses, lignina	Compressão
S <sub>2</sub>	1,0-5,0	10-30º	Holocelulose, lignina	Retratibilidade, tração, MOE, MOR
S <sub>3</sub>	0,1-0,3	30-70º	Holocelulose, lignina, extrativos	Resistência ao colapso do xilema

Fonte: Adaptado de Klock; Andrade, 2013; Foelkel, 2009; Hillis, 1978.

### 2.20.2 Vaso

Os eucaliptos apresentam em média 65% de fibras, 17% de vasos e 18% de parênquima. Os comprimentos das fibras variam de 740 a 1300 µm, as espessuras das paredes de 2,5 a 6,0 µm e os diâmetros dos lumes de 6,0 a 10 µm. Os diâmetros das fibras variam de 15 a 20 µm, o diâmetro dos vasos de 50 a 300 µm e a frequência de 5 a 100/mm<sup>2</sup>, (BARRICHELO; BRITO, 1976).

O *E. urophylla* apresenta seção transversal circular, epiderme unisseriada, quadrada e recoberta com cutícula fina, seis a 10 camadas de parênquima, córtex presentes em pequenas quantidades, idioblastos taníferos presentes em grandes quantidades (o que confere maior proteção contra a herbivoria), floema representado por células de parênquima e fibras; xilema

por vasos e parênquimas, e medula composta fundamentalmente por parênquima, também presentes em pequenas quantidades esclereídeos e cristais (BRISOLA; DEMARCO, 2011).

Os vasos apresentam porosidade difusa, arranjos diagonais, predominantemente solitários, formato oval, comprimento de 155  $\mu\text{m}$ , 123  $\mu\text{m}$  de diâmetro tangencial e 181  $\mu\text{m}$  de diâmetro radial, com pontuações alternadas, perfurações simples com tiloses, parênquima axial paratraqueal e vasicêntrico, parênquima radial unisseriados e homogêneo, formado exclusivamente por células procumbentes. As fibras libriiformes e fibrotraqueídeos (EVANGELISTA *et al.*, 2010b; SILVESTRE; TORRES, 2003).

Em espécies com os poros difusos, como os eucaliptos, os vasos formados em um ano estão correlacionados com a precipitação e taxa de crescimento, mas pouco correlacionado com a densidade (PANSIN; ZEEUW, 1980). Naidoo *et al.* (2006) acharam correlação positiva entre a precipitação e a quantidade de vasos, o que provocou queda da densidade básica em *E. grandis* na África do Sul. A quantidade de vasos pode ser um problema para a qualidade das tábuas (HAYGREEN; BOWYER, 1995). A taxa de crescimento está positivamente correlacionada com o diâmetro do vaso e com a condutividade hidráulica, e negativamente relacionado com a densidade. Espécies de baixa densidade apresentam vasos de grandes diâmetros e baixa frequência, e espécies de alta densidade, alta frequência e pequenos diâmetros nos vasos (DREW *et al.*, 2009; POORTER *et al.*, 2010).

Rocha *et al.* (2004) acharam correlação positiva entre o ritmo de crescimento com as características anatômicas da madeira. As árvores dominantes apresentaram comprimentos, larguras e alturas das fibras maiores que as árvores intermediárias e bem maiores que as árvores dominadas. A *Copaifera langsdorffii* do cerradão apresenta vasos com maiores diâmetros tangenciais e maiores pontuações intervasculares que os espécimes da floresta (MARCATI *et al.*, 2001).

Próximo à medula os vasos são de pequenos diâmetros e grandes frequências, e próximos à casca os diâmetros são maiores e as frequências menores, a área é praticamente a mesma (ALZATE, 2004; BOSCHETTI *et al.*, 2015; CARRILLO *et al.*, 2015; EVANGELISTA *et al.*, 2010a; 2010b; FANG *et al.*, 2004; FLORSHEIM *et al.*, 2009; HILLIS, 1978; LIMA *et al.*, 2010; MELO *et al.*, 2016; MONTEIRO, 2014; NISGOSKI *et al.*, 2011; ROCHA *et al.*, 2004; SALVO *et al.*, 2017;

SETTE JR. *et al.*, 2009; 2012; SILVA, 2002; SILVA *et al.*, 2005; TOMAZELLO FILHO, 1983; 1985a; 1985b; 1987).

Os comprimentos e as espessuras das paredes dos vasos aumentam no sentido medula casca (FLORSHEIM *et al.*, 2009; LIMA *et al.*, 2010; MONTEIRO, 2014; NISGOSKI *et al.*, 2011; POUBEL *et al.*, 2011; ROCHA *et al.*, 2004, SALVO *et al.*, 2017).

Os vasos afetam o fluxo de água adsorvida e livre. Vasos e fibras compridas e largas, com grandes diâmetros dos lumes, favorecem o fluxo de água livre e dificultam o de água adsorvida. A frequência de poros favorece o fluxo de água adsorvida. Raios altos também favorecem a movimentação de água livre e adsorvida. Paredes espessas dificultam a secagem. Pontuação intervascular e raio vascular com maiores diâmetros, reduzem a passagem de água adsorvida e aumentam a de água livre (LEPAGE, 1986; MONTEIRO *et al.*, 2017). As tiloses podem reduzir ou bloquear completamente o movimento de água (MILOTA *et al.*, 1995; SILVA *et al.*, 2010).

### 2.20.3 Raio

As frequências e as larguras diminuem, e as alturas dos raios aumentam no sentido medula casca (FLORSHEIM *et al.*, 2009; LIMA *et al.*, 2010; MONTEIRO, 2014; NISGOSKI *et al.*, 2011; POUBEL *et al.*, 2011; ROCHA *et al.*, 2004).

### 2.20.4 Dimensões das fibras

Os comprimentos das fibras decrescem no sentido longitudinal da base para o topo para as espécies *C. maculata*, *E. cloeziana* e *E. resinifera* (LEITE, 2014). Resultados parecidos foram encontrados por Lopes *et al.* (2011) para *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. urophylla* com 18 anos.

Os comprimentos, larguras e espessuras das paredes das fibras aumentam; os diâmetros dos lumes diminuem da medula para casca ou com a idade da árvore (ALZATE, 2004; BHAT *et al.*, 1990; BENDTESEN; SENFT, 1986; BOSCHETTI *et al.*, 2015; CARRILLO *et al.*, 2015; CHIU *et al.*, 2005; DADSWELL, 1972; EVANGELISTA *et al.*, 2010a; 2010b; FANG *et al.*, 2004;

FLORSHEIM *et al.*, 2009; GEIMER *et al.*, 1997; HILLIS, 1978; LANGRISH; WALKER, 1993; LARA PALMA; BALLARIN, 2003; LARSON *et al.*, 2001; LEITE, 2014; LIMA, 2015; LIMA *et al.*, 2010; LONGUI *et al.*, 2012; MALAN, 1995; MALAN; VERRYIN, 1996; MELO *et al.*, 2016; MOKFIENSKI *et al.*, 2003; MONTEIRO, 2014; MONTEIRO *et al.*, 2017; NISGOSKI *et al.*, 2011; OLIVEIRA *et al.*, 2012; POUBEL *et al.*, 2011; RAMOS *et al.*, 2011; ROCHA *et al.*, 2004; SETTE JR. *et al.*, 2012; SILVA, 2002; SILVA *et al.*, 2005; SOUZA JR., 2004; TOMAZELLO FILHO, 1985a; b; 1987; TREVISAN *et al.*, 2017).

Apesar dos vasos, a densidade básica é maior na madeira madura das espécies de poros difusos e aumenta com a idade porque as espessuras das paredes das fibras aumentam da medula para casca no sentido radial da madeira (ZOBEL; SPRAGUE, 1998).

Para várias espécies de eucaliptos, os diâmetros dos lumes das fibras diminuem no sentido medula casca (ALZATE, 2004; LIMA, 2015; POUBEL *et al.*, 2011; RAMOS *et al.*, 2011; SETTE JR. *et al.*, 2009).

### 2.20.5 Grã

A grã é a direção axial, em relação ao eixo da árvore, dos constituintes da madeira (fibras ou traqueídeos, vasos e raios) (BARNETT; BONHAM, 2004; HARRIS, 1989; WALKER; BUTTERFIELD, 1995). A grã ondulada na superfície radial da madeira, derivam de alterações ondulatórias iniciadas no câmbio (TULIK *et al.*, 2011). Na grã reta ou direita, considerada como padrão, os tecidos axiais estão orientados paralelamente ao eixo principal do tronco ou peça de madeira. Na grã irregular, os elementos axiais apresentam variações de inclinação em relação ao eixo longitudinal do tronco ou peça serrada. As orientações das grãs influenciam as propriedades físicas e mecânicas da madeira e interfere no acabamento superficial (MARRA, 1992; MELO, 2013).



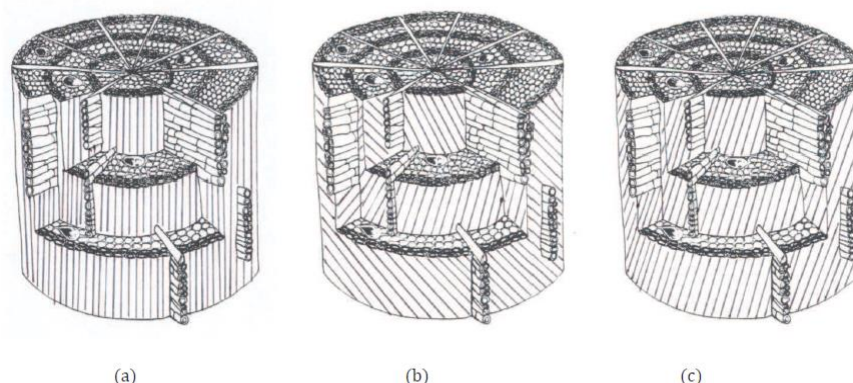


Figura 3 – Principais tipos de grã: a) direita; b) reversa e c) inclinada

Fonte: Melo, 2013.

O entrelaçamento e orientação diferenciada das camadas das fibras proporcionam alta resistência axial, o que permite a condução da seiva bruta, reduz as tensões de crescimento, a torção e o colapso; entretanto, diminuem a resistência mecânica, o rendimento em madeira serrada e a usinabilidade da madeira, e aumentam os empenamentos, as rachaduras das tábuas e dificultam a secagem (DONALDSON, 2008; FONWEBAN *et al.*, 2013; GORISEK *et al.*, 2006; KRAMER, 2006; KRETSCHMANN *et al.*, 2010; LUTZ, 1978; PANSHIN; ZEEUW, 1980; STEELE, 1984; WESSELS *et al.*, 2016). O *E. urophylla* apresenta grã reta, levemente reversa e poucos extrativos (BRISOLA; DEMARCO, 2011; POYNTON, 1979).

### 2.20.6 Ângulo da Microfibrila (MFA)

O ângulo da microfibrila (MFA) é o ângulo entre a direção das fibras helicoidais das microfibrilas de celulose na parede celular secundária das fibras e traqueídeos, camada  $S_2$ , ao longo do eixo da célula (BARNETT; BONHAM, 2004).

O MFA está bem correlacionado com a rigidez da madeira; madeiras adultas apresentam ângulos menores e maiores rigidez, enquanto que a madeira juvenil apresenta ângulo grande e baixa rigidez, isso seria uma adaptação, porque aumenta a flexibilidade a ventos fortes na fase juvenil (BARNETT; BONHAM, 2004; LICHTENEGGER *et al.*, 1999; REITERER *et al.*, 1999). Maiores ângulos das microfibrilas também estão associados à madeira de compressão e são mais importantes que a densidade em madeiras juvenis (ABASOLO *et al.*,

2000; ALTEYRAC *et al.*, 2006; BARNETT; BONHAM, 2004; CAVA; WALKER, 1994; CHAUHAN *et al.*, 2006; DONALDSON, 1992; 2008; DONALDSON; BURDON, 1995; EVANS *et al.*, 1996; FANG *et al.*, 2004; FARBER *et al.*, 2001; LICHTENEGGER *et al.*, 1999; LIMA *et al.*, 2004; MOTT *et al.*, 2002; REITERER *et al.*, 1999; TSEHAYE *et al.*, 1995; VIA *et al.*, 2009; WALKER; BUTTERFIELD, 1995; WALKER *et al.*, 1995; WESSELS *et al.*, 2016). Em madeiras maduras a densidade é mais importante que o MFA (DONALDSON, 2008; VIA *et al.*, 2009). Quando as paredes das fibras são mais espessas, apresentam maior porcentagem de celulose, aumentando a rigidez da madeira (GONÇALEZ *et al.*, 2014).

O MFA da medula é grande e pode chegar a 55° em coníferas, e 30° em folhosas, e diminui no sentido medula casca, caindo tanto nas coníferas quanto folhosas para 10° a 20° (AUTY *et al.*, 2013; BAO *et al.*, 2001; BARNETT; BONHAM, 2004; BENTSEN, 1978; BENDTSEN; SENFT, 1986; BONHAM; BARNETT, 2001; CAVE, 1968; DONALDSON, 1993; 1998; 2008; DONALDSON; BURDON, 1995; EVANS *et al.*, 1998; 2000; FANG *et al.*, 2004; FRENCH *et al.*, 2000; LICHTENEGGER *et al.*, 1999; LIMA, 2015; LIMA *et al.*, 2014; LOKMEL; MOHD-NOOR, 2017; MOORE *et al.*, 2014; PEDINI, 1992; RAMOS *et al.*, 2011; STUART; EVANS, 1994; WALKER; BUTTERFIELD, 1995).

A adubação reduz a espessura da camada  $S_2$  e aumenta em 2 a 3° o MFA. A quantidade de extrativos permanece constante, enquanto que a de lignina aumenta um pouco e a de celulose decresce na mesma proporção (ERICKSON; ARIMA, 1974). Quanto maior a fertilidade, maior o ângulo do microfibrila (CAMERON *et al.*, 2005; DONALDSON, 2008; PEDINI, 1992; SARÉN *et al.*, 2004; WASHUNSEN *et al.*, 2005).

Na madeira juvenil há maior proporção de células de paredes finas, o que faz com que a densidade básica e as propriedades mecânicas sejam menores. Além disso, interferem na força de corte da madeira e em sua resistência mecânica (PEARSON; GILMORE, 1980).

### 2.20.7 Correlações com as Propriedades Mecânicas

A taxa de crescimento está positivamente correlacionada com o MFA e negativamente com a densidade, o MOR e o MOE (DERESSE *et al.*, 2003; DONALDSON, 2008; DREW *et al.*,

2009; HERMAN *et al.*, 1999; KANG *et al.*, 2004; WIMMER *et al.*, 2002a; b; 2008; ZHANG *et al.*, 2002). Árvores de *Picea abis* com crescimento rápido apresentam MFA de 29°, enquanto que, nas de crescimento lento o ângulo foi de 21° (HERMAN *et al.*, 1999). Espécies de rápido crescimento apresentam aumento na rigidez da parede de três a cinco vezes maior nos primeiros 30 anos (CAVE; WALKER, 1994). A redução de 40° para 10° no MFA aumentou em a rigidez da parede em cinco vezes (CAVE, 1968). O MOE aumentou cinco vezes e o MOR três vezes, da madeira juvenil para adulta no *Pinus taeda* (BENDTSEN; SENFT, 1986). A resistência da madeira aumentou de 35 MPa para 220 MPa quando o MFA abaixou de 50° para 5° (DONALDSON, 2008).

Evans e Ilic (2001), trabalhando com *Eucalyptus delegatensis*, constataram que o MFA se correlaciona com a densidade da madeira, e ambos com o MOE. Ambos responderam por 96% da variação no MOE, apenas o MFA respondeu por 86% desta variação. Assim, a influência do MFA na rigidez da madeira foi significativamente maior que a da densidade.

Lima (2015) trabalhou com o híbrido "*E. urograndis*" com 6,5 anos de idade e achou correlação negativa entre MFA e a MOE ( $R^2 = -0,35$  a  $-0,90$ ) e Compressão paralela as fibras da madeira ( $R^2 = -0,57$  a  $-0,87$ ). Hein e Lima (2012) trabalhando com *E. grandis* com 6,5 anos de idade, encontraram correlação alta e positiva ( $R^2 = 0,91$ ) entre o MOE e a compressão paralela a fibra. A correlação do MFA como o MOE foi de  $-0,67$ , e do MFA com a compressão paralela as fibras foi de  $-0,52$ . Hein *et al.* (2013) trabalhando com o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* com 6 anos de idade, encontraram correlação da Db e o inverso do MFA com o MOE de 0,66 e com o MOR de 0,37. O MFA tem correlação negativa com a celulose ( $-0,660$ ), comprimento da fibra ( $-0,586$ ), largura da fibra ( $-0,516$ ) e densidade básica ( $-0,450$ ) (ZUO *et al.*, 2004).

O MFA está relacionado com a quantidade de lignina (BAILLÈRES *et al.*, 1995; BARNETT; BONHAM, 2004; VIA *et al.*, 2009). Tanto as características anatômicas (comprimento e ângulo da microfibrila), quanto a densidade básica estão bem correlacionadas com as propriedades mecânicas da madeira (AUTY *et al.*, 2013; BENDTSEN; SENFT, 1986; WALKER, 1993; YANG *et al.*, 2003a).

Em *E. globulus*, *E. nitens* e *E. regnans*, a correlação do MOE com a MFA foi de 87%, só

com a densidade básica foi de 81%, e com o MFA e a densidade básica e o MOE a correlação foi de 92%. Em função disso concluíram que o MFA é mais influente que a densidade básica no MOE (YANG; EVANS, 2003). Malan (1991) estudou 72 famílias de irmãos completos de *E. grandis* com 8,5 anos de idade. A densidade básica, comprimento da fibra e diâmetro do vaso em conjunto explicaram 82% das propriedades da madeira.

O MFA e a Db se correlacionam linearmente com o MOE (HEIN *et al.*, 2013; YANG; EVANS, 2003). Oliveira (1997) analisou sete espécies de eucaliptos e encontrou correlação positiva entre a Db e o MOE e MOR. A densidade básica aumenta no sentido medula casca para a maioria das espécies. Resultados semelhante encontrado por Cruz *et al.* (2003).

Fang *et al.* (2004) acharam correlação negativa entre o MFA e a Db (-0,450), comprimento da fibra (-0,586), largura da fibra (-0,516) e teor de celulose (-0,660).

#### 2.20.8 Correlações com as dimensões das fibras

Assis *et al.* (2017) trabalharam com *C. maculata* e *E. pilularis* com 37 anos de idade. Avaliaram as correlações entre o MFA e as características anatômicas. A MFA tem correlação positiva com o diâmetro de fibra (0,83 e 0,65), e correlação negativa com o comprimento (-0,67 e -0,85) e espessura da parede da fibra (-0,62 e -0,87) para *C. maculata* e *E. pilularis*, respectivamente.

Mokfienski *et al.* (2003) correlacionou a densidade básica com as características anatômicas da madeira de *Eucalyptus* sp. e o coeficiente de correlação foi de 0,80 para o comprimento da fibra e 0,76 para o diâmetro do lume, para a espessura da parede foi de 0,32.

Carrillo *et al.* (2015) avaliaram *E. globulus* com 15 anos de idade e não encontraram correlação da densidade básica com as dimensões das fibras, a melhor correlação foi com a espessura da parede (0,52). Wimmer *et al.* (2002b) trabalhando com *E. nitens* com 8 anos de idade achou correlação negativa entre a Db e o comprimento da fibra (-0,44).

Quilhó *et al.* (2006) trabalhando com híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*, correlacionou as características anatômica com a densidade. A espessura da fibra responde por 25% e o comprimento da fibra por 16%.

A densidade básica se correlaciona positivamente com o comprimento, largura das fibras e espessura da parede celular (MALAN; VERRYN, 1996; POUBEL *et al.*, 2011). A densidade básica tem correlação alta e positiva com o teor de lignina e alta e negativa como o teor de holocelulose e não se correlaciona com o teor de extrativos (CHAFE, 1986a).

## 2.21 Água na madeira

A madeira normalmente apresenta grande quantidade de água em três compartimentos: água livre ou capilar, de adsorção ou higroscópica e de constituição. A água livre ou capilar é a água presente no lume ou nas cavidades das células, aparecem em madeiras verdes ou saturadas, normalmente acima de 28%, esta água não influencia a resistência da madeira. São mantidas por forças capilares que são mais fracas que as pontes de hidrogênio, por isso são as primeiras a serem eliminadas. Esta água pode conter sais minerais, o que altera as características da madeira. A água de adesão ou higroscópica está nos espaços intercelulares ligada a moléculas da madeira principalmente por meio de pontes de hidrogênio. O grupo hidroxila presente na madeira, principalmente na holocelulose, se liga às moléculas polares das águas exigindo maior quantidade de energia para se desligar; por isso, a água de adesão só sairá da madeira depois que toda água livre for retirada. Normalmente entre zero e 28%. Com a sua retirada há contração da madeira (retratibilidade); portanto, influencia as propriedades físico-mecânicas da madeira. A água de constituição ou composição, encontra-se nos espaços intracelulares em combinação química com os principais constituintes da madeira (celulose, hemiceluloses e lignina). Esta água não é eliminada na secagem e não influencia as propriedades físico-mecânicas da madeira; não é contabilizada na umidade da madeira (JANKOWSKY, 1995; JANKOWSKY *et al.*, 2003; JANKOWSKY; GALINA, 2013; KLITZKE, 2007; NAYLOR; HACKNEY, 2013; SANTOS *et al.*, 2003; SKAAR, 1988; STEIN, 2003).

A água se movimenta na madeira por capilaridade acima do PSF é por difusão abaixo do PSF (KEEY *et al.*, 2000; LANGRISH; WALKER, 1993 MORESCHI, 2014). O movimento da água pode ser em qualquer direção, na direção longitudinal é mais rápida porque há maior quantidade de vasos, principalmente no alburno das Angiospermas. No cerne, os vasos podem

estar bloqueados por tiloses. Quando há perfuração simples a passagem dos líquidos por eles é mais fácil. Os raios não são muito efetivos na eliminação de água das Angiospermas (ENGELUND *et al.*, 2013; KEDROV, 2012; KEEY *et al.*, 2000; LANGRISH; WALKER, 1993; LAPEGE, 1986; SIAU, 1971; SILVA *et al.*, 2010).

A secagem da madeira se dá em três etapas: na primeira fase a taxa de secagem é constante, ocorre a evaporação da água da superfície do material e a movimentação da água líquida, do interior para a superfície de evaporação, via forças capilares. Na segunda e terceira fases, a taxa de secagem é variável e decrescente. A água se movimenta por difusão, em função das condições termodinâmicas, da corrente de ar e das características da madeira (densidade). A terceira fase inicia quando a linha de evaporação da água se restringe ao centro da peça; não há mais água livre, a água higroscópica é regulada pelas características da madeira (JANKOWSKY *et al.*, 2003).

A umidade natural varia entre e dentro de espécies. O gênero *Eucalyptus* apresenta alto teor de umidade natural com grande variação no sentido radial da árvore; deste modo, as variações são de 80 a 160% próximo a medula e de 40 a 60% nas proximidades da casca (OLIVEIRA *et al.*, 1999). Oliveira (1997) estudou sete espécies de eucaliptos com 15 anos idade e encontrou amplitudes de variação na umidade da madeira no sentido radial em tronco de 20% para o *E. citriodora* e *E. paniculata*; e de 80% para o *E. grandis* e *E. urophylla*.

Carmo (1996) encontrou variações de 50 a 70% para o *Corymbia maculata*, 46 a 80% para o *C. citriodora* e 50 a 133% para o *E. grandis*.

O teor de umidade varia inversamente com a densidade (CHAFE, 1985; FREDERICK *et al.*, 1982; GARCIA; LIMA, 1990; OLIVEIRA *et al.*, 2005; PURNELL, 1988; WALKER *et al.*, 1993; ZANUNCIO *et al.*, 2013).

## 2.22 Densidade básica (Db)

A densidade é a propriedade física mais significativa para caracterizar madeiras, por ser de fácil determinação e baixo custo. Além disso, se correlaciona com as propriedades físicas e

mecânicas da madeira e apresenta alta herdabilidade (KOLLMANN; CÔTÉ, 1984; PANSHIN; ZEEUW, 1980; ROCHA, 1983).

Não há diferença na densidade básica no alburno das árvores dominantes, com crescimento mais rápido para as dominadas, de crescimento mais lento. Quanto mais velha a árvore, maior a produção de extrativos. Árvores juvenis podem produzir madeira com alta densidade, entretanto, ela só será madura se a porcentagem de extrativos for relativamente alta (WILKES, 1984).

A densidade básica do *E. grandis* não se alterou dos 4 aos 7 anos (LADRACH, 1986). Para Bhat *et al.* (1990) a transição do *E. grandis* é dos 3 aos 9 anos.

A densidade tem correlação positiva com as propriedades mecânicas da madeira (BODIG; JAYNE, 1993; HILLIS, 1978; MORAES NETO *et al.*, 2009; THIBAUT *et al.*, 2001; ZHANG, 1994). O MFA tem papel fundamental nas propriedades físicas e mecânicas da madeira (THIBAUT *et al.*, 2001).

## 2.23 Retratibilidade

O Ponto de Saturação da Fibras (PSF), para a grande maioria das espécies, está entre 25 e 32%, no Brasil normalmente é de 28%. A variação dimensional da madeira ocorre quando o teor de água está entre 0 e 28%, ou seja; a madeira já perdeu toda água livre. A dessorção ou adsorção de água no intervalo de 0 a 28% causará a contração ou inchamento da madeira. A contração longitudinal (0,1 a 0,9%) é praticamente desprezível enquanto que a tangencial (3,5 a 15%) varia de 1,5 a 3 vezes o valor da contração radial (2,4 a 11%) (JANKOWSKY; GALINA, 2013).

A retratibilidade ocorre na matriz da parede celular, com a saída de água de adsorção. A orientação ortogonal das microfibrilas em relação ao encolhimento da matriz de celulose explica em parte a natureza anisotrópica da madeira. As paredes celulares com ângulo das microfibrilas muito baixos apresentam maiores contrações transversais, enquanto que as paredes celulares com MFA altos apresentam maior contração longitudinal (DONALDSON, 2008). A retratibilidade longitudinal aumenta e a tangencial decresce com o aumento do ângulo

da microfibrila da camada  $S_2$  da parede celular (MEYLAN, 1968; YANG; EVANS, 2003b).

As moléculas de água ligadas às microfibrilas por pontes de hidrogênio, quando deixam a madeira, liberam espaços que as forças de coesão tentam aproximar. Quando a madeira ganha água acontece o processo inverso (BASSET, 1994; OLIVEIRA *et al.*, 2010). É importante para marcenaria porque reflete a movimentação da madeira nas diferentes direções.

A holocelulose é mais higroscópica que a lignina (ROWELL; BANKS, 1985). No *E. regnans* a celulose foi responsável por 47% da adsorção, enquanto que as hemiceluloses foram responsáveis por 37% e a lignina apenas 16% (BROWINIG, 1963). Nos eucaliptos, os extrativos e lignina têm correlação negativa com a retratibilidade e os polissacarídeos, principalmente as hemiceluloses, têm correlação positiva (CHAFE, 1987; ILIC, 1999; WALKER, 1993). A parede secundária contém no máximo 20% de lignina, enquanto que na lamela média ultrapassa os 50%. Em função disso, a lamela média restringe a retratibilidade da madeira mais que a parede secundária (HILLIS, 1978).

Os eucaliptos com altas taxas de crescimento, normalmente apresentam baixa densidade básica e contrações, fendilhamentos e empenamentos elevados. A retratibilidade e as rachaduras que tendem a ser maiores em espécies de baixas densidades (HILLIS, 1978).

A retratibilidade e a densidade básica aumentam no sentido radial da medula para casca, enquanto que o fator anisotrópico diminui. Na madeira juvenil a retratibilidade longitudinal é maior, em função do MFA, e a transversal (radial e tangencial) são menores (GEIMER *et al.*, 1997; KOLLMANN; CÔTÉ JR., 1984; LARA PALMA; BALLARIN, 2003; LARSON *et al.*, 2001; LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000; LUTZ, 1978; OLIVEIRA; SILVA, 2003; PANSHIN; ZEEUW, 1980; SERPA *et al.*, 2003; YANG; EVANS, 2003b). O MFA baixo está associado a madeira de tração, próximo a casca. Próximo a medula, o MFA é alto, à madeira está em compressão (HARRIS; MEYLAN, 1965). O cerne contrai menos que o alburno por causa dos extrativos (MOREIRA, 1999).

A retratibilidade longitudinal pode ser até 9% maior no lenho juvenil em função do MFA (ROWELL *et al.*, 2000; SENFT *et al.*, 1985; ZOBEL; TALBERT, 1984). Na madeira adulta, quando o MFA é pequeno (até 30°) a retratibilidade longitudinal é desprezível (MEYLAN, 1968; PEARSON; GILMORE, 1980; YING *et al.*, 1994).



Nos *Eucalyptus*, o índice anisotrópico (IA) não funciona em função do alto teor de extrativos (CHAFE, 1986a; b). A retratibilidade tem correlação negativa com a densidade básica antes do condicionamento. Depois do condicionamento, a retratibilidade é constante (independentemente da densidade básica), em função da extração dos extrativos (CHAFE, 1986b).

O ângulo das microfibrilas têm correlação negativa com a retratibilidade tangencial e a espessura da parede celular tem correlação positiva com a retratibilidade radial. Quanto maior o ângulo das microfibrilas, maior a resistência ao colapso. Por outro lado, madeiras juvenis normalmente apresentam ângulo das microfibrila grandes, mas a espessura da parede é pequena, e são mais propensas ou colapso (YANG; EVANS, 2003a).

## 2.24 Propriedades físicas e mecânicas da madeira

As propriedades mecânicas da madeira são divididas em dois grupos: um de resistência, como a compressão, dureza e cisalhamento, e outro de elasticidade como o módulo da elasticidade na flexão estática, que determina a rigidez da madeira. Os testes de resistência e elasticidade visam fornecer subsídios para a aplicação da madeira (SCANAVACA JR., 2001). Além disso, a madeira apresenta boa relação resistência e peso, baixa condutividade térmica e elétrica, bom desempenho acústico e beleza natural.

### 2.34.1 Módulo de Elasticidade (MOE) e Ruptura (MOR)

**Módulo de Elasticidade (MOE):** medem os esforços paralelos ou normais às fibras, a flexão ou torção. Cada material apresenta seu MOE, que é a constante utilizada para determinar o estado das tensões no regime elástico desse material.

A habilidade de absorver choques com alguma deformação permanente é chamada de MOE. É a carga máxima, situada abaixo do limite de proporcionalidade elástica, que mede a resistência e tenacidade da madeira, realizada sob tenções de flexões combinadas. A carga estando acima deste limite, causará deformações plásticas irreversíveis e, quase sempre,

seguidas pela ruptura parcial ou total da peça de madeira, permitindo calcular o Módulo de Ruptura (MOR) (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 2010; MORESCHI, 2014; WANGAARD, 1950).

Os principais fatores que influenciam a resistência da madeira em flexão são a inclinação da grã, a densidade básica, o teor de umidade e as tensões de crescimento. Segundo Yang e Evans (2003a), o ângulo da microfibrila exerce maior influência que a densidade básica. A camada  $S_2$  tem papel preponderante nas propriedades mecânicas da madeira (CAVE, 1969; CAVE; WALKER, 1984). Quando menor o MFA, maior a rigidez da madeira (REITERER *et al.*, 1999).

O MOE e MOR estão correlacionados com a densidade ( $R^2 > 0,9$ ) e com a idade da árvore ( $R^2 > 0,67$ ) (BOOTLE, 2005; THOMAS *et al.*, 2009).

A densidade básica, o MOE e o MOR foram maiores na madeira adulta em relação a madeira juvenil de *P. taeda* com 37 anos de idade (BALLARIN; PALMA, 2003). A resistência à compressão e a flexão aumentam da medula para casca no sentido radial, como a densidade básica (SERPA *et al.*, 2003).

### 2.24.2 Cisalhamento

A resistência da madeira é mínima quando o cisalhamento é paralelo às fibras, isto é, deslocar-se sobre si mesma, e na prática, é o que mais ocorre; a presença de fendas e/ou defeitos pode agravar a situação. A madeira possui boa resistência ao cisalhamento perpendicular às fibras (WILCOX *et al.*, 1991).

### 2.24.3 Compressão

A máxima tensão sustentada por uma madeira comprimida chama-se compressão. Numa primeira fase esta relação é linear, mas numa segunda fase não, sendo que a resistência à tração é superior à compressão em peças de madeira livres de defeitos. A resistência à compressão paralela às fibras da madeira é a tensão máxima dada pela tensão máxima de

compressão que pode atuar em um corpo de prova com seção transversal quadrada de cinco por cinco cm (ABNT, 1997).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Material genético

Esse material faz parte do PCPN (Programa Cooperativo de População Núcleo) criado pelo IPEF (Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais) em 2008, cujo objetivo era instalar populações com ampla base genética de forma a reuni-las e recombiná-las. O PCPN foi desenvolvido para o *E. grandis*, *E. saligna* e *E. urophylla*, que são as principais espécies comerciais do Brasil. Para o *E. urophylla* foram disponibilizadas 167 progênies de 6 procedências (empresas florestais) (Tabela 7) (SILVA, 2011). Foi instalada uma rede experimental de modo a atender todas as empresas participantes do programa bem como fazer um zoneamento ecológico das principais espécies de florestas comerciais no Brasil (PUPIN *et al.*, 2015).

Tabela 7 – Origem e grau de melhoramento do *E. urophylla* da rede BEEP instalado na E.E.C.F. Anhembi.

N progênie	Procedência	Origem	Grau de Melhoramento
1 a 15	Teixeira de Freitas, BA	Timor	APS 1º
16 a 30	Lençóis Paulista, SP	Timor (Remexio)	PSM 2º e 3º
31 a 46	Itamarandiba, MG	Flores	PSM 2º
47 a 91	Turmalina e Timóteo, MG	Flores e Timor	PSM 2º a 4º
92 a 106	Avaré, SP	Flores e Timor	PSM 2º e 3º
107 a 156	Ipatinga, MG	Flores e Timor	PSM 2º e 3º
157 a 167	Altinópolis, SP	Flores e Timor	PSM 3º

#### 3.2 Área experimental

O material do PCPN foi instalado na Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi, pertencente ao Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, que está situado

a 22°40' S e 48°10' W e a 455 m de altitude, em terreno plano. Os solos predominantes são o Latossolo e o Neossolo Quartzarênico, arenosos e profundos. O experimento foi instalado sobre um Latossolo Amarelo Distrófico (EMBRAPA, 1999), contendo 5% de silte, 13% de argila e 82% de areia. O clima, pela classificação de Köppen é Cwa, com verões quentes e chuvosos e invernos moderadamente frios e secos. A ocorrência de geadas é rara. A temperatura média anual é de 23° C e a temperatura média dos meses mais frios e quentes são respectivamente 17,1° C e 23,7° C. A temperatura mínima e máxima são, respectivamente, de 5° C e 34° C. A precipitação média anual é de 1.100 mm e a deficiência hídrica anual é de 20 mm (ESALQ, 2019).

O experimento foi instalado em dezembro de 2009, em Blocos Completos Casualizados com 167 progênies de seis procedências, em quatro repetições com seis plantas por parcela, no espaçamento 3 x 2 m (croqui em anexo).

Foram selecionadas 21 progênies em três repetições (árvores dentro da parcela) nos Blocos 1, 2 e 3, para não abrir clareiras muito grandes e visando manter a homogeneidade do experimento. A seleção foi feita prevendo o desbaste ou corte no final do trabalho para avaliação das propriedades físicas e mecânicas da madeira; desta forma, a seleção foi por baixo; a melhor árvore da parcela não foi selecionada.

### **3.3 Umidade do solo**

Foram colhidas cinco amostras de solos, em áreas abertas, intermediárias e fechadas, nas profundidades de 0 a 10 e 20 a 30 cm, com duas repetições para medir a porcentagem de água no solo em cada estação do ano, por meio de um trado com capacidade de 100 gramas de terra.

### **3.4 Avaliações silviculturais**

Os DAPs foram avaliados em cinco estações por meio de uma suta de metal com 1 cm de precisão. Os diâmetros foram tomados a 130 cm do solo, conforme convenção. Além do

DAP foram avaliados a competição, contando o número de árvores ao redor, nas quatro laterais, da progênie selecionada; o ideótipo de casca, em quatro categorias que foram encontradas no experimento: lisa, meia casca, farinhenta e rugosa. Também foram avaliadas as copas das progênies selecionadas, em copa aberta, intermediária e fechada.

### 3.5 Umidade natural da madeira

Para a medição de umidade da árvore foram extraídas amostras ou baguetas de madeira, por meio de um trado motorizado com 1 HP de potência e uma broca vazada com 20 milímetros de diâmetro e 20 centímetros de comprimento. As árvores foram furadas até atingir a medula, as alturas variaram de 130 a 170 cm de altura partir do solo. Após a extração da bagueta de madeira, a árvore foi tapada com uma batoca do mesmo diâmetro da broca para diminuir ou evitar o risco de ataque de pragas ou doenças.

As amostras das baguetas das árvores foram identificadas e armazenadas em saco plástico e armazenadas num isopor até o final do dia para evitar a perda de umidade. No mesmo dia, a bagueta foi dividida em diversos segmentos com aproximadamente 2 cm de comprimento, devidamente identificados e pesados em balança digital com 0,01 g de precisão.

Após a pesagem, as baguetas foram colocadas em estufa a  $103^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ} \text{C}$  até peso constante. Após a estabilização dos pesos, as baguetas foram novamente pesadas para o cálculo da umidade. Por apresentar cor e peso indistinto, foi considerado a primeiro segmento (mais próxima do centro da árvore) como sendo da medula. O último segmento, mais distante da medula ou mais próxima da casca, como sendo alburno. Os demais segmentos da parte central, foram consideradas como cerne. A umidade do cerne é a média aritmética das baguetas, que variaram de 3 a 8 amostras em função do diâmetro das árvores. Nas baguetas em que a casca ficou aderida foram descartadas em laboratório antes da primeira pesagem.

A umidade de cada segmento de madeira, bem como das amostras de solos foram calculadas por meio Equação 4 sendo o resultado dado em porcentagem.

$$[(PU - PS) / PS] * 100$$

(4)

Em que:

PU = Peso úmido (g)

Ps = Peso seco (g)



a



b



c



d

Figura 4 – Furadeira com broca vazada retirando a bagueta de madeira (a); Furo de recém-furado e o da estação anterior já cicatrizado (b); Momento da retirada da bagueta (c); Furo com batoquinha para vedação do buraco (d).

Na figura 4a destacamos a furadeira motorizada e a altura dos furos (aproximadamente de 130 cm). As árvores selecionadas foram marcadas com uma fita de destaque (Figura 4c), que se estragasse ou fosse arrancada, seria repostas na próxima avaliação. Os furos feitos pela broca foram tapados com batoquinhas do mesmo diâmetro da broca para que a cicatrização fosse mais rápida (Figura 4b, d), o que aconteceu em cerca de três meses.

### 3.6 Corte e Desdobro das toras

Logo após as últimas avaliações (competição, copa, casca, DAP, solos e umidade da madeira), as árvores foram abatidas com um motosserra Husqvarna 393cc, 15 KV de potência e sabre de 35 cm. Foram cortados toretes de aproximadamente 100 cm de comprimento a partir da base da árvore.

Os toretes foram transportados para a serraria *Pinus* Mirim localizada em Jumirim, SP, aproximadamente a 60 km de Piracicaba para o desdobro, porque a serra de fita da serraria da ESALQ havia quebrado. A resserra foi feita em fita horizontal, com alimentação mecânica, por esteira paralela ao plano da lâmina e perpendicular à linha dos dentes. A torinha foi colocada longitudinalmente na esteira e ajustada para ficar apoiada em todo o seu comprimento. O primeiro corte foi feito com a garga de 8 cm da serra distante da esteira.

Neste primeiro corte, obteve-se costaneiras de 8 cm de espessura com as fibras alinhadas ao eixo da peça. O bloco remanescente foi recolocado na esteira da entrada da serra com a face serrada voltada para cima, para que, num segundo corte, fosse retirada a outra costaneira de mesma dimensão. A peça central, em forma de cunha, apresentou espessura variável, em função do diâmetro do torete. As costaneiras foram transportadas para a serraria da ESALQ, de onde foram retirados os corpos de prova para avaliação das propriedades físicas e mecânicas.

De cada torete foi tirado um sarrafo de aproximadamente 3 cm de espessura, que foi utilizado para confeccionar os corpos de prova das propriedades físicas e mecânicas da madeira. Os sarrafos, livres de defeitos foram aparelhados e cortados para confeccionar os corpos de prova, conforme as normas NBR 7190 (1993). Foram retirados dois corpos de prova



de cada torete de cada propriedade avaliada. Um corpo de prova foi avaliado verde (umidade acima de 30%) e outro seco em ambiente natural, com umidade variando de 10 a 20% e corrigido para 12% conforme a NBR 7190 (1993).

### 3.7 Propriedades físicas e mecânicas da madeira

Foram avaliadas as propriedades físicas (densidade básica e retratibilidade) e mecânicas (resistência ao cisalhamento tangencial aos anéis de crescimento, resistência a compressão paralela às fibras, resistência à flexão estática e módulo da elasticidade na flexão estática), conforme a norma NBR 7190/97.

Os ensaios mecânicos foram feitos na máquina universal eletromecânica informatizada digital Contenco UMC 300, com capacidade de 30 toneladas, que permite a acoplagem de diversos acessórios que possibilitam a realização de diversos ensaios em diferentes normas. A velocidade pôde variar de 0,01 a 500 mm/minuto sem degraus. A carga (kgf/segundo) pode variar de 50 a 1500. A largura máxima entre as colunas é de 500 mm. Os deslocamentos máximos do curso sem dispositivos são de 1200 mm (CONTENCO, 2019).

Para o cisalhamento foi aplicada a velocidade de 15 mm/min e carga de 250 kgf/cm<sup>2</sup>. Para a compressão a velocidade foi de 10 mm/min e carga de 500 kgf/cm<sup>2</sup>. Para a flexão estática foram aplicadas 10 mm/min de velocidade e 20 kgf/cm<sup>2</sup> de carga.

### 3.8 Análise estatística e modelos matemáticos

As análises foram feitas por meio do software SAS 9.3 por meio do procedimento GLIMMIX. As normalidades calculadas pelo procedimento PROC UNIVARIATE, as correlações e regressões, pelos PROC CORR e PROC REG, respectivamente. As herdabilidades foram calculadas por meio do PROC MIXED e PROC VARCOMP.

O modelo matemático utilizado foi: (5)

$$Y_{ijk} = \mu + p_i + b_j + e_{ij} + d_{ijk} \quad (5)$$

Em que:

$Y_{ijk}$  = observação no indivíduo k dentro do bloco j e na progênie i;

$\mu$  = média geral, fixa,  $E(\mu) = \mu$  e  $E(\mu)^2 = \mu^2$ ;

$p_i$  = efeito da progênie i, aleatório,  $E(p_i) = 0$  e  $E(p_i)^2 = \sigma^2_p$ ;

$b_j$  = efeito do bloco j, fixo,  $E(b_j) = b_j$  e  $E(b_j^2) = \sigma^2_b$ ;

$e_{ij}$  = efeito da parcela ij (erro do DBC), aleatório,  $E(e_{ij}) = 0$  e  $E(e_{ij}^2) = \sigma^2_e$ ;

$d_{ijk}$  = efeito do indivíduo k dentro da parcela ij, aleatório,  $E(d_{ijk}) = 0$  e  $E(d_{ijk}^2) = \sigma^2_d$ .

O Modelo da Matriz é:

$$Y = X\Theta + Z\mu + \varepsilon \quad (6)$$

Em que:

Y é o vetor n x l de realizações de variáveis aleatórias;

X é a matriz n x p, matriz de delineamento, de coeficientes conhecidos e correspondente aos efeitos fixos;

$\Theta$  é o vetor p x l de efeitos fixos desconhecidos;

Z é a matriz m x p, matriz de delineamento, de coeficientes conhecidos e correspondentes aos efeitos aleatórios;

$\mu$  é o vetor m x l de efeitos aleatórios desconhecidos;

$\varepsilon$  é o vetor n x l de variáveis aleatórias não observáveis, conhecido como vetor dos erros.

Assumindo que  $\mu$  e  $\varepsilon$  apresentam distribuição normal, com média zero, matrizes de variâncias e covariâncias G e  $I\delta^2_e$ , respectivamente, o vetor y terá distribuição normal multivariada, com média  $X\Theta$  e matriz de variâncias e covariâncias, V, dada em (2), ou seja,  $y \sim N(X\Theta, V)$  com:

$$V = ZGZ' + I\delta^2_e \quad (7)$$

Resolvendo as equações (6) e (7) é possível obter todos os parâmetros das matrizes bem como prever os fatores aleatórios (MARCELINO; IEMMA, 2000; PERRI, 1998; PERRI; IEMMA, 1999).

As estimativas dos componentes de variância e as soluções dos efeitos aleatórios, foram calculadas por meio de um processo único e iterativo de estimação-predição, pelo método REML do Proc mixed do SAS, a estimativa inicial de G pela matriz de covariância (SAS, 1999).

As comparações das variâncias e eleição do melhor método se baseou no menor IAC (Akaike's Information Criterion), que pode ser usado para comparar modelos com os mesmos efeitos fixos, e com diferentes estruturas de G (MARCELINO; IEMMA, 2000).

De posse dos melhores valores de variância obtidos pela matriz de covariância, calcularam-se as herdabilidades média das progênes, os  $CV_g$ ,  $CV_r$  e acurácia conforme Vencovsky e Barriga (1992), equações (8), (9), (10) e (11), respectivamente.

$$\hat{h}_m^2: \frac{\sigma_e^2 + \sigma_p^2}{J} \quad (8)$$

$$CV_g = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_g^2}}{\hat{m}} \cdot 100 \quad (9)$$

$$\text{Cociente } \bar{b} = (CV_g/CV) \quad (10)$$

$$AC = \sqrt{\hat{h}_m^2} \quad (11)$$

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Dados climatológicos

Os dados climatológicos foram fornecidos pela E. E. C. F. de Anhembi. Foram utilizados os dados de 2009 (Plantio do experimento) a 2018 (corte das árvores). Na Tabela 8 temos as médias dos principais dados climáticos para os objetivos da tese.

Tabela 8 – Médias anuais de temperatura máxima, mínima e precipitação anual total, com as respectivas amplitudes de variações anuais, média geral e desvio padrão, na E. E. C. F. de Anhembi.

Ano	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Precipitação anual total (mm)
2009	32,57 (28,80 a 35,50)	12,36 (3,60 a 18,80)	1749,55 (19 a 289,10)
2010	34,46 (30,50 a 39)	11,46 (5,60 a 18)	1439,20 (0 a 369,50)
2011	34,39 (28,99 a 37,82)	10,69 (1,75 a 19,39)	1353,30 (3,60 a 424,90)
2012	34,14 (30,06 a 38,41)	11,77 (5,31 a 18,82)	1185,20 (0,50 a 205)
2013	33,81 (29,11 a 37,83)	11,68 (4,11 a 18,04)	1084,80 (2,60 a 179,70)
2014	35,01 (30,70 a 38,94)	11,53 (6,71 a 17,30)	802,40 (11 a 139,30)
2015	31,02 (21 a 38,87)	13,78 (8,24 a 17,79)	2231,67 (4,96 a 351,62)
2016	33,57 (28 a 37,98)	11,73 (2,72 a 18,18)	1607,16 (7,15 a 383,42)
2017	33,86 (28,93 a 37,81)	12,32 (6,46 a 19,59)	1685,58 (1,46 a 370,30)
2018	34,20 (31,63 a 36,57)	11,14 (3,65 a 18,52)	632,61 (1 a 297,34)
Média	33,70	11,84	1377,15
CV	8,50	38,40	85,10
DP	2,87	4,55	97,67

Na Tabela 8 pode-se observar que as temperaturas máximas (31,02 a 35,01° C) e mínimas (10,69 a 13,78° C) oscilaram pouco, mas a precipitação foi bastante variável (632,61 a 2231,67 mm), conforme as amplitudes anuais e o desvio padrão e coeficiente de variação.

Essa grande amplitude de variação da precipitação motivou essa pesquisa por se acreditar que a umidade natural da madeira acompanharia os dados climatológicos, o que não aconteceu, conforme as Tabelas 10 e 11 (solos) e Tabelas 25 a 33 (umidade natural da madeira).

#### 4.2 Umidade do solo

Foram colhidas amostras em todas as estações, exceto em uma, porque chovia torrencialmente impossibilitando à coleta de solo. Desta forma, foram colhidas cinco amostras de solo em duas profundidades, em três áreas (aberta, intermediária e fechada), em duas repetições por bloco, para verificar se havia correlação entre a umidade da madeira com a umidade do solo, bem como a influência do manejo (desbaste) na mesma. Os dados foram analisados estatisticamente em função do tamanho das clareiras, ou abertura entre as progênies, conforme as Tabelas 9 a 11.

Tabela 9 – Teste de normalidade, coeficiente de assimetria e curtose para a umidade do solo em todas estações.

	Outono	Inverno	Primavera	Verão	Primavera
Teste	26/04/17	21/06/18	24/11/17	26/02/18	21/11/18
Skewness	0,4244	0,8766	0,0220	-0,3244	1,3208
Kurtosis	-1,2677	1,2709	1,0526	0,0466	1,7946
Shapiro-Wilk	0,9022	0,9388	0,9622	0,9457	0,8906
Probabilidade	0,0629	0,2759	0,6439	0,3613	0,0737

O coeficiente de assimetria (Skewness) entre  $\pm 2$  significa que os dados apresentam distribuição simétrica, assim como o coeficiente de curtose (Kurtosis), que indica que o achatamento da curva entre  $\pm 2$  não é muito discrepante da normalidade dos dados. O teste Shapiro-Wilk parte do princípio que  $H_0$  = dados provindos de uma população normalmente distribuída, e a probabilidade nos mostra a porcentagem de erro que podemos cometer ao rejeitar  $H_0$  que geralmente é de 0,05 ou 0,01, isto é: os dados devem ser considerados não

normais quando a probabilidade dos valores estiverem abaixo de 0,05. Desta forma, os dados das cinco amostras são provindos de uma população normalmente distribuídos, bem como o resíduo destes dados, desta forma, foram analisados por meio de métodos paramétricos.

Tabela 10 – Médias da umidade dos solos nas estações por tratamento e profundidade.

Profundidade	Área Aberta	Área Intermediária	Área Fechada
Outono			
0 a 10	7,32	8,93	7,75
20 a 30	8,04	8,60	8,02
Inverno			
0 a 10	11,94	10,22	9,03
20 a 30	11,11	10,56	9,88
Primavera			
0 a 10	62,19	63,26	69,82
20 a 30	63,72	69,92	73,48
Verão			
0 a 10	66,29	64,70	60,04
20 a 30	69,35	69,09	69,75
Primavera			
0 a 10	65,40	61,47	59,63
20 a 30	70,38	76,75	69,87

Os tipos de área foram definidos conforme a Figura 5.



a



b



c

Figura 5 – Áreas de coleta de solos: a) aberta; b) intermediária e d) fechada

Tabela 11 – Análises estatísticas dos solos em todas as estações, teste Tukey a 5% e médias das porcentagens de umidade por profundidade.

FV	Outono			Inverno		Primavera		Verão		Primavera		
	GL	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	
Trat	2	2,0	12,27	6,47	2,96	88,83	1,73	13,42	0,48	51,12	1,37	
Prof	1	0,22	0,01	0,065	0,03	95,11	1,87	147,29	5,30*	661,71	17,73***	
Trat x Prof	2	0,42	0,13	11,11	0,51	11,09	0,22	18,57	0,67	53,74	1,44	
Erro	12	1,64		2,18		51,30		27,81		37,33		
CV (%)		15,80		14,13		10,73		7,93		9,10		
DP		1,28		1,48		7,16		5,27		6,10		
Umid 0 a 10		8,00		10,39		64,42		63,67 a		61,83 b		
Umid 20 a 30		8,22		10,51		69,09		69,40 b		72,33 a		

\*, \*\*\* = diferentes a 5% e 0,1% de probabilidade pelo teste Tukey, respectivamente

Não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos ou profundidade em nenhuma Estação, exceto para a profundidade no verão (63,67a de 0 a 10 cm e 69,40b de 20 a 30 cm) e primavera (61,83a e 72,33b, respectivamente). Albuquerque *et al.* (2015), trabalhando no Latossolo Distrófico Amarelo Típico, textura franco arenosa, bem drenado, com cinco tipos de sistemas florestais, não encontrou diferenças estatísticas entre profundidades. No presente trabalho, o solo apresenta textura arenosa, cuja capacidade de campo (CC) está entre 5 e 13% (SILVA *et al.*, 1990).

Em todas as estações a camada de 20 a 30 cm estava um pouco mais úmida que a camada superior, exceto para área intermediária no outono e área aberta no inverno. Após a água drenar, as camadas mais profundas tornam-se mais úmidas que as camadas superiores (BERNARDO *et al.*, 2008). Supondo que a CC seja 5%, todas as amostras estavam acima, mas se considerarmos 13%, todos os tratamentos do outono e inverno, estavam abaixo da CC. Se a CC fosse 13%, e a água ainda estivesse percolando, era de se supor que a camada inferior apresentasse uma porcentagem de umidade maior que a camada superior, no mesmo perfil do solo. Se a CC fosse 5%, a movimentação da água já teria cessado seu movimento e as porcentagens de umidade deveriam ser próximas, mas a umidade poderia ser maior em qualquer camada, em função da variabilidade do solo (maior teor de argila, menor diâmetro dos poros etc.), o que aconteceu no presente trabalho.



Nesse estudo, nas estações secas (outono e inverno), as umidades ficaram ao redor de 10%. Nas estações mais úmidas (primavera e verão), as umidades foram superiores a 60%. Em clima temperado existem quatro estações distintas, e a umidade do solo acompanha os dados climatológicos, desta forma, na primeira fase há baixa flutuação da umidade em função da baixa evapotranspiração decorrente fraca insolação e dormência das plantas; na segunda fase há alta precipitação e evapotranspiração em função da alta insolação; na terceira fase predomina a evapotranspiração, e na quarta fase predomina a precipitação, quando há a recarga da umidade do solo. (ILLSTON *et al.*, 2004). Em clima tropical a insolação é a mesma nas quatro estações, portanto não há dormência das plantas.

Quando a plantação de eucalipto é nova, até um ano de idade, a disponibilidade de água no solo é baixa, quando comparado com uma floresta nativa, porque há maior infiltração e evapotranspiração. Entretanto, quando a floresta fecha, as umidades nos eucaliptos são semelhantes às das florestas nativas, e as quantidades de nutrientes também são bastantes parecidas (SILVA *et al.*, 2014).

As disponibilidades hídricas dos solos não afetaram as umidades das madeiras, em nenhuma estação ou compartimento; as umidades da madeira foram próximas. A amplitude máxima, de uma estação para outra nas seis medições foram de 8,66% na umidade do fuste. Bem menor que a amplitude da umidade do solo; que chegou a quase 900% (7,67 no outono e 68,57% na primavera).

As propriedades da madeira são função das respostas fisiológicas ao ambiente, são difíceis de avaliar e interpretar devido a interação de diversos fatores envolvidos no processo (CHAFFEY, 2002; LARSON, 1994). Fichtler e Worbes (2012) avaliaram as características anatômicas e morfológicas de 111 espécies tropicais em função dos dados meteorológicos e acharam correlação fraca entre os dados climatológicos e a arquitetura hidráulica e anatômicas das espécies.

De alguma maneira, as árvores compensaram a diferença de umidade no solo e apresentaram o fuste com baixa oscilação de umidade. Há diversos mecanismos, utilizados pelas espécies de eucaliptos, para manter a umidade na madeira e conseqüentemente a produtividade; dentre eles destacam-se: o aprofundamento do sistema radicular, folhas

pendentes, aumento da espessura das folhas, folhas coriáceas, fechamento dos estômatos, redução da área foliar e da condutância estomática, rápidas trocas gasosas, aumento no teor de açúcares etc. além de mecanismos anatômicos como redução de diâmetro do lume das fibras e vasos etc. (BATTIE LACLAU, 2013; CHIRSTINA *et al.*, 2011; FRANKS *et al.*, 1995; GIBSON *et al.*, 1991; LACLAU *et al.*, 2012; LIMA *et al.*, 2003; NGUGI *et al.*, 2004a; b; ROBINSON *et al.*, 2006; SUDMEYER *et al.*, 2004; WHITE *et al.*, 2002a; b).

### 4.3 Avaliações silviculturais

Foram feitas avaliações silviculturais para verificar se há ou não correlação entre os parâmetros silviculturais com a umidade da madeira. Desta forma, foram avaliados os DAPs para verificar se a competição (número de árvores ao redor da progênie selecionada) influenciava ou não o desenvolvimento individual de cada progênie e na sua umidade natural, bem com o ideótipos de copa e casca (Figura 6).

#### 4.3.1 DAP

Os DAPs foram avaliados em cinco estações, na segunda avaliação (inverno: 16/08/2017), chovia torrencialmente, o que tornou esta operação praticamente impossível. O Teste de normalidade, assimetria e curtose dos DAPs estão na Tabela 12. Na Tabela 13 temos as análises estatísticas, na Tabela 14 as médias e na Tabela 15 as correlações com a umidade da madeira e a Db.

Tabela 12 – Teste de normalidade, coeficiente de assimetria e curtose para os DAPs.

Teste	DAP1	DAP3	DAP4	DAP5	DAP6
Skewness	0,3780	0,2934	-0,1778	0,2092	0,0625
Kurtosis	0,4856	-0,1107	-0,3522	0,1915	0,1817
Shapiro-Wilk	0,9810	0,9862	0,9857	0,9874	0,9931
Probabilidade	0,4366	0,7026	0,6748	0,7705	0,9796

A Tabela 12 mostra que todos os dados provêm de uma população cujos DAPs estavam distribuídos normalmente, bem como os resíduos, desta forma, foram analisados por meio de métodos paramétricos.

Tabela 13 – Análise estatística do DAP em função das progênes.

FV	GL	DAP1		DAP3		DAP4		DAP5		DAP6	
		QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F
Prog	20	9,86	2,52***	9,67	2,01*	9,22	1,20	12,50	1,22	16,87	1,51
Bloco	2	2,84		5,17		1,80		6,96		10,33	
Erro	40	3,91		4,82		7,69		10,27		11,16	
CV (%)		10,91		11,55		13,54		14,94		14,77	
DP		1,98		2,20		2,77		3,20		3,34	

\*, \*\*\* = significativo a 5% e 0,1% pelo teste F

Houve diferenças estatísticas entre os DAPs na primeira (26/04/17) e segunda medições (26/02/18) em função das progênes, conforme a Tabela 14 com a classificação de Tukey.

Na Tabela 14 pode-se notar que a progênie com maior DAP foi a 51 (23,27a) e diferiu estatisticamente das progênes 53, 54, 75, 108 e 138, na primeira avaliação. A variabilidade dentro das progênes foram uma das mais baixas de todas as estações, conforme o desvio padrão (DP). No verão, segunda avaliação, a progênie 51 foi a de maior DAP e diferiu estatisticamente somente da progênie 138. Esta progênie esteve entre as menos produtivas em todas as estações, enquanto que a progênie 51 esteve entre as mais produtivas.

Tabela 14 – Média dos DAPs em cinco Estações, média geral, coeficiente de variação, desvio padrão e teste Tukey a 5% de probabilidade.

Progênes	DAP2	DAP3	DAP4	DAP5	DAP6	Db (kg.cm <sup>-3</sup> )
32	17,40 ab	17,87 ab	17,67	17,87	18,80	528,67
33	17,67 ab	17,97 ab	18,10	18,50	19,33	477,18
51	23,27 a	23,57 a	24,23	24,57	25,13	503,95
52	19,37 ab	19,80 ab	21,27	21,67	22,33	472,73
53	17,03 b	17,80 ab	18,97	19,90	20,10	498,40
54	15,57 b	17,07 ab	19,53	20,80	22,93	421,57
59	18,93 ab	19,83 ab	20,20	24,57	27,20	470,06
75	16,93 b	18,67 ab	19,87	20,20	24,37	420,42
82	17,53 ab	17,97 ab	20,27	22,83	23,40	479,12
85	20,10 ab	21,17 ab	21,97	22,50	22,90	491,13
88	18,07 ab	19,50 ab	19,67	20,57	22,47	505,46
91	18,90 ab	19,60 ab	22,63	23,10	24,00	512,32
92	19,00 ab	19,57 ab	22,03	24,37	26,43	439,26
94	17,53 ab	18,23 ab	20,90	22,63	23,10	500,87
101	17,70 ab	18,13 ab	18,97	20,23	20,97	468,16
108	16,73 b	17,33 ab	19,93	20,03	20,70	444,44
125	17,40 ab	18,70 ab	21,80	21,97	22,57	498,13
133	17,90 ab	18,73 ab	21,73	22,13	22,93	504,23
137	18,43 ab	21,47 ab	21,13	22,53	24,40	482,44
138	14,50 b	15,33 b	17,03	17,47	17,83	505,75
142	20,43 ab	21,03 ab	21,73	21,93	23,10	503,87
Média	18,11	19,02	20,47	21,45	22,62	480,94
CV	10,91	11,55	13,54	14,94	14,77	11,03
DP	1,98	2,20	2,77	3,20	3,34	53,04

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre pelo teste Tukey a 5%

Tabela 15 – Regressões do DAP nas estações do ano, com a umidade natural da madeira por compartimento, e com a densidade básica, eliminando até 20% dos outliers.

Estação	Compartimento	Intercepto	Coef. angular	R <sup>2</sup>	Prob. R
Inverno	Medula2	10,78	0,0525	0,4347	< 0,0001
Inverno	Cerne2	12,03	0,0425	0,2688	< 0,0001
Inverno	Alburno2	11,50	0,0601	0,3986	< 0,0001
Inverno	Total médio2	8,73	0,0734	0,4742	< 0,0001
Primavera	Medula3	11,71	0,0526	0,5987	< 0,0001
Primavera	Cerne3	15,32	0,0266	0,0718	< 0,0001
Primavera	Alburno3	17,27	0,0150	0,0149	< 0,0001
Primavera	Total médio3	9,96	0,0716	0,3648	< 0,0001
Verão	Medula4	17,61	0,0252	0,1328	< 0,0001
Verão	Cerne4	18,74	0,0162	0,0253	< 0,0001
Verão	Alburno4	21,54	-0,0106	0,0124	< 0,0001
Verão	Total médio4	19,51	0,0115	0,0118	< 0,0001
Outono	Medula5	21,96	-0,0041	0,0018	< 0,0001
Outono	Cerne5	22,09	-0,0067	0,0059	< 0,0001
Outono	Alburno5	22,72	-0,0149	0,0339	< 0,0001
Outono	Total médio5	22,28	-0,0089	0,0085	< 0,0001
Primavera	Medula6	20,36	0,0194	0,0911	< 0,0001
Primavera	Cerne6	20,05	0,0218	0,0515	< 0,0001
Primavera	Alburno6	23,55	-0,0084	0,0084	< 0,0001
Primavera	Total médio6	19,02	0,0325	0,0538	< 0,0001
Db	DAP 2	581,16	-5,79	0,1276	< 0,0001
Db	DAP 3	544,53	-3,42	0,0370	< 0,0001
Db	DAP 4	534,10	-2,71	0,0463	< 0,0001
Db	DAP 5	478,29	7,10	0,1122	< 0,0001
Db	DAP 6	558,31	-3,50	0,1407	< 0,0001

De uma maneira geral as regressões apresentaram baixos coeficientes de determinação, sendo melhores para a medula e piores para o alburno. As correlações com a

densidade básica (Db) também foram baixas em todas estações. Além dos fatores genéticos, o manejo e os fatores ambientais interferem na absorção de água pela planta, desta forma, as correlações do DAP com a umidade e densidade básica são baixas em função da grande quantidade de fatores interagindo e influenciando no desenvolvimento das progênies.

#### 4.3.2 Casca

Nas Tabelas 16 temos as análises estatísticas do DAP e umidade em função do ideótipo de casca e na Tabela 17 as médias em função do ideótipo de copa.

Tabela 16 – Análise estatística do DAP e umidade em função do ideótipo de casca das progênies.

FV	GL	DAP			Umidade		
		QM	F	Prob F	QM	F	Prob F
Casca	3	5,73	0,43	0,7325	257,42	0,58	0,6306
Erro	59	13,34			443,97		
CV (%)		16,15			17,16		
DP		3,65			21,07		

Não houve diferenças estatísticas entre os DAPs e umidade natural da madeira em função do ideótipo de casca.



a



b



c



d

Figura 6 – Tipos de casca: a) lisa; b) meia casca; c) farinhenta e d) rugosa.

Tabela 17 – Médias e frequência do DAP e umidade natural da madeira em função do ideótipo de casca das progênies.

Tipo de Casca	Frequência	DAP	Umidade natural
Lisa	4	23,70	131,55
Meia casca	15	21,77	122,75
Farinhenta	36	22,81	123,46
Rugosa	8	22,80	115,30

Em 1992 o IPEF fez um programa de melhoramento do *E. urophylla* com a seleção de 39 progênies de “casca lisa”, chamado no programa de *E. urophylla* var. *platyphylla*, que eram os mais produtivos dentro da espécie. Destas, 14 progênies eram de Flores, 18 de Outras Ilhas e sete de Timor (SANTOS *et al.*, 1992). Scanavaca Júnior (2001) trabalhou com *E. urophylla* de Flores e não encontrou diferenças estatísticas entre as progênies em função do ideótipo de casca. A frequência da “casca lisa” também foi muito baixa naquele trabalho, e o ideótipo “casca farinhenta” não apareceu nas procedências de Flores. Luz (1997) avaliou a produtividade do *E. urophylla* em função do tipo de casca em populações selvagens e melhoradas, aos seis anos de idade. O ideótipo “casca lisa” foi a de menor frequência (7%) e maior produtividade (0,495 m<sup>3</sup>/árvore) nas populações melhoradas. O ideótipo “casca rugosa” (aqui chamado de “farinhenta”) apresentou 28,6% de frequência e produtividade de 0,462 m<sup>3</sup>/árvore. O ideótipo “casca fibrosa” (aqui chamada de “rugosa”) apresentou 64,3% de frequência e 0,428 m<sup>3</sup>/árvore. O ideótipo “meia casca” não foi encontrado naquele experimento (procedências de Flores e Outras Ilhas). A “casca lisa” deve ser reflexo das hibridações introgressivas com o *E. alba*. Payn *et al.* (2007) e House e Bell (1994) acreditam na hibridação porque a diversidade genética das procedências de *E. urophylla* da ilha Flores são bem maiores no DNA nuclear do que era de se esperar e não tão grandes no DNA mitocondrial. Essa maior diversidade traria maior capacidade adaptativa e produtiva, conforme relatos da literatura (HOUSE; BELL, 1994; LUZ, 1997; SANTOS *et al.*, 1992; SCANAVACA JÚNIOR, 2001).

Não houve diferenças estatísticas para a umidade entre os ideótipos de casca. A



variabilidade entre progênies é maior que dentro das progênies para o DAP e o inverso para a umidade, conforme o CV e DP da tabela 16. Na Tabela 18 temos os ideótipos de casca, em função do ideótipo de copa.

Tabela 18 – Frequência do ideótipo de copa em função do ideótipo de casca e médias do DAP (cm) e umidade natural da madeira (%).

Casca	Copa			Total
	Aberta	Intermediária	Fechada	
Lisa	1	1	2	4
Meia casca	2	3	10	15
Farinhenta	1	7	28	36
Rugosa	1	1	6	8
Total	5	12	46	63
DAP médio	24,32	20,08	22,32	22,62
Umidade média	119,26	123,44	122,97	122,77

Na Tabela 18, pode-se observar que predominou a “copa fechada” (46 progênies), seguido pela “copa intermediária” (12 progênies) e com frequência “copa aberta” (5 progênies), mostrando que não há nenhuma tendência de produtividade em função da copa. Também não há relação do ideótipo de copa com a umidade natural da madeira. Isto permite deduzir que não há correlação entre a porcentagem de umidade natural da madeira com o volume da árvore. No *E. urophylla* de Flores com 19 anos, as maiores frequências foram da “copa aberta” e “meia casca”; e as progênies de copa aberta e de casca lisa foram as mais produtivas (SCANAVACA JR., 2001). Wink *et al.* (2012) não acharam correlação do DAP com a copa de *Eucalyptus* spp. aos 20, 44 e 240 meses.

### 4.3.3 Competição (Número de árvores ao redor da progênie selecionada)

Na Tabela 19 temos a análise estatística do DAP e umidade natural da madeira em função da competição, e na Tabela 20 as médias do ideótipo da casca em função da competição (número de árvores ao redor da progênie selecionada).

Tabela 19 – Análise estatística do DAP e umidade natural da madeira em função da competição entre as progênies.

FV	GL	DAP			Umidade		
		QM	F	Prob F	QM	F	Prob F
Competição	4	3,36	0,25	0,9109	937,56	2,34	0,0654
Erro	58	13,64			400,28		
CV (%)		16,33			16,30		
DP		3,69			20,01		

Na Tabela 19 pode-se observar que não houve diferença estatística para o DAP nem para umidade natural da madeira em função da competição, isso é, até o momento a competição entre as progênies não influenciou no desenvolvimento nem na absorção de água das progênies.

Tabela 20 – Frequência do número de árvores ao redor da progênie selecionada em função do ideótipo de casca, médias do DAP (cm) e umidade natural da madeira (%).

Casca	Número de árvores ao redor da progênie selecionada					Total	DAP	Umidade
	0	1	2	3	4			
Lisa	1	3	0	0	0	4	23,70	131,56
Meia casca	3	6	5	1	0	15	21,77	122,75
Farinhenta	8	17	7	3	1	36	22,81	123,46
Rugosa	3	3	2	0	0	8	22,80	115,30
Total	15	29	14	4	1	63	22,62	122,77
DAP	23,27	22,46	22,64	21,40	22,10	22,62		
Umidade	114,57	122,12	124,88	147,98	133,95	122,77		

Na Tabela 20 pode-se notar que a “casca lisa” apresentou o maiores diâmetros médios e umidades naturais médias, e o ideótipo “meia casca”, os menores diâmetros e a casca rugosa a menores umidades. Scanavaca Jr. (2001) encontrou maiores diâmetros, alturas e volume cilíndrico com casca para o ideótipo “casca lisa” e menores no ideótipo “casca rugosa”. O ideótipo “meia casca” foi intermediários para os três parâmetros.

Há um predomínio de áreas abertas com 15 progênies selecionadas sem nenhuma árvore ao seu redor e 29 com apenas uma árvore em sua proximidade. Das 63 árvores selecionadas, somente uma tinha quatro árvores ao seu redor. Nas Tabelas 19 e 20 pode-se notar que a competição até a idade de 9 anos não afetou nem o diâmetro nem a umidade natural da madeira.

#### 4.3.4 Copa

Na Tabela 21 temos as análises estatísticas do DAP e umidade natural da madeira em função da copa (abertura da copa). Na Tabela 22 as frequências dos ideótipos de copa em função da competição, as médias dos DAPs e umidades. Na e na Tabela 23 o DAP e umidade

natural em função da copa e competição e na Tabela 24 as correlações de todas características silviculturais.

Tabela 21 – Análise estatística do DAP e umidade em função da copa das progênes.

FV	GL	DAP			Umidade		
		QM	F	Prob F	QM	F	Prob F
Copa	2	10,60	0,81	0,4487	34,38	0,08	0,9263
Erro	60	13,05			448,30		
CV (%)		15,97			17,25		
DP		3,61			21,17		

Não houve diferenças estatísticas para o DAP nem para a umidade em função do tipo de copa.

Tabela 22 – Frequência do número de árvores ao redor da progênie selecionada em função do tipo de copa, médias do DAP e umidade natural da madeira em função da competição e copa.

Copa	Número de árvores ao redor da progênie selecionada					Total	DAP	Umidade
	0	1	2	3	4			
Aberta	2	1	1	1	0	5	21,42	119,22
Intermediária	2	6	3	1	0	12	20,34	123,44
Fechada	11	22	10	2	1	46	18,93	122,97
Total	15	29	14	4	1	63	22,62	122,77
DAP	23,27	22,46	22,64	21,40	22,10	22,62		
Umidade	114,57	122,12	124,88	147,98	133,95	122,77		

A denominação “copa aberta” aqui significa que a copa apresenta galhos de maior comprimento, mas pode não ser a de maior área foliar porque estas progênes apresentaram

a copa no topo da árvore, com menos de um terço da altura, e a denominada “copa fechada” normalmente apresentaram copas de um a dois terços da altura do fuste da progênie, o que poderia resultar em maior área foliar. A “copa intermediária” normalmente apresentaram um terço do fuste da progênie coberto pela copa, com galhos de comprimentos intermediários entre os outros ideótipos.

Há um predomínio de árvores de “copa fechada” (46), seguida de “intermediária” (12) e, em menor frequência, com a “copa aberta” (5). Se esta característica apresentasse influência ambiental alta, esperava-se contrário, porque predominou progênie com “copa fechada” em áreas abertas (baixa competição), o que nos permite concluir que as arquiteturas das copas das progênie apresentam grande controle genético.

Tabela 23 – Médias do DAP, umidade natural do fuste e densidade básica em função do ideótipo de copa em função do número de árvores ao redor da progênie selecionada, médias, coeficiente de variação e desvio padrão.

Nº de árvore	Tipo de Copa	DAP (cm)	Umidade (%)	Db (kg.m <sup>3</sup> )
0	1	22,85	88,48	500,43
0	2	22,25	110,06	527,26
0	3	23,00	120,10	488,00
1	1	21,40	110,76	458,22
1	2	22,75	124,95	513,07
1	3	22,42	121,86	466,29
2	1	22,50	127,18	589,93
2	2	24,03	130,61	446,99
2	3	22,24	122,93	468,85
3	1	26,00	181,42	411,01
3	2	23,80	119,59	536,83
3	3	17,90	145,50	490,10
4	3	22,10	133,95	551,19
Media		22,62	122,77	480,94
CV		16,15	17,16	11,22
DP		3,65	21,07	53,98

Garcia e Lima (1990) estudaram a variação da umidade em três classes de DAP no *E. grandis* com 20 anos e constataram que o menor teor de umidade e a maior variação foram na classe de maior diâmetro.

No presente trabalho não houve nenhuma correlação, entre o tamanho da copa com o DAP, umidade natural da madeira ou competição com as árvores ao redor da progênie selecionada, provavelmente pela baixa idade do povoamento.

Tabela 24 – Correlação fenotípicas das características silviculturais.

	DAP	Competição	Casca	Copa	Umidade	Db
DAP	1					
Competição	- 0,1013	1				
Casca	- 0,0331	- 0,0144	1			
Copa	- 0,1607	- 0,0422	0,1622	1		
Umidade	0,0925	0,3262**	- 0,1327	0,0334	1	
DB	-0,0446	-0,0316	0,1473	-0,1627	-0,2082	1

\*\* = significativo a 1% de probabilidade

Brasil *et al.* (1979) não encontraram correlações entre a densidade básica e as classes de diâmetros para *E. grandis* com três anos de idade. Berger (2000) trabalhando com *E. saligna* com 12,5 anos de idade, não encontrou correlação da produtividade com o espaçamento e nem com a fertilidade de solo. Meneses *et al.* (2015) acharam correlação negativa entre as características de crescimento (volume em função da precipitação) com a densidade básica para *E. "urograndis"* com quatro, cinco, seis, sete, oito e nove anos de idade. Resultados semelhantes foram encontrados por outros pesquisadores (ALBINO, 1983; KARLSSON *et al.*, 2013; MORAES, 1987; OLIVEIRA *et al.*, 2012; RAIS *et al.*, 2014; RAYMOND; MUNERI, 2001; RIBEIRO; ZANI FILHO, 1993; SETTE JR. *et al.*, 2010; VITAL *et al.*, 1984). Por outro lado, vários pesquisadores acharam correlação positiva (QUILHÓ; PEREIRA, 2001; ROSADO *et al.*, 1983).

Havendo disponibilidade de luz como há no Brasil e outros países tropicais, quanto maior a disponibilidade hídrica, maior a produtividade da floresta (BINKLEY *et al.*, 2002; BOYDEN *et al.*, 2008; STAPE *et al.*, 2004; 2010), entretanto, não é disso que trata o presente trabalho, e sim da distribuição da umidade dentro do fuste, que é regulada por um série de mecanismos ecológicos e fisiológicos, e neste caso, a pequena diferenças de umidade entre os fustes das progênies não foi suficiente para influenciar o desenvolvimento da planta.

Em plantios clonais homogêneos (mesma data de plantio de todos os clones do talhão), a produtividade é 13% maior que nos plantios clonais heterogêneos (com 80 dias de diferença nos plantios dos mesmos clones), em função da maior competição entre os clones homogêneos

(BINKLEY *et al.*, 2010; BOYDEN *et al.*, 2008; STAPE *et al.*, 2010). No presente trabalho, as progênies são providas de sementes, o que resultou numa floresta bastante heterogênea, entretanto não houve diferença entre as progênies para a absorção de água, provavelmente pela baixa competição, conforme a Tabela 24.

De uma maneira geral, todas as correlações foram baixas e não significativas, exceto a competição com a umidade natural da madeira, que apresentou correlação de 0,3262 e significativa à 1% de probabilidade.

#### **4.4 Umidade natural da madeira**

Foram feitas seis avaliações da umidade da madeira, uma em cada estação, sendo três em 2017 e três em 2018. Na Tabela 25 temos os testes de normalidade e na Tabela 26 as análises estatísticas e as médias dos resultados por estação estão nas Tabelas 27 a 32 e na Tabela 33 a média das médias de cada estação.



Tabela 25 – Teste de normalidade, coeficiente de assimetria e curtose para a umidade natural da madeira em todas estações.

Teste	Medula	Outono		26/04/2017	
		Cerne	Alburno	Total médio	
Skewness	- 0,4851	- 0,4548	- 0,6559	- 0,3319	
Kurtosis	- 0,4345	- 0,2065	0,0759	- 0,9760	
Shapiro-Wilk	0,9645	0,9762	0,9780	0,9650	
Probabilidade	0,0657	0,2597	0,3200	0,0703	
		Inverno		16/08/2017	
Skewness	- 0,3432	- 1,1135	0,4145	- 0,3191	
Kurtosis	- 0,4350	1,9273	1,2781	0,3510	
Shapiro-Wilk	0,9793	0,9369	0,9776	0,9864	
Probabilidade	0,3676	0,0830	0,3050	0,7203	
		Primavera		24/11/2017	
Skewness	- 0,5462	- 0,1297	1,1807	- 0,1182	
Kurtosis	0,3063	- 0,5376	1,1350	- 0,5132	
Shapiro-Wilk	0,9739	0,9850	0,9135	0,9857	
Probabilidade	0,2004	0,6404	0,0778	0,6784	
		Verão		26/02/2018	
Skewness	- 0,2511	- 0,4143	- 1,1066	- 0,0517	
Kurtosis	0,3945	0,2919	1,0345	0,0281	
Shapiro-Wilk	0,9849	0,9758	0,9129	0,9823	
Probabilidade	0,6343	0,2485	0,1024	0,5009	
		Inverno		20/06/2018	
Skewness	- 1,0493	1,5230	0,5681	1,1588	
Kurtosis	1,5188	1,2783	1,5793	1,5603	
Shapiro-Wilk	0,9409	0,8786	0,8986	0,9692	
Probabilidade	0,0646	0,0965	0,3050	0,1152	
		Primavera		21/11/2018	
Skewness	- 0,1811	0,1295	0,6264	0,4383	
Kurtosis	1,7485	0,4631	0,4609	0,7108	
Shapiro-Wilk	0,9759	0,9719	0,9886	0,9670	
Probabilidade	0,2527	0,1589	0,1069	0,0887	

Todos os dados atenderam os parâmetros da normalidade, bem como os resíduos; desta forma, foram analisados por meio de métodos paramétricos.

Tabela 26 – Análise estatística da umidade natural da madeira em todas estações.

FV	GL	Medula		Outono		Alburno		Total Médio	
		QM	F	QM	F	QM	F	QM	F
Progênieis	20	895,59	1,45	830,75	2,42**	644,95	1,21	496,39	1,70
Bloco	2	174,82		221,82		1049,68		294,33	
Erro	40	620,43		343,6		531,56		292,04	
CV(%)		19,37		14,19		21,48		13,99	
DP		24,91		18,54		23,06		17,09	
Inverno									
Progênieis	20	830,76	1,83	800,42	1,52	532,94	1,89*	553,04	2,15*
Bloco	2	1073,27		123,04		24,12		249,58	
Erro	40	454,63		527,46		282,34		257,24	
CV (%)	15,68			17,30		16,15		12,91	
DP	21,32			22,97		16,80		16,04	
Primavera									
Progênieis	20	1064,40	1,29	827,80	2,65**	315,40	1,19	445,98	1,90*
Bloco	2	409,91		322,89		670,84		213,41	
Erro	40	828,19		312,39		265,07		234,78	
CV (%)	22,14			13,34		16,32		12,69	
DP	29,78			17,68		16,28		15,32	
Verão									
Progênieis	20	1067,02	1,56	612,91	2,08*	579,76	1,07	433,37	1,72
Bloco	2	754,18		26,44		550,72		3,70	
Erro	40	682,60		294,69		543,48		252,40	
CV (%)		20,85		13,56		24,72		13,77	
DP		26,13		17,67		23,31		15,90	
Inverno									
Progênieis	20	722,25	0,51	622,17	0,88	900,22	1,44	614,12	0,93
Bloco	2	30,67		496,59		2296,95		632,83	
Erro	40	1428,81		706,13		623,63		656,83	
CV (%)		30,29		21,19		25,44		22,07	
DP		37,80		26,57		24,98		25,63	
Primavera									
Progênieis	20	669,59	0,63	308,52	0,62	895,46	2,45*	387,96	1,00
Bloco	2	77,93,5		424,20		109,79		163,55	
Erro	40	1063,96		498,67		365,20		386,90	
CV (%)		26,56		18,19		19,52		17,18	
DP		32,62		22,33		19,11		19,67	

\*, \*\* = significativo a 5 e 1% respectivamente

Tabela 27 – Umidade natural da madeira por progênie e teste Tukey a 5% de probabilidade, média de três árvores, em 26/04/2017 (Outono).

Progênie	Medula	Cerne	Alburno	Total
32	139,02	134,21 abcde	128,54	133,92
33	127,99	121,53 bcdef	88,82	112,78
51	156,80	160,23 a	102,07	139,70
52	146,77	156,69 ab	120,19	141,22
53	114,66	142,17 abcd	115,78	124,21
54	124,76	118,12 cdef	102,71	115,20
59	150,60	142,30 abcd	120,82	137,90
75	146,39	130,63 abcdef	88,67	121,90
82	115,61	133,38 abcdef	101,06	116,68
85	106,18	106,13 def	105,77	106,03
88	155,44	143,81 abc	122,69	140,65
91	107,44	138,93 abcde	121,93	122,77
92	143,74	146,96 abc	121,09	137,27
94	122,99	119,41 cdef	108,51	116,97
101	118,33	128,14 abcdef	115,30	120,59
108	126,85	122,80 bcdef	89,78	113,14
125	100,83	103,22 ef	126,75	110,27
133	133,32	141,99 abcd	106,24	127,18
137	133,24	137,12 abcde	93,98	121,45
138	101,99	97,85 f	76,17	92,01
142	127,55	118,19 cdef	96,80	114,18
Média	128,59	130,66	107,32	122,19
DP	23,36	22,29	24,18	18,92

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre pelo teste Tukey a 5%

Tabela 28 – Umidade natural da madeira por progênie e teste Tukey a 5% de probabilidade, média de três árvores, média geral e desvio padrão em 16/08/2017 (Inverno).

Progênies	Medula	Cerne	Alburno	Total
32	135,14	136,61	124,09 ab	131,95 abcd
33	120,25	123,49	99,68 abc	114,47 bcd
51	163,86	157,85	103,17 abc	141,63 ab
52	156,52	146,39	114,49 abc	139,13 ab
53	146,52	139,48	102,66 abc	129,55 abcd
54	134,76	128,93	82,77 c	115,48 abcd
59	141,95	146,03	129,35 a	139,11 ab
75	131,97	126,21	98,53 abc	118,91 abcd
82	144,72	143,93	105,95 abc	131,53 abcd
85	112,32	104,96	86,66 c	101,31 d
88	146,38	142,24	93,68 bc	127,44 abcd
91	141,83	139,95	125,01 ab	135,60 ab
92	157,47	157,98	126,20 ab	147,22 a
94	120,78	121,14	97,51 abc	113,14 bcd
101	128,76	138,97	104,09 abc	123,94 abcd
108	129,08	118,17	83,91 c	110,38 bcd
125	106,50	102,54	101,42 abc	103,48 cd
133	146,36	149,24	106,88 abc	134,16 abc
137	148,34	136,55	98,65 abc	127,84 abcd
138	101,24	105,12	96,26 abc	100,87 d
142	140,34	121,98	104,43 abc	122,25 abcd
Média	135,96	132,75	104,07	124,26
DP	24,41	24,55	18,84	18,77

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre pelo teste Tukey a 5%

Tabela 29 – Umidade natural da madeira por progênie e teste Tukey a 5% de probabilidade, média de três árvores, média geral e desvio padrão em 24/11/2017 (Primavera).

Progênie	Medula	Cerne	Alburno	Total
32	141,20	132,66 abcde	114,40	129,42 abcd
33	116,71	115,05 cde	99,07	110,28 bcde
51	147,08	157,62 a	101,17	135,29 ab
52	153,87	142,38 abc	103,03	133,10 abc
53	104,39	153,24 ab	116,54	124,72 abcde
54	110,82	123,59 abcde	79,91	104,77 cde
59	134,41	139,87 abcd	114,54	129,61 abcd
75	140,20	128,69 abcde	89,86	119,58 abcde
82	125,06	135,35 abcde	99,49	119,97 abcde
85	107,46	101,80 e	95,80	101,69 de
88	155,71	151,98 ab	88,12	131,93 abcd
91	111,53	141,64 abc	107,52	120,23 abcde
92	161,65	151,99 ab	113,02	142,22 a
94	137,06	120,54 bcde	96,62	118,07 abcde
101	125,17	138,77 abcd	112,76	125,57 abcde
108	121,18	126,67 abcde	90,36	112,73 abcde
125	113,12	105,34 de	91,44	103,30 cde
133	144,92	144,40 abc	93,33	127,55 abcd
137	147,53	139,74 abcd	94,76	127,34 abcd
138	94,71	101,66 e	90,50	95,62 e
142	136,15	128,69 abcde	102,46	122,43 abcde
Média	129,30	132,46	99,75	120,74
DP	29,85	21,89	17,16	17,38

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre pelo teste Tukey a 5%

Tabela 30 – Umidade natural da madeira por progênie e teste Tukey a 5% de probabilidade, média de três árvores, média geral e desvio padrão em 26/02/2018 (Verão).

Progênies	Medula	Cerne	Alburno	Total
32	144,76	129,97 abcde	111,51	128,75
33	121,53	119,29 bcde	102,14	114,32
51	137,62	152,21 ab	94,85	128,23
52	114,93	142,85 abc	107,38	121,72
53	145,74	132,61 abcde	89,8	122,72
54	105,24	118,24 bcde	74,73	99,41
59	128,58	136,46 abcd	71,78	112,28
75	130,29	122,71 abcde	81,33	111,44
82	136,52	135,78 abcd	70,97	114,43
85	106,35	105,88 de	89,06	100,43
88	143,70	131,09 abcde	102,46	125,75
91	118,79	139,18 abcd	119,09	125,68
92	147,46	153,25 a	116,16	138,96
94	119,71	115,31 cde	93,47	109,50
101	117,90	124,99 abcde	103,61	115,50
108	82,49	119,23 bcde	88,06	96,60
125	99,11	106,04 de	86,46	97,20
133	149,00	127,63 abcde	88,8	121,81
137	144,52	132,63 abcde	90,85	122,67
138	101,14	101,64 e	87,57	96,78
142	136,64	112,01 cde	110,17	119,61
Média	125,33	126,62	94,30	115,42
DP	28,44	19,72	23,57	17,40

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre pelo teste Tukey a 5%

Tabela 31 – Umidade natural da madeira por progênie, média de três árvores, em 21/06/2018 (Inverno).

Progênie	Medula	Cerne	Alburno	Total
32	149,33	132,4	115,11	132,30
33	110,37	124,14	95,96	110,16
51	83,94	82,80	59,03	75,28
52	130,06	131,21	107,68	122,98
53	104,47	133,92	114,62	117,67
54	154,57	151,48	115,61	140,55
59	125,77	129,83	97,33	117,65
75	121,59	116,18	93,74	110,50
82	131,11	132,29	102,51	121,97
85	126,26	127,25	98,13	117,21
88	128,27	137,52	109,95	125,25
91	140,81	134,23	140,31	138,45
92	138,57	144,13	109,29	130,66
94	124,39	119,68	85,41	109,83
101	119,03	108,72	104,48	110,74
108	118,45	121,79	80,88	107,04
125	119,62	116,03	89,83	108,49
133	120,46	114,15	84,53	106,38
137	128,82	126,03	83,51	112,79
138	109,28	114,01	76,55	99,95
142	135,60	135,20	97,13	122,64
Média	126,80	125,38	99,18	116,12
DP	34,00	25,93	27,69	25,34

Tabela 32 – Umidade natural da madeira por progênie e teste Tukey a 5% de probabilidade, média de três árvores, média geral e desvio padrão em 21/11/2018 (Primavera).

Progênies	Medula	Cerne	Alburno	Total
32	124,04	134,13	137,98 a	132,05
33	119,13	109,20	99,72 bcde	109,35
51	115,29	128,43	104,18 abcde	115,96
52	115,30	131,40	118,40 abc	121,70
53	129,81	125,10	93,05 bcde	115,99
54	160,99	147,00	118,59 abc	142,19
59	140,55	129,33	97,48 bcde	122,45
75	84,86	111,66	92,36 bcde	96,30
82	135,55	125,05	93,96 bcde	118,19
85	132,61	126,68	96,90 bcde	118,73
88	131,85	112,55	81,44 cde	108,61
91	109,72	130,05	112,54 abcd	117,44
92	130,13	134,06	125,02 ab	129,74
94	115,13	110,77	90,13 bcde	105,34
101	115,06	114,33	103,50 abcde	110,96
108	128,34	124,76	81,12 cde	111,40
125	124,36	119,65	93,08 bcde	112,36
133	116,44	111,16	66,80 e	98,14
137	108,64	108,98	75,48 de	97,70
138	113,34	124,87	81,22 cde	106,48
142	127,93	118,92	91,92 bcde	112,92
Média	122,81	122,77	97,85	114,48
DP	30,08	20,86	22,98	19,49

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre pelo teste Tukey a 5%



Tabela 33 – Média da umidade natural da madeira por compartimento e estação, média geral e desvio padrão.

Estação	Medula	Cerne	Alburno	Total Médio
Outono	128,54	130,66	107,32	122,19
Inverno	135,96	132,75	104,07	124,26
Primavera	129,30	132,46	99,75	120,74
Verão	125,33	126,62	94,30	115,42
Inverno	126,80	125,38	99,18	116,12
Primavera	122,81	122,77	97,85	114,48
Média	128,12	128,44	100,41	118,87
DP	4,49	4,11	4,63	4,06

Na primeira avaliação (outono), houve diferenças estatísticas entre as progênes no cerne. A progênes 51 foi a mais úmida e a 138 a menos úmida. O cerne foi mais úmido que a medula e está por sua vez, foi mais úmida que o alburno. As variações dentro das progênes foram bastante semelhantes conforme o desvio padrão (DP).

Na segunda avaliação houve diferença estatística entre as progênes no alburno e total médio. O alburno foi o compartimento mais seco e menos variável dentro das progênes.

Na terceira avaliação houve diferença estatística no cerne e total médio. O cerne foi o compartimento mais úmido e o alburno o mais seco. As variabilidades dentro das progênes também foram menores no alburno.

Na quarta avaliação houve diferença estatística no cerne que foi o compartimento mais úmido e com menor variabilidade.

Na quinta avaliação não houve diferença estatística entre os compartimentos e na sexta avaliação houve diferença estatística no alburno, que foi o compartimento mais seco.

As progênes 52, 51,59 e 91 (procedentes de Turmalina e Timóteo, MG) e 92 (procedente de Avaré, SP), sempre estiveram entre as mais úmidas, e as progênes 85, 54 (procedentes de Turmalina e Timóteo, MG), 138 e 125 (procedentes de Ipatinga, MG), e 94

(procedente de Avaré, SP), entre as mais secas, isto é, o controle genético é baixo e o ambiental alto. A umidade da madeira sofre bastante influência ambiental porque é uma adaptação ecológica as condições climáticas (CARLQUIST, 2001; GOULART; MARCATI, 2008; LONGUI *et al.*, 2012; MACARTI *et al.*, 2001).

Houve diferenças estatísticas entre os compartimentos em algumas estações, mas no geral variaram muito pouco em relação as precipitações e umidade do solo. Hillis (1978) estudou a variação radial da umidade em *E. camaldulensis* com 18 a 20 anos de idade e constatou que a umidade na medula foi 103%, no cerne 80% e no alburno 92%. No *E. regnans* com 23 anos de idade, foram encontrados 135% de umidade na medula e 118% no alburno. No *E. viminalis* com 40 a 46 anos de idade, foram encontrados 103% de umidade na medula, 113% no cerne e 94% no alburno.

A umidade natural da madeira pode variar nas diferentes partes do fuste, mas a variação entre as diferentes estações do ano é desprezível (KOLLMANN; COTÉ, 1984).

A variação de umidade nos compartimentos da madeira entre as estações do ano foi inferior a 8%. As umidades dos solos variaram de 7,57 a 68,57%, mas também não diferiram estatisticamente nas estações.

A madeira juvenil é composta por células que não amadureceram completamente pela prolongada influência do meristema apical no câmbio lateral nos primeiros anos de vida e é influenciado pelo ambiente, desta forma, é a região central da base até a copa da árvore, compondo parte do cerne ou alburno da árvore, em função da altura do fuste que estamos trabalhando (BENDTESEN, 1978; BENDTESEN; SENFT, 1986; KRAMER; BOYER, 1995; ZOBEL; BUIJTENEN, 1989). Como a madeira é juvenil, houve pouca deposição de extrativos no cerne, o que permite a árvore utilizar todo seu fuste para armazenamento de água.

Em todas as estações, o alburno foi o compartimento menos úmido. Isso pode ter acontecido pela perda de umidade em função da maior quantidade de vasos e ausência de extrativos no alburno. As baguetas foram embaladas em sacos plásticos que foram fechados e colocados no isopor, levados para o laboratório e avaliados no mesmo dia, mas pode ter ocorrido a saída da água no compartimento mais permeável. Se isso aconteceu, o erro foi padronizado, porque o mesmo procedimento foi utilizado em todas as avaliações (Figura 7).

A movimentação de água acima do PSF varia de 5 a 8 vezes, e abaixo do PSF varia de 10 a 15 vezes, maior na direção axial ou longitudinal. Por sua vez, o fluxo da umidade na direção radial é de 20 a 50% superior à direção tangencial (KOLLMANN; CÔTÉ, 1984). A maior parte da umidade é removida da madeira pelo movimento lateral durante a secagem (LANGRISH; WALKER, 1993). Na direção transversal, o raio é mais importante para o fluxo de água (AHMED; CHUN, 2011; ESTEBAN *et al.*, 2003; KEDROV, 2012). Na movimentação de água absorvida, os elementos mais importantes são a frequência dos poros e raios, largura da fibra e diâmetro do lume da fibra. Os elementos que mais dificultam esta movimentação são os diâmetros e comprimentos dos vasos, comprimento da fibra, diâmetro da pontuação intervascular e diâmetro da pontuação do raio com o vaso (MONTEIRO *et al.*, 2017). No alburno, os vasos e raios são maiores que no cerne. Em espécies de poros difusos, a condutividade hidráulica é maior no alburno que no cerne (TYREE; ZIMMERMANN, 2002).

Em madeiras maduras, no cerne, há maior quantidade de lignina e extrativos, que são hidrofóbicos. Os vasos podem estar bloqueados por tiloses; desta forma, em madeiras maduras, espera-se encontrar menor teor de umidade (BURGER; RICHTER, 1991; GALVÃO; JANKOWSKY, 1985; KEEY *et al.*, 2000; MORESCHI, 2014; SILVA; TRUGILHO *et al.*, 2003). A pouca idade não permitiu a deposição de grandes quantidades de extrativos, como pode ser observado na foto 7a, b, c, d, em que a madeira apresentou uma só tonalidade.

Em coníferas, a umidade da madeira é três vezes maior no alburno (148,90%) que no cerne (55,40%). Em folhosas não há uma diferença muito marcante, o cerne apresentou 81,4% de umidade e o alburno 82,7% (SKAAR, 1988). Ananías *et al.* (2014) trabalhando com *E. nitens* com 17 anos de idade, encontraram umidade natural da madeira maior na medula 180 % (173 a 200%) que no cerne 147% (133 a 156%) e alburno 146% (132 a 157%).

A literatura mostra que não há um padrão definido para nenhuma espécie, mostrando que é possível qualquer um dos compartimentos apresentar teor de umidade superior. O cerne apresentou teor de umidade superior em quatro estações e a medula em duas estações. Isso deve ser estratégia adaptativa; havendo disponibilidade hídrica, a árvore armazenará água onde for possível; isto é, no cerne e medula, uma vez que o alburno é utilizado no transporte de água para a copa para a realização da fotossíntese.



a



b



c



d

Figura 7 – Bagueta para avaliação da umidade natural da madeira, onde: a) retirada da bagueta da árvore; b) embalagem e identificação da progênie; c) corte da bagueta em segmentos de 2 cm para pesagem e d) amostras cortadas, pesadas e embaladas novamente para secagem e pesagem seca.

#### 4.5 Herdabilidade da umidade natural da madeira

Nas estações e compartimentos em que houve diferenças estatísticas entre as progênies foi calculada as variâncias por meio do Proc mixed do SAS, testando diversos modelos de matriz de covariância para saber qual a melhor estimativa. Os resultados destas estimativas estão nas Tabelas 34 a 40.

Tabela 34 - Variâncias em função do modelo para o cerne1 no Proc mixed do SAS modelo REML testando diversos modelos de matrizes de covariância.

M covariância*	Variância da Progênes	Variância do Erro	Rep x Prog	AIC**
CS	162,39	181,21	0,5899	553,40
Toep	295,33	0,0048	-6,7570	552,99
VC	162,35	0,9976	343,62	553,40
HF	588,65	0,6119	279,79	553

\* CS= Matriz de Simetria Composta; Toep = Toeplitz; VC = Componentes de Variância; HF = Huynh-Feldt.

\*\* Critério de Informação Akaike.

Tabela 35 - Variâncias em função do modelo para o alburno2 no Proc mixed do SAS modelo REML testando diversos modelos de matrizes de covariância.

M covariância*	Variância da Progênes	Variância do Erro	Rep x Prog	AIC**
CS	83,5314	198,81	0,6472	536,70
Toep	228,93	0,01468	2,5785	533,54
VC	83,5083	0,9968	281,36	536,70
HF	456,76	1,9891	231,01	533,54

\* CS= Matriz de Simetria Composta; Toep = Toeplitz; VC = Componentes de Variância; HF = Huynh-Feldt.

\*\* Critério de Informação Akaike.

Tabela 36 - Variâncias em função do modelo para o total médio2 no Proc mixed do SAS modelo REML testando diversos modelos de matrizes de covariância.

M covariância*	Variância da Progênes	Variância do Erro	Rep x Prog	AIC**
CS	98,5987	158,65	0,5164	533,70
Toep	214,69	-6,2407	0,01374	531,88
VC	98,5701	0,9967	256,26	533,70
HF	429,33	0,4463	217,21	531,88

\* CS= Matriz de Simetria Composta; Toep = Toeplitz; VC = Componentes de Variância; HF = Huynh-Feldt.

\*\* Critério de Informação Akaike.

Tabela 37 - Variâncias em função do modelo para o cerne3 no Proc mixed do SAS modelo REML testando diversos modelos de matrizes de covariância.

M covariância*	Variância da Progênes	Variância do Erro	Rep x Prog	AIC**
CS	171,80	140,59	0,4576	549,60
Toep	265,89	0,01697	-8,6392	550,36
VC	171,76	311,41	0,9976	549,60
HF	547,18	0,5688	276,78	550,36

\* CS= Matriz de Simetria Composta; Toep = Toeplitz; VC = Componentes de Variância; HF = Huynh-Feldt.

\*\* Critério de Informação Akaike.

Tabela 38 - Variâncias em função do modelo para o total médio3 no Proc mixed do SAS modelo REML testando diversos modelos de matrizes de covariância.

M covariância*	Variância da Progênes	Variância do Erro	Rep x Prog	AIC**
CS	70,3996	164,38	0,5351	525,80
Toep	178,46	0,04420	-0,6481	522,66
VC	70,3761	0,9961	233,80	525,80
HF	380,29	1,5811	192,33	522,66

\* CS= Matriz de Simetria Composta; Toep = Toeplitz; VC = Componentes de Variância; HF = Huynh-Feldt.

\*\* Critério de Informação Akaike.

Tabela 39 - Variâncias em função do modelo para o cerne4 no Proc mixed do SAS modelo REML testando diversos modelos de matrizes de covariância.

M covariância*	Variância da Progênes	Variância do Erro	Rep x Prog	AIC**
CS	106,07	188,62	0,6140	541,20
Toep	249,28	0,004032	-4,0848	539,01
VC	106,05	0,9970	293,71	541,20
HF	488,41	0,5077	247,11	539,01

\* CS= Matriz de Simetria Composta; Toep = Toeplitz; VC = Componentes de Variância; HF = Huynh-Feldt.

\*\* Critério de Informação Akaike.

Tabela 40 - Variâncias em função do modelo para o alburno6 no Proc mixed do SAS modelo REML testando diversos modelos de matrizes de covariância.

M covariância*	Variância da Progênes	Variância do Erro	Rep x Prog	AIC**
CS	176,75	188,45	0,6134	557,40
Toep	314,89	0,005087	-10,2433	557,12
VC	176,72	0,9978	364,22	557,40
HF	627,72	0,6625	317,55	557,12

\* CS= Matriz de Simetria Composta; Toep = Toeplitz; VC = Componentes de Variância; HF = Huynh-Feldt.

\*\* Critério de Informação Akaike.

Analisando as Tabelas 34 a 40 pode-se notar que a matriz de covariância do Toep apresentou-se inadequada em seis avaliações, coeficiente negativo, sendo que no Método REML de predição da herdabilidade impõem a restrição de não negatividade para os parâmetros de herdabilidade. As demais matrizes são elegíveis com valores bastante próximos do AIC, sendo que se considera a melhor estimativa aquela que apresentar menor IAC (MARCELINO, 2000). Entretanto, segundo Perri (1998), este não deve ser o único critério para a tomada de decisão, a natureza dos dados e experiência do pesquisador também devem ser levadas em consideração.

As matrizes dos tipos VC e CS apresentaram as menores variâncias das progênes, é valores bastante próximos, enquanto do no HF os valores foram bem mais altos que dos outros tipos. A variância do erro foi alta para CS e baixas para VC e HF, enquanto que para a interação progênie x bloco, ocorreu o inverso. Como a umidade natural das progênes é uma característica muito influenciada pelo ambiente, presume-se que o tipo CS seja a melhor estimativa da herdabilidade destas características. Desta forma, os resultados da QM foram utilizados nas fórmulas (8), (9), (10) e (11), para o cálculo das herdabilidades, conforme propostas de Vencovsky e Barriga (1992).

Tabela 41 – Herdabilidades da umidade natural da madeira, acurácia, coeficiente de variação genética e relativo (coeficiente  $\bar{b}$ ), nos diferentes compartimentos do fuste e nas diferentes estações em que houve diferenças estatísticas entre as progênes para esta característica.

Compartimento	Progênes	Prog x Bloco	Erro	Acurácia	CV <sub>g</sub>	$\bar{b}$
Cerne1	207,69	193,60	181,21	14,41	69,34	4,89
Albruno2	133,23	212,40	198,81	11,54	76,08	4,71
Total médio 2	138,26	169,49	158,65	11,76	60,71	4,70
Cerne3	206,95	150,20	140,59	14,39	53,80	4,03
Total médio 3	111,49	175,62	164,38	10,56	62,90	4,96
Cerne4	153,23	201,52	188,62	12,39	72,18	5,09
Albruno6	223,86	201,33	188,45	14,96	72,11	50,8

A competição entre progênes pode diminuir a herdabilidade (LEONARD CZ NETO *et al.*, 2003), mas não foi o caso neste experimento porque as avaliações silviculturais mostraram não haver influência da competição no DAP ou na umidade natural da madeira. As herdabilidades das progênes foram médias para o cerne1, cerne3, cerne4 e albruno6 e baixas para o albruno2, total médio2, total médio3 (RESENDE, 2002b; RESENDE *et al.*, 1995).

A herdabilidade média das progênes é mais precisa que dentro de progênes porque minimiza os erros (HENRIQUES *et al.*, 2017; MACEDO *et al.*, 2013; VENCOSKY; BARRIGA, 1992).

De uma maneira geral, as herdabilidades são baixas, a maior parte está na interação das progênes com os blocos, seguida pelas progênes e a menor parte nos erros, isto é, a variabilidade entre as progênes neste experimento é maior que dentro das progênes, o que revela a individualidade de cada programa de melhoramento das empresas participantes. Indica também que esta característica não foi de interesse de nenhuma empresa, e

consequentemente não foi manipulada por nenhuma empresa, havendo possibilidade de melhoramento.

Os coeficientes de variação genética ( $CV_g$ ) foram altos em todas as estações e compartimentos, consequentemente o cociente  $b$  ( $CV_g/CV$ ) também foi elevado, confirmando a possibilidade de melhoramento. O  $CV_g$  reflete a variabilidade do parâmetro na progênie e o  $b$  a variação deste parâmetro em relação a variabilidade ambiental, desta forma, se for maior que um, indica que a variabilidade genética, provavelmente herdabilidade dominante, é maior que a ambiental (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

#### 4.6 Propriedades físicas e mecânicas das madeiras verdes

Foram determinadas as propriedades mecânicas da madeira úmida. Normalmente calcula-se as propriedades da madeira com 12% ou 15% de umidade, que é a faixa de umidade mais comum na região Sudeste do Brasil. Entretanto, se as estruturas de madeira forem expostas as intempéries ou submersas, a umidade pode subir drasticamente. As análises das propriedades mecânicas das madeiras verdes estão nas Tabelas 42 a 45.

Tabela 42 – Teste de normalidade, coeficiente e assimetria e curtose, para as propriedades mecânicas das madeiras verdes.

Teste	Umidade	Cisalhamento	Compressão	MOR	MOE	Dapar
Skewness	0,1232	0,0849	- 0,2627	0,7200	0,5557	0,0621
Kurtosis	- 0,7761	- 0,0293	1,1919	- 0,3986	-0,2524	-0,5583
Shapiro-Wilk	0,9786	0,9855	0,9431	0,9598	0,9650	0,9854
Probabilidade	0,3624	0,6883	0,0680	0,1546	0,0962	0,6836

Como todos os dados apresentam distribuição normal, bem como seus resíduos, foram analisados por meio de métodos paramétricos. As análises estatísticas das propriedades mecânicas das madeiras verdes estão nas Tabelas 43, na Tabela 44 temos as médias e na Tabela



45 as correlações.

Tabela 43 – Análise estatística das propriedades mecânicas das madeiras verdes e teste Tukey a 5% de probabilidade.

FV	GL	Compressão		Cisalhamento		MOR		MOE		Dens. aparente	
		QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F
Prog	20	30,65	1,21	2,65	0,96	95,32	1,45	10685263,1	0,72	16617,52	2,19*
Bloco	2	68,04		10,31		4,27		37675931,1		8145,64	
Erro	38	25,26		2,76		65,63		14803152,5		7576,57	
CV(%)	60	18,38		16,90		21,77		41,21		10,75	
DP		5,32		9,82		8,58		3804,64		103,04	

\* = significativo a 5%

Não houve diferenças estatísticas para nenhuma das propriedades mecânicas, mas para a densidade aparente nas madeiras verdes houve. A madeira juvenil ou de transição apresenta muita variação nas dimensões dos elementos anatômicos como o MFA e o comprimento da fibra, mascarando as possíveis diferenças entre as progênies. Os dados médios destas propriedades e o teste Tukey a 5% estão na Tabela 44.

O teor de umidade acima do PSF não afeta as propriedades físicas e mecânicas da madeira porque a água livre se localiza nos espaços intercelulares. Abaixo do PSF, quanto maior a quantidade de água (água de absorção), menor a resistência da madeira (PANSKIN, ZEEUW, 1980; STANGERLIN *et al.*, 2009). Entretanto, esta escala não é linear: a cada 1% de umidade diminuído na madeira abaixo do PSF, as compressões paralelas às fibras aumentam 6%, no cisalhamento são 3%, no MOE 2% e no MOR são 4% (BODIG; JAYNE, 1993).

Tabela 44 – Média das propriedades mecânicas das madeiras verdes por progênies, teste Tukey a 5%, média geral e desvio padrão.

Prog	Umid (%)	Comp (MPa)	Cisal (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	Dapar (Kg.m <sup>-3</sup> )
32	66,00	27,70	9,30	38,23	7839,82	829,32 abc
33	79,02	26,23	9,13	29,90	8136,85	724,24 bcd
51	57,16	30,73	10,71	39,37	8776,99	623,87 d
52	40,36	25,80	9,13	38,21	9142,61	815,16 abc
53	71,51	25,67	8,34	34,57	7250,97	775,91 abcd
54	72,92	21,87	9,85	45,10	8234,75	741,17 abcd
59	78,06	25,00	9,97	31,17	9309,83	697,16 cd
75	50,34	25,80	9,21	36,97	8541,12	748,16 abcd
82	74,71	27,20	9,74	37,00	8497,88	914,01 a
85	71,74	28,23	8,80	35,10	8086,76	918,57 a
88	81,08	30,85	12,07	52,10	1310,23	846,31 abc
91	80,74	27,97	9,94	30,30	13569,73	903,77 ab
92	60,49	28,30	9,52	36,30	13004,57	893,98 ab
94	56,22	33,13	8,16	39,23	10497,04	850,09 abc
101	60,11	28,03	10,03	36,63	8959,46	853,28 abc
108	76,14	25,37	8,22	34,27	11586,14	783,98 abcd
125	55,68	28,83	11,30	35,07	8401,37	836,20 abc
133	52,36	25,03	9,85	34,17	8032,78	839,42 abc
137	64,59	27,60	12,69	39,90	9703,43	791,45 abcd
138	51,15	30,03	10,27	47,27	11038,22	799,58 abc
142	46,12	25,40	10,56	35,90	5576,67	832,89 abc
Média	64,23	27,34	9,82	37,21	9335,06	809,67
DP	21,50	5,32	1,71	8,58	3804,64	103,04

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre pelo teste Tukey a 5%

Tabela 45 – Correlações da porcentagem de umidade no corpo de prova, densidade aparente ou massa específica aparente com as propriedades mecânicas das madeiras verdes e destas entre si.

	Umidade	Compressão	Cisalhamento	MOR	MOE	Dapar
Umidade	1					
Compressão	-0,4331***	1				
Cisalhamento	-0,2892*	0,3623**	1			
MOR	-0,3344**	0,4645***	0,2761*	1		
MOE	-0,1007	0,3432**	0,1963	0,3803**	1	
Dapar	0,2544*	0,3874**	0,3310**	0,2075	0,2218	1

\*, \*\*, \*\*\* = significativo a 5, 1 e 0,1% respectivamente

A porcentagem de umidade tem correlação negativa com as propriedades mecânicas da madeira, isto é, quanto mais seca a madeira, abaixo do PSF, maiores os valores destas propriedades (Tabela 45). A umidade apresenta correlação positiva com a densidade aparente porque a água é mais densa que a madeira do *E. urophylla*. Dias e Lahr (2004) não acharam correlação entre as propriedades mecânicas de 40 espécies brasileiras com a densidade aparente. A densidade aparente, nesse caso, com umidade média de 64,23%, apresentou correlação positiva com as propriedades mecânicas, isto é, quanto maior a densidade, mais altos os valores destas propriedades, como era de se esperar.

A compressão tem correlação baixa e positiva com a flexão estática e o cisalhamento, sendo um pouco melhor para o MOR.

O cisalhamento, que é mais influenciado pelas espessuras das paredes das fibras, apresentou a mais fraca correlação com a flexão.

As flexões apresentaram correlações ruins em função da umidade e por se tratar de madeira de transição.

Hein e Lima (2012) avaliaram a influência do MFA nas probabilidades mecânicas da madeira de *E. grandis* com 78 meses de idade. O MFA foi responsável por 44% na variação do MOE e 27% no MOR.

#### 4.7 Propriedades físicas das madeiras secas

Os corpos de prova foram secos em ambiente controlado com 21º C e 65% de UR. As umidades ficaram entre 10 e 20%, e foram corrigidos para 12% de umidade para o cálculo das propriedades mecânicas, conforme a ABNT/NBR (1997). As análises estatísticas das propriedades físicas das madeiras secas estão nas Tabelas 46 e 47 e as médias por progênie na Tabela 48.

Tabela 46 – Teste de normalidade, coeficiente de assimetria e curtose das propriedades físicas das madeiras secas.

Teste	RT	RR	RL	RV	IA	Db
Skewness	0,0876	0,3254	0,3596	0,0381	1,7080	0,0189
Kurtoses	1,4038	-0,3329	-1,1851	-0,1980	1,2163	-0,4782
Shapiro-Wilk	0,9754	0,9700	0,9175	0,9903	0,8639	0,9860
Probabilidade	0,2526	0,1402	0,0678	0,9131	0,1840	0,7109

Todas as propriedades físicas apresentaram aderência a curva da normalidade, assim como os resíduos; desta forma, foram analisadas por meio de métodos paramétricas.

Tabela 47 – Análise estatística das retratilidades, índice anisotrópico e Db da madeira.

FV	RT		RR		RL		RV		IA		Db		
	GL	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F
Prog	20	4,60	0,91	6,43	1,05	0,1140	1,44	17,05	1,02	0,77	1,24	2516,82	0,89
Bloco	2	1,00		0,93		0,0172		11,33		0,83		7385,03	
Erro	38	5,07		6,10		0,0792		16,38		0,62		2812,97	
CV (%)	60	21,99		38,80		59,62		23,34		42,70		11,03	
DP		2,19		6,36		0,47		4,04		0,83		53,50	

Não houve diferenças estatísticas para nenhuma medida da retratibilidade, nem para a

densidade básica, provavelmente porque estamos trabalhando com material de transição e as dimensões anatômicas são bastante variáveis de modo a mascarar as possíveis diferenças entre as progênies. Os CV refletem isso; desta forma, para a RL o elemento mais influente é o comprimento da fibra, que também é o elemento anatômico com maior variabilidade, resultando no maior CV. Na RR, a característica mais importante é a espessura da parede da fibra, resultando no segundo maior CV, porque as espessuras das fibras aumentam consistentemente da medula para casca. Para a RT, são importantes a espessura da fibra e o diâmetro dos vasos e raios, que não variam muito em espessura e comprimento, diminuindo o CV em relação a RR. Para a RV, os principais componentes são a RT ( $\pm 60\%$ ) e RR ( $\pm 39\%$ ); como a RT é mais influente, o CV reduziu consideravelmente. Para o IA, relação entre RT e RR, o valor também foi alto porque, enquanto as espessuras das paredes das fibras aumentam consistentemente da medula para a casca, aumentando o RR, os diâmetros e as alturas dos vasos e raios praticamente permanecem constante, o RT permanece constante, o que diminui o IA, e eleva o CV. Para a densidade básica todos os elementos e dimensões são computados, resultando num CV mais coerente porque a densidade básica aumenta consistentemente com a idade, reflexo do aumento das dimensões das fibras, que guardam as mesmas proporções com a idade da árvore.

Madeira juvenil apresenta baixa proporção de celulose e alta proporção de hemiceluloses e lignina (KIRK *et al.*, 1972). A madeira juvenil apresenta células menores que as madeiras adultas. Em coníferas são três a quatro vezes menores, e nas folhosas, duas vezes menores. As paredes das fibras ou traqueídeos da madeira juvenil também são mais finas e mais curtas, e o diâmetro do lume é maior, conseqüentemente, a densidade básica e a resistência mecânica também são menores na madeira juvenil (HAYGREEN; BOWYER, 1995; PANSHIN; ZEEUW, 1980; SMITH; BRIGGS, 1986).

Souza *et al.* (2017) avaliaram *E. cloeziana*, *E. saligna*, *E. pilularis* e *C. maculata* com 37 anos. A idade de transição para o *E. cloeziana* foi de 14 anos para a estabilização do comprimento da fibra, e 20 anos para estabilização do MFA. Para o *E. pilularis* foram respectivamente, 16 e 17 anos. Para o *E. saligna*, 8 e 15 anos, respectivamente, e para o *C. maculata*, 7 e 22 anos, respectivamente.

Ramos *et al.* (2011) trabalharam com *E. grandis* com 23 anos de idade e constataram por meio das características anatômicas (dimensões das fibras e MFA), que a transição da juvenil para adulta vai dos 5 a 11 anos. Para Ladrach (1986) a transição no *E. grandis* acontece dos 4 aos 7 anos e para Bhat *et al.* (1990) é dos 3 aos 9 anos. No *E. globulus* em Portugal varia de 5 a 10 anos (SANTOS, 2007).

Com base na análise da literatura, pode-se afirmar que a madeira de transição é dependente da espécie (ritmo de crescimento ou grupo ecológico), das condições ambientais e do manejo. Neste experimento, o *E. urophylla* estava com 9 anos e ainda apresentava madeira de transição. A Figura 8 mostra o colapso, comum em madeira juvenil, de alguns corpos de prova que não foram avaliados.

A água ligada à holocelulose se move para fora da parede celular durante a secagem da madeira aproximando as paredes. A substância matriz da parede secundária tende a encolher isotropicamente enquanto as microfibrilas encolhem muito pouco, como resultado a madeira encolhe anisotropicamente (DONALDSON, 2008; KOLLMANN; CÔTÉ, 1984; YAMAMOTO *et al.*, 2001). Se o MFA for pequeno, a maior parte do encolhimento ocorrerá transversalmente. À medida que o MFA aumenta, no entanto, permite que mais água penetre na camada  $S_2$ , aumentando a retratibilidade longitudinal (KOLLMANN; CÔTÉ, 1984; LARA PALMA; BALLARIN, 2003; LARSON *et al.*, 2001; LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000; PERSTORPER *et al.*, 2001; SERPA *et al.*, 2003; VUUREN *et al.*, 1978).



Figura 8: Corpos de prova com colapso e nó.

A madeira de compressão, na qual o MFA é grande, pode encolher 3% ou mais, causando maiores empenamentos e dificuldades na secagem e colagem da madeira. Estas madeiras também são mais propensas ao colapso e a rachaduras (BENDTSEN, 1978; BENDTSEN; SENFT, 1986; BOWYER *et al.*, 2003; GEIMER *et al.*, 1997; HARRIS; MEYLAN, 1965; LARA PALMA *et al.*, 2010; MEGRAW *et al.*, 1998; MEYLAN, 1968; PECK, 1957; PERCIVAL *et al.*, 1982; PERSTORPER *et al.*, 2001; SENFT *et al.*, 1985; THIBAUT *et al.*, 2001; VERMAAS, 2000; WALKER; BUTTERFIELD, 1995; ZOBEL, 1984; ZOBEL; ZOBEL; SPRAGUE, 1998; ZOBEL; TALBERT, 1984).

O MFA tem correlação positiva com a RL e negativa com a RT, RR, RV e IA. A correlação é baixa se o MFA for pequeno (menor que 30°), e alto se o ângulo for grande (entre 30 e 50°) (BENDTSEN, 1978; GEIMER *et al.*, 1997; HEIN *et al.*, 2013; LARA PALMA *et al.*, 2010; OLIVEIRA; SILVA, 2003; PANSHIN; ZEEUW, 1980; VERMAAS, 2000; YAMAMOTO *et al.*, 2001; YANG *et al.*, 2003b; ZOBEL, 1984).

Geralmente, a retratibilidade longitudinal decresce e a tangencial aumenta, com o aumento da idade. A contração longitudinal total da madeira normalmente varia de 0,1 a 0,9% e para a maioria dos usos, uma contração axial total uniforme de 0,3% pode ser utilizada para qualquer finalidade. Madeiras que apresentam valores superiores são juvenis ou com grã reversa (BARBER; MEYLAN, 1964; BENDTSEN; SENFT, 1986; DONALDSON, 2008; KOLLMANN; COTÊ, 1984; PANSHIN; ZEEUW, 1980; WALKER, 1993).

Tabela 48 – Média por progênie das propriedades físicas das madeiras secas, média geral e desvio padrão.

Prog	RT	RR	RL	RV	IA	Db (Kg.m <sup>-3</sup> )
32	12,20	10,52	0,31	23,03	1,16	528,67
33	11,09	7,80	0,35	19,24	1,42	477,18
51	10,45	6,22	0,82	17,49	2,23	503,95
52	9,16	5,24	0,46	14,86	1,88	472,73
53	8,04	5,32	0,17	13,47	1,53	498,40
54	10,70	4,04	0,30	15,04	2,79	421,57
59	9,47	6,77	0,74	18,01	1,40	470,06
75	9,68	4,36	0,53	14,58	3,43	420,42
82	12,08	7,60	0,28	19,95	1,87	479,12
85	10,14	5,94	0,69	17,23	1,83	491,13
88	10,56	6,66	0,29	17,51	1,62	505,46
91	12,91	8,90	0,31	22,11	1,52	512,32
92	9,49	4,35	0,42	14,26	2,20	439,26
94	8,65	5,96	0,42	15,03	1,47	500,87
101	10,93	5,87	0,62	17,42	2,00	468,16
108	8,94	5,59	0,59	15,13	1,97	444,44
125	11,48	7,98	0,89	20,39	1,49	498,13
133	8,67	5,33	0,56	14,56	1,75	504,23
137	9,44	6,48	0,41	16,33	1,46	482,44
138	11,40	7,63	0,35	19,38	1,91	505,75
142	11,54	6,60	0,24	18,38	1,76	503,87
Média	10,24	6,36	0,47	17,34	1,85	480,94
DP	2,19	2,46	0,30	4,04	0,83	53,50

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre pelo teste Tukey a 5%

Na madeira adulta, quando o MFA é pequeno a retratibilidade longitudinal é desprezível (BARBER; MEYLAN, 1964; BAO *et al.*, 2001; IVKOVIC *et al.*, 2009; LARA PALMA;



BALLARIN, 2003; MEYLAN, 1968; PEARSON; GILMORE, 1980; SCANAVACA JÚNIOR; GARCIA, 2004; WALKER, 1993; YING *et al.*, 1994). A retração longitudinal em madeiras tensas ou comprimidas pode ser até 10 vezes maior na madeira juvenil quando comparada com a madeira adulta (GEIMER *et al.*, 1997; PECK, 1957; THIBAUT *et al.*, 2001). A retratibilidade radial e tangencial foram de 30 a 50% maiores nos anéis mais externos e a retratibilidade longitudinal foi até 200% maior próximo a medula em *Pinus radiata* (IVKOVIC *et al.*, 2009).

A retratibilidade aumenta com a idade. Vuuren *et al.* (1980) encontraram retratibilidade radial de 3% e tangencial de 6,5% em árvores jovens de *E. grandis*. Em árvores adultas (35 anos) as retratibilidades foram 4,5% e 9,5%, respectivamente. A retratibilidade e a densidade básica aumentam da medula para casca em *E. saligna* com 16 anos de idade (OLIVEIRA; SILVA, 2003).

Muller *et al.* (2014) avaliaram *E. benthamii* com 6 anos de idade e 560 kg.m<sup>-3</sup> de densidade básica. A retratibilidade encontrada foi de 0,53% para longitudinal, 5,91% para radial, 13,87% para tangencial e 18,52% para volumétrica, resultando no coeficiente anisotrópico de 2,36.

Gallio *et al.* (2016) avaliaram *E. benthamii* com 11 anos de idade e 549 kg.m<sup>-3</sup> de densidade básica. A retratibilidade encontrada foi de 0,63% para longitudinal, 9,70% para radial, 15,57% para tangencial e 24,26% para volumétrica, resultando no coeficiente anisotrópico de 1,90. Evangelista *et al.* (2010a) avaliaram *E. urophylla* com 6,3 anos de idade e encontraram 8,1; 4,4; 0,29; 12,5 e 1,9 para RT, RR, RL, RV e IA, respectivamente.

Medeiros *et al.* (2016) avaliaram *C. citriodora* e o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* com quatro anos de idade. As densidades básicas foram respectivamente 570 kg.m<sup>-3</sup> e 460 kg.m<sup>-3</sup>. No *C. citriodora* as retratibilidades foram de 1,44% para longitudinal, 5,24% para radial, 9,95% para tangencial e 17,30% para volumétrica, resultando no coeficiente anisotrópico de 2,11. Para o híbrido os valores foram respectivamente 1,09; 4,17; 8,56; 15,5 e 2,13, ou seja, as RL foram 8 e 7% do total para cada espécie, respectivamente.

Polozzi *et al.* (2012) avaliaram a madeira juvenil e adulta de *E. grandis* com 30 anos de idade. Na madeira juvenil os valores encontrados foram 3,72; 11,84; 20,95 e 3,18 para RR, RT, RV e IA, respectivamente. Para a madeira adulta os valores foram respectivamente 7,79; 17,29; 29 e 2,22, respectivamente.

Cruz *et al.* (2003) avaliaram clones de *E. urophylla* com 5,5 e 10,5 anos de idade. Avaliaram as retratibilidades em três posições (central, intermediária e externa). Os valores encontrados para o clone com 5,5 anos, no sentido medula casca da Db foram respectivamente: 463; 515 e 532 kg.m<sup>-3</sup>. Para RR, respectivamente: 5,4; 5,1 e 5,1. Para RT os valores foram respectivamente de 10,0; 8,8 e 7,2. Para RV foram respectivamente: 14,1; 13,7 e 12,7. Para um IA foram respectivamente: 1,85; 1,73 e 1,40. Para o clone com 10,5 anos, os valores da Db foram respectivamente: 509; 473 e 526 kg.m<sup>-3</sup>. Para RR: 4,4; 4,0 e 4,7; Para RT: 13,5; 9,8 e 7,4. Para RV: 14,9; 14,4 e 12,0. Para o IA os valores foram respectivamente: 3,06; 2,43 e 1,57.

Oliveira *et al.* (2010) avaliaram *E. urophylla* e mais seis espécies de eucaliptos de Anhembi com 16 anos de idade. Para o *E. urophylla* os valores encontrados foram: 7,9; 15,3; 0,3 e 25,6 para RR, RT, RL e RV, respectivamente, o IA foi 2,0.

Lopes *et al.* (2011) avaliaram a retratibilidade do *E. urophylla* com 18 anos de idade em quatro posições radiais, 0 (próximo a medula), 33%, 66% e 100 (próximo a casca). Os resultados encontrados para RT foram respectivamente: 11,94; 12,03; 12,45 e 10,87. Para a RR os valores foram: 6,98; 7,76; 7,84 e 7,76. Para a RV os valores foram: 20,11; 20,95; 21,52 e 20,10. Os IA foram respectivamente: 1,71; 1,55; 1,59 e 1,40.

Há uma clara tendência do aumento das retratibilidades e diminuição do IA da medula para casca, exceção a posição próxima a casca, provavelmente por se tratar de células ainda em crescimento.

Souza Júnior (2004) avaliou *E. urophylla* com 15 e 25 anos de idade as densidades foram respectivamente 628 e 669 kg.m<sup>-3</sup>. As retratibilidades médias para 15 anos foram 0,18 para RL (1%), 6,20 para RR (37%), 12,49 para RT (62%) e 16,90 para RV e o IA foi de 1,75. Para os 25 anos os valores foram respectivamente; 0,21 para RL (1%), 7,43 para RR (36%), 12,85 para RT (63%) e 20,49 para RV e o IA foi de 1,79. Scanavaca Júnior e Garcia (2004) trabalharam com *E. urophylla* com 19 anos de idade e Db de 655 kg.m<sup>-3</sup>. As retratibilidades médias foram 0,11 para RL (1%), 7,18 para RR (36%), 12,49 para RT (63%) e 19,77 para RV e o IA foi de 1,76.

No presente experimento, a RL foi de 3%, de forma que se pode categorizar a madeira como juvenil ou de transição. O alto IA (1,85) também é indício de madeira juvenil porque a

medida que madeira envelhece, a espessura da parede aumenta, o que faz com que a retratibilidade radial aumente, enquanto que RT permanece a mesma, isso faz com que o IA diminua, como mostram os trabalhos relatados acima. A baixa densidade básica ( $480,94 \text{ kg.m}^{-3}$ ) e o colapso (Figura 8) são outros indicativos de madeira juvenil ou transição. As correlações das propriedades físicas estão na Tabela 49.

Tabela 49 – Correlação da densidade básica com as propriedades físicas das madeiras secas e destas entre si.

	Db	RR	RT	RL	RV	IA
Db	1					
RR	0,2327	1				
RT	0,6460***	0,6582***	1			
RL	-0,1552	-0,0433	-0,0789	1		
RV	0,5878***	0,8786***	0,9171	-0,0126	1	
IA	-0,6733***	-0,2374	-0,7092***	0,0816	-0,5910***	1

\*\*\* = significativo a 0,1%

Lourençon *et al.* (2013) avaliaram *C. citriodora* com 30 anos e não acharam correlação da Db com as retratibilidades. Lopes *et al.* (2011) não acharam correlação da densidade aparente com as retratibilidades e nem das retratibilidades entre si, somente para RT e RV (0,72) e RR e RV (0,59). Souza Jr. (2004) avaliou as correlações entre a Db e RV, para *E. urophylla* com 25 anos, foi - 0,29; e para o *E. urophylla* com 15 anos não teve correlação.

Scanavaca Júnior e Garcia (2004) trabalharam com *E. urophylla* com 19 anos de idade e acharam correlação da Db com a RR de 0,3407, RT - 0,0405, RL - 0,0443, RV 0,1413 e IA de - 0,3735. Na madeira adulta, o RL é muito pequena e não se correlacionou com a Db, o RR mostrou melhor correlação porque as fibras apresentavam espessura máxima, o que diminui proporcionalmente o RT e a RV. A RL e IA apresentaram correlações negativas.

Neste trabalho, a Db teve correlação positiva com RR, RT e RV e negativa com RL e IA. Com o aumento da idade, o MFA diminui, o que faz com que a RL diminua. A RT (0,60) e RR (0,37) são as retratibilidades com maior volume, por isso a RV também é positiva. A RL tem

correlação negativa com as demais retratibilidades porque enquanto as outras dimensões crescem ela diminui. O IA diminui com a idade porque a espessura da parede da fibra aumenta, aumentando RR, enquanto que a RT praticamente não muda, o que faz com que o IA também diminua. A Db tem boa correlação com a RR porque a espessura da fibra aumenta consistentemente da medula para casca, e a Db também, todos os trabalhos consultados confirmam isso. As regressões lineares da densidade básica com as retratibilidade e com o índice anisotrópico, e das retratibilidade entre si e com o índice anisotrópico, eliminando-se até 20% dos outliers estão na Tabela 50.

Tabela 50 – Regressões lineares entre a Db e as retratibilidades e índice anisotrópico, das retratibilidades entre si e com o índice anisotrópico.

Var dependente	Intercepto	Coefficiente angular	R <sup>2</sup>	Prob. R <sup>2</sup>	Var independente
Db	371,93	9,82	0,2361	< 0,0001	RT
Db	368,46	16,26	0,8545	< 0,0001	RR
Db	499,73	-28,94	0,0518	< 0,0001	RL
Db	310,23	9,18	0,6432	< 0,0001	RV
Db	592,24	-62,84	0,6603	< 0,0001	IA
RT	6,98	0,51	0,8612	< 0,0001	RR
RT	9,62	0,99	0,0527	< 0,0001	RL
RT	4,17	0,35	0,9256	< 0,0001	RV
RT	12,12	-1,07	0,4432	< 0,0001	IA
RR	6,44	-0,45	0,0065	< 0,0001	RL
RR	-3,84	0,59	0,9590	< 0,0001	RV
RR	10,96	-2,72	0,7760	< 0,0001	IA
RL	0,47	-0,0079	0,0303	0,0003	RV
RL	0,23	0,0588	0,0750	0,0016	IA
RV	24,86	-4,31	0,5577	< 0,0001	IA

Todas regressões foram significativas a 1% de probabilidade. A Db apresentou correlação negativa com a RL e IA, com a RL foi ruim e com o IA foi boa. Com a RR, RR e RV foram positivas, sendo fraca com a RT, boa com a RV e muito boa com a RR porque a espessura da parede da fibra é o parâmetro que melhor se correlaciona com a Db.

A RT apresentou correlação negativa com o IA e positiva com a retratibilidades. A regressão foi ruim com a RL, regular com o IA e muito boa com a RR e RV.

A RR apresentou correlações negativas com a RL e IA, e positiva com RV, sendo ruim com a RL, boa com IA e muito boa com RV.

A RL apresentou correlação negativa com a RV e positiva com o IA, ambas foram ruins.

A RV apresentou correlação negativa e regular com o IA.

As regressões refletem as variações das características anatômicas e estão de acordo com a literatura consultada.

#### 4.8 Propriedades mecânicas das madeiras secas

Os testes de normalidade das propriedades mecânicas das madeiras secas estão na Tabela 51. Na Tabela 52 temos as análises estatísticas, e na Tabela 53 as médias e teste Tukey a 5% de probabilidade das propriedades mecânicas da madeira.

Tabela 51 – Teste de normalidade, coeficiente de assimetria e curtose das propriedades mecânicas das madeiras secas corrigido para 12% de umidade.

Teste	Cisalhamento	Compressão	MOR	MOE
Skewness	0,1179	0,4194	1,4596	0,9090
Kurtoses	-0,6543	0,9505	1,3932	1,4434
Shapiro-Wilk	0,9746	0,9691	0,8326	0,9392
Probabilidade	0,2344	0,1256	0,1017	0,0853

Todas as propriedades mecânicas das madeiras secas e os erros apresentaram

distribuição normal, bem como o resíduo destes dados, desta forma, foram analisados por meio de métodos paramétricos. Os resultados estão nas Tabelas 52 e 53.

Tabela 52 – Análises estatísticas para as propriedades mecânicas das madeiras secas corrigido para 12% de umidade.

FV	Cisalhamento			Compressão		MOR		MOE	
	GL	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F
Prog	20	90,29	5,57***	497,95	3,77**	1380,62	3,07*	2055544281	2,88*
Bloco	2	47,51		285,14		148,97		21947605	
Erro	38	16,21		132,21		448,75		71318499	
CV (%)		16,17		16,73		22,61		35,60	
DP		6,51		16,14		29,37		11165,46	

\*, \*\*, \*\*\* = significativo a 5, 1 e 0,1% respectivamente

Houve diferenças estatísticas entre as progênies para todas propriedades mecânicas das madeiras secas. As médias destas propriedades por progênie com o teste Tukey a 5% de probabilidade estão na Tabela 53. Nas Tabelas 54 a 57 estão os cálculos das variâncias por meio do Proc mixed do SAS, testando diversos modelos de matriz de covariância para saber qual a melhor estimativa. As herdabilidades foram calculadas segundo a metodologia de Vencovsky e BARRIGA (1992).

Tabela 53 – Média por progênie das propriedades mecânicas das madeiras secas ao ar com umidade corrigida para 12% e teste Tukey a 5% de probabilidade, média geral e desvio padrão.

Progênie	Cisalhamento (MPa)	Comp (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
32	14,75 e	44,72 ef	63,63 e	13698,68 b
33	16,15 e	54,39 def	80,07 cde	15304,19 b
51	16,34 e	48,98 ef	68,77 de	20457,78 b
52	21,43 cde	60,93 bcdef	73,70 de	18603,47 b
53	18,22 de	60,00 bcdef	78,93 cde	22080,27 b
54	21,38 cde	43,58 f	61,40 e	16386,67 b
59	22,13 cde	57,29 cdef	95,06 bcde	21613,56 b
75	22,61 cde	64,92 bcdef	75,50 cde	22558,88 b
82	28,95 abc	71,27 abcde	73,42 de	21487,22 b
85	28,79 abc	76,71 abcd	118,09 abc	28481,97 b
88	24,61 bcd	80,03 abc	101,45 bcde	28173,96 b
91	27,08 bc	73,49 abcd	112,75 abcd	26585,76 b
92	27,11 bc	77,41 abcd	97,71 bcde	23212,15 b
94	28,67 abc	82,10 ab	96,14 bcde	24667,07 b
101	29,39 abc	77,15 abcd	100,02 bcde	26735,46 b
108	26,02 bcd	74,95 abcd	104,25 abcde	22162,69 b
125	27,83 bc	79,23 abc	97,93 bcde	24776,03 b
133	26,43 bc	81,03 abc	100,29 bcde	23276,45 b
137	31,36 ab	75,73 abcd	144,84 a	26887,85 b
138	35,95 a	83,23 ab	128,41 ab	28317,75 b
142	32,29 ab	90,32 a	97,63 bcde	80486,78 a
Média	24,90	68,71	93,68	23719,50
DP	6,51	16,14	29,37	11165,46

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre pelo teste Tukey a 5%

Leite (2014) avaliou as propriedades mecânicas do *C. maculata*, *E. cloeziana* e *E. resinifera*. As propriedades avaliadas foram MOR, MOE, compressão e cisalhamento. Os valores

em MPa encontrados, respectivamente para o *C. maculata* foram 127, 25614, 59 e 123. Para o *E. cloeziana* foram respectivamente, 108, 16748, 55 e 153. Para o *E. resinifera* foram respectivamente, 148, 23986, 72 e 153 MPa.

Gallio *et al.* (2016) avaliaram *E. benthamii* com 11 anos de idade. A densidade básica foi de 549 kg.m<sup>-3</sup> e foi considerada de baixa resistência mecânica por apresentar: 49,92 MPa de resistência a compressão paralela as fibras, 53,92 MPa de MOR e 12.488,79 MPa de MOE.

Evangelista *et al.* (2010a) avaliaram *E. urophylla* com 6,3 anos de idade e encontraram valores de 76,20 MPa para o MOR e 9868,34 MPa para o MOE.

Adorno e Garcia (2003) trabalhando com 15 clones de *E. urophylla* com 8 anos de idade e encontraram Db 391,53 kg.m<sup>-3</sup>, cisalhamento 7,98 MPa, compressão 58,33 MPa, MOR 135,04 MPa e MOE 198,69 MPa.

Scanavaca Júnior e Garcia (2004) trabalharam com *E. urophylla* com 19 anos de idade. Os valores médios encontrados para o cisalhamento foram 118,64 MPa, para a compressão paralela às fibras 64,34 MPa, para o MOR 126,65 MPa e para o MOE 17738 MPa. Oliveira (1997) encontrou 60 e 9398 MPa para o MOR e MOE, respectivamente para o *E. urophylla*, com 16 anos de idade.

Souza Júnior (2004) avaliou *E. urophylla* com 15 e 25 anos de idade as densidades foram respectivamente 628 e 669 kg.m<sup>-3</sup>. Para o material procedente de Turmalina com 25 anos os resultados encontrados para o cisalhamento foi 13,4 MPa, para a compressão 71,7 MPa, para o MOR 995 MPa e para o MOE 10600 MPa. Para o material procedente de Paraopeba, com 15 anos os resultados foram respectivamente de 13; 78; 117,1 e 12400 MPa. Isso mostra que a madeira adulta melhora consideravelmente as propriedades mecânicas.

O teste de cisalhamento mede a resistência da madeira ao rasgo, ou desmembramento das fibras. Como a madeira é de transição, as fibras não estão em sua espessura máxima, o que facilita o seu desmembramento, por isso o valor foi relativamente baixo (24,90 MPa).

A compressão, cujo teste mede a capacidade de o corpo de prova resistir ao esmagamento, todos os elementos anatômicos da madeira estão envolvidos, apresentou 68,71 MPa de média para a propriedade.

O MOE mede a capacidade de a madeira fletir, sendo as fibras de diferentes tamanhos



e espessura, sofre menos a influência da espessura da parede da fibra que o MOR, desta forma apresentou 23719,50 MPa, e o MOR 93,68 MPa. Valores consistentes com os dados da literatura. Nas Tabelas 54 a 57 estão os cálculos das variâncias baseados nas matrizes de covariâncias da interação bloco x progênie.

Tabela 54 - Variâncias em função do modelo para a compressão no Proc mixed do SAS modelo REML testando diversos modelos de matrizes de covariância.

M covariância*	Variância da Progênie	Variância do Erro	Bloco x Prog	AIC**
CS	124,65	8,8518	$5,89 * 10^{-8}$	489,5
Toep	129,40	0,0021	0	495,88
VC	126,31	1,0033	131,91	489,5
HF	Não convergiu	0,0042	131,23	665,5

\* CS= Matriz de Simetria Composta; Toep = Toeplitz; VC = Componentes de Variância; HF = Huynh-Feldt.

\*\* Critério de Informação Akaike.

Tabela 55 - Variâncias em função do modelo para o cisalhamento no Proc mixed do SAS modelo REML testando diversos modelos de matrizes de covariância.

M covariância*	Variância da Progênie	Variância do Erro	Bloco x Prog	AIC**
CS	18,31	0,3302	$3,710 * 10^{-10}$	376,1
Toep	18,32	0,0012	0	390,08
VC	25,40	0,9796	15,21	375,2
HF	35,59	0,000037	18,54	542

\* CS= Matriz de Simetria Composta; Toep = Toeplitz; VC = Componentes de Variância; HF = Huynh-Feldt.

\*\* Critério de Informação Akaike.

Tabela 56 - Variâncias em função do modelo para o MOR no Proc mixed do SAS modelo REML testando diversos modelos de matrizes de covariância.

M covariância*	Variância da Progênie	Variância do Erro	Bloco x Prog	AIC**
CS	321,86	122,32	$3,45 * 10^{-9}$	556,1
Toep	411,00	0,0017	0	559,13
VC	322,16	1,0046	443,06	556,1
HF	815,45	0,01324	413,18	722,1

\* CS= Matriz de Simetria Composta; Toep = Toeplitz; VC = Componentes de Variância; HF = Huynh-Feldt.

\*\* Critério de Informação Akaike.

Tabela 57 – Variâncias em função do modelo para o MOE no Proc mixed do SAS modelo REML testando diversos modelos de matrizes de covariância.

M covariância*	Variância da Progênes	Variância do Erro	Bloco x Prog	AIC**
CS	0	1,176 *10 <sup>-8</sup>	0	1255,4
Toep	7896	0,0012	0	1397,7
VC	0	0,9578	1,176 *10 <sup>-8</sup>	1255,4
HF	1,533 *10 <sup>-8</sup>	35851	7756	1426,4

\* CS= Matriz de Simetria Composta; Toep = Toeplitz; VC = Componentes de Variância; HF = Huynh-Feldt.

\*\* Critério de Informação Akaike.

Analisando as Tabelas 54 a 57 pode-se notar que a matriz de covariância do VC foi a melhor para todas as propriedades mecânicas das madeiras por apresentar menor AIC e melhor variância do erro, exceto para o MOE, em que nenhuma matriz convergiu, desta forma, foram calculadas as variâncias pelo Proc varcomp com matrizes dos tipos I, 3, MINQUE, MIVUQE, ML e REML, que também não convergiram, conforme as Tabela 58, assim não foi calculado a herdabilidade para o MOE. Para as demais propriedades foram utilizados para os cálculos das herdabilidade com base nas matrizes de covariância VC do Proc mixed método REML, conforme Tabela 59.

Tabela 58 – Variâncias do quadrado médio (QM) em função do modelo para o MOE no Proc varcomp do SAS nos modelos Tipo I, MINQUE, MIVUQE, RL e REML.

FV	QM				
	Tipo I	MINQUE	MIVUQE	ML	REML
Prog	216802606	-2377889,2	-2377889,2	Não convergiu	Não convergiu
Bloco	216947	10247247	10247247		
Bloco*Prog	71318499	120023941	120023941		
Erro	0	0	0		

Tabela 59 – Herdabilidades das propriedades mecânicas da madeira, acurácia, coeficiente de variação genética e relativo.

Compartimento	Progênes	Bloco x Prog	Erro	Acurácia	CV <sub>g</sub>	$\bar{b}$
Compressão	126,56	271,11	1,0033	11,25	2,01	0,12
Cisalhamento	25,64	320,39	0,9796	5,06	1,97	0,12
MOR	322,41	930,26	1,0046	17,96	2,02	0,09

De uma maneira geral as herdabilidades foram baixas, assim como os erros, sendo que a maior parte da variabilidade está entre os blocos, sinal de estreitamento da base genética (shrinkage em inglês), talvez se o experimento fosse instalado em Látice melhoraria a qualidade e precisão para seleção genética porque o delineamento permite a recuperação das informações intra-bloco e entre blocos que o blocos casualizados não permitem, principalmente em experimentos com grande número de progênes e desbalanceados, como no presente caso (DUARTE; VENCOVSKY, 2001; PIEPHO, 1994). A baixa acurácia, CV<sub>g</sub> e  $\bar{b}$  confirmam a baixa herdabilidade das progênes para estes caracteres.

Na Tabela 60 temos as correlações da densidade básica com as propriedades mecânicas das madeiras secas e destas entre si.

Tabela 60 – Correlação da densidade básica com as propriedades mecânicas das madeiras secas e destas entre si.

	Db	Compressão	Cisalhamento	MOR	MOE
Db	1				
Compressão	0,1186	1			
Cisalhamento	0,0802	0,6415***	1		
MOR	-0,0023	0,5968***	0,5576***	1	
MOE	0,0738	0,5159***	0,4571***	0,4430***	1

\*\*\* = significativo a 0,1%

O MFA tem correlação negativa com a Db (FANG *et al.*, 2004; PANSIN; ZEEUW, 1980; SMITH; BRIGGS, 1986; ZUO *et al.*, 2004). Quando o MFA é grande a espessura da parede da fibra e fina por se tratar de madeira juvenil. A propriedade mecânica da madeira mais

prejudicada é o MOR porque a espessura da fibra é o parâmetro que mais influência esta propriedade.

Evangelista *et al.* (2010a) avaliaram *E. urophylla* com 6,3 anos de idade e encontraram correlação entre a Db e o MOR de 0,45 e MOE de 0,55.

Adorno e Garcia (2003), trabalharam com 15 clones de *E. urophylla* com 8 anos de idade e encontraram correlações entre a Db e as propriedades mecânicas, sendo a melhor correlação com a compressão 0,549, para o cisalhamento foi 0,500, para o MOR 0,498 e para o MOE 0,351. Entre as propriedades mecânicas, a correlação da compressão com o MOE foi 0,547, o cisalhamento não se relacionou com nenhuma propriedade e o MOR e MOE apresentaram uma correlação de 0,603.

Cruz *et al.* (2003) também encontraram correlações positivas da densidade básica com a compressão paralela às fibras e o MOE de 0,47 a 0,67 em clones de *E. camaldulensis* e *E. urophylla*.

Scanavaca Júnior e Garcia (2004), trabalhando com *E. urophylla* com 19 anos, correlacionaram a Db com as propriedades mecânicas. Encontraram correlação de 0,5672 para a compressão, 0,5181 para o cisalhamento, 0,5216 para o MOE e 0,6690 para o MOE.

Souza Júnior (2004), trabalhado com o *E. urophylla* com 25 anos, encontraram 0,84; 0,78; 0,82 e 0,72 para as mesmas propriedades, respectivamente. Para o *E. urophylla* com 15 anos, os valores foram: 0,84; 0,67; 0,84 e 0,73 para as mesmas propriedades, respectivamente.

As correlações aqui encontradas foram péssimas provavelmente porque o MFA é mais influente que a Db.

A compressão mostrou correlação regular a com a flexão, sendo um pouco melhor para o MOR. Levando em consideração a idade das árvores, pode-se considerar como boas correlações. A correlação com o cisalhamento foi regular.

O cisalhamento apresentou correlações regulares com as flexões, estas por sua vez também apresentaram correlações regulares entre si. As regressões lineares da densidade básica com as propriedades mecânicas das madeiras e destas entre si estão na Tabela 61.

Tabela 61 – Regressões lineares entre a Db e as propriedades mecânicas das madeiras secas e destas entre si com eliminação de até 20% dos outliers.

Var dependente	Intercepto	Coeficiente angular	R <sup>2</sup>	Prob. R <sup>2</sup>	Var independente
Db	440,59	0,56	0,0806	< 0,0001	Compressão
Db	423,10	2,24	0,1714	< 0,0001	Cisalhamento
Db	455,45	0,28	0,0502	< 0,0001	MOR
Db	471,11	0,00035	0,0055	< 0,0001	MOE
Compressão	21,82	1,82	0,7790	< 0,0001	Cisalhamento
Compressão	30,39	0,40	0,5999	< 0,0001	MOR
Compressão	43,95	0,0011	0,6550	< 0,0001	MOE
Cisalhamento	7,90	0,17	0,6445	< 0,0001	MOR
Cisalhamento	16,32	0,00038	0,4561	< 0,0001	MOE
MOR	51,84	0,0016	0,5077	< 0,0001	MOE

Todas as regressões foram significativas a 0,1% de probabilidade. A densidade básica não apresentou regressões lineares ruins com todas as propriedades mecânicas das madeiras secas, mesmo eliminando 20% dos outliers. Provavelmente por se tratar de madeira de transição em que as dimensões das fibras não atingiram seu potencial máximo, assim como a densidade básica, como mostra a alta variabilidade do desvio padrão (53,50) e a baixa densidade básica média (480,94 Kg.m<sup>-3</sup>).

Com a eliminação dos outliers, todas as correlações das propriedades mecânicas melhoraram, melhorando as regressões. A compressão apresentou boas correlações com as demais propriedades, sendo um pouco melhor com o cisalhamento (0,7790).

O cisalhamento apresentou regressões boa com o MOR e regular com o MOE.

O MOR aumenta consistentemente com a idade da árvore, assim, trabalhos com *E. urophylla* aos 6,3 anos, mostraram: 76,20 MPa para o MOR e 9863,34 MPa para o MOE (EVANGELISTA *et al.*, 2010a). Aos 15 anos o MOR foi de 117,1 MPa e o MOE de 12400 MPa (SOUSA JÚNIOR, 2004). Aos 19 anos os valores foram respectivamente, 126,65 MPa e 17738

MPa (SCANAVACA JR.; GARCIA, 2004). Aos 25 anos foram 995 MPa e 10600 MPa (SOUSA JÚNIOR, 2004). Isso mostra que o MOR, que é mais influenciado pela espessura da parede da fibra, aumenta consistentemente com a idade. O MOE, que é influenciado por outros elementos, como o comprimento da fibra, não apresenta uma correlação tão linear.

O MOR e MOE apresentaram boas regressões (0,5077), o fato de serem calculados na mesma peça favorece a correlação porque as grandes variabilidades, nas dimensões das fibras, se auto anulam.

Na Tabela 62 temos a comparação das propriedades mecânicas úmidas e secas pelo teste t pareado a 5% de probabilidade.

Tabela 62 – Teste de normalidade, coeficiente de assimetria, curtose e teste t pareado para as diferenças entre as propriedades mecânicas das madeiras verdes e secas corrigido para 12% de umidade.

Teste	Compressão	Cisalhamento	MOR	MOE	Densidade
Skewness	-0,3276	0,0705	1,2558	-1,2632	-0,2023
Kurtosis	-0,8494	-0,5982	1,4074	1,7861	-0,0450
Shapiro-Wilk	0,9578	0,9811	0,8221	0,9092	0,9873
Probabilidade	0,0827	0,4673	0,0926	0,1018	0,8215
Teste t	21,27	19,60	16,57	18,94	22,71
Probabilidade teste t	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Média secas	68,71	24,90	93,68	23719,50	480,94
CV	16,73	16,17	22,61	35,60	11,03
DP	16,14	6,51	29,37	11165,46	53,50
Média úmidas	27,34	9,82	37,21	9335,06	809,67
CV	20,37	15,70	42,13	46,20	10,75
DP	5,32	1,71	8,58	3804,64	103,04

A resistência da madeira varia com o teor de umidade: quanto mais secas maiores os valores das propriedades de resistência e elasticidade da madeira (WILCOX *et al.*, 1991).

Gonçalves *et al.* (2009) avaliaram as propriedades mecânicas da madeira verde e com 12% de umidade no híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* com 5,83 e 13,82 anos de idade. Quanto maior a idade, maior a densidade básica e as propriedades mecânicas. A madeira com 12% de umidade apresentou superioridade de 22 a 49% em relação a madeira verde para o MOR. Para o MOE a superioridade variou de 14 a 28% e para a compressão axial, a superioridade variou de 44 a 87 %. Bodig e Jayne (1993) encontraram valores variando de 11% a 53% para o MOE, e de 32 % a 110 % para o MOR.

Lambris 100% feitos com madeira juvenil, apresentam 90% do MOR, 70% do MOE e 70 a 80% da resistência ao cisalhamento, das peças de lambris feitas com madeira adulta (GEIMER *et al.*, 1997).

Lahr *et al.* (2017) avaliaram as propriedades mecânicas da madeira com 12 e 30% de umidade em *E. urophylla* de oito sítios, com idade variando de 8 a 42 anos de idade. Todas as propriedades aumentam com a diminuição da umidade. Para a compressão a melhora foi 22,39% e para o MOE de 15,06%, para o cisalhamento paralelo as fibras e 51% para a compressão paralela as fibras da madeira com 12% de umidade em relação à madeira verde.

Nogueira *et al.* (2018) avaliaram as propriedades físicas e mecânicas do *E. umbra* com 28 anos de idade, com 30 e 12% de umidade. A compressão paralela as fibras aumentaram 6,56%, e o cisalhamento 67,74%. O MOR decresceu 6,78 e o MOE decresceu 5,85%, entretanto, não houve diferença estatística para estas propriedades em função do teor de umidade.

Neste experimento, a superioridade da madeira seca em relação a verde foi de 252,32% para a compressão, 253,56% para o cisalhamento, 251,76% para o MOR e 254,09% para o MOE. A densidade básica foi 59,40% menor que a massa específica aparente, a madeira verde apresentava 64,23% de umidade. Todas as propriedades diferiram estatisticamente a 0,1% de probabilidade na madeira verde para seca.

Foi realizada as regressões lineares da umidade natural da madeira com as propriedades mecânicas da madeira seca para ver se havia relação. Para isso foi utilizado a umidade natural do alburno na última avaliação, por ser o compartimento que apresentou diferenças

estatísticas entre as progênes e por ser o compartimento que melhor se correlacionou com a densidade básica. Na Tabela 63 temos os resultados destas regressões.

Tabela 63 – Regressões lineares entre o alburno e a Db e com as propriedades mecânicas das madeiras secas com eliminação de até 20% dos outliers.

Var dependente	Intercepto	Coefficiente angular	R <sup>2</sup>	Prob. R <sup>2</sup>	Var independente
Alburno	143,02	-01031	0,1696	< 0,0001	Db
Alburno	124,44	-0,4279	0,2355	< 0,0001	Compressão
Alburno	122,53	-1,19	0,2778	< 0,0001	Cisalhamento
Alburno	105,17	-0,00040	0,0913	< 0,0001	MOR
Alburno	110,69	-0,1670	0,1273	< 0,0001	MOE

Todas as regressões foram negativas e significativas a 0,1% de probabilidade, mas péssimas ou ruins, desta forma, pode-se afirmar que a umidade natural da madeira não se correlaciona com as propriedades mecânicas das madeiras.





## 5 CONCLUSÃO

Com os dados obtidos pode-se concluir que:

- Os solos sob *E. urophylla* com nove anos são bem mais secos no outono e inverno que na primavera e verão;
- Embora o solo apresente duas fases distintas, uma seca com 10,51% de umidade e outra úmida com 72,33% de umidade, a umidade natural da madeira não variou muito em função da umidade do solo, mantendo-se entre 94,30 a 135,96% em todas estações;
- O alburno foi o compartimento menos úmido em todas estações com média de 100,41% e o cerne o mais úmido com média de 128,44%;
- A umidade natural da madeira não se correlaciona com as propriedades mecânicas das madeiras secas;
- Não houve diferenças estatísticas entre as progênies para o DAP nem umidade natural da madeira em função do ideótipo de “casca”, “copa” ou “competição entre as progênies”;
- O ideótipo “casca lisa” foi o de menor frequência (4) e a “casca farinhenta” a de maior frequência (36);
- A arquitetura da copa tem forte influência genética e predominou a “copa fechada” (46), e a de menor frequência “copa aberta” (5);
- As características silviculturais não se correlacionam entre si;
- O DAP não tem correlação com a umidade natural da madeira nem com a densidade básica;
- A densidade básica tem correlação positiva com a RR (0,6358), RV (0,5328) e negativa com o IA (-0,6755);
- As retratibilidades apresentaram boas correlações entre si, exceto para RL;
- A melhor regressão entre as retratibilidades foi entre a RR e RV (0,9590);
- A densidade básica não se correlaciona com as propriedades mecânicas das madeiras secas;

- A melhor correlação das propriedades mecânicas das madeiras verdes foi entre a compressão e o MOR (0,4546);
- As propriedades mecânicas das madeiras secas têm boas correlações entre si, sendo a melhor entre a compressão e o cisalhamento (0,7790);
- Todas as propriedades mecânicas são melhores nas madeiras secas que nas madeiras verdes e estatisticamente diferentes com superioridade maior que 250%;
- As herdabilidades médias das progênies foram baixas para a umidade natural da madeira, sendo a melhor para o alburno (223,86) e para as propriedades mecânicas das madeiras secas, sendo a melhor para o MOR (322,41);
- A melhor metodologia para determinar as herdabilidades foram o método da máxima verossimilhança restrita (REML) com a matriz de covariância tipo VC.

**REFERÊNCIAS**

ABASALO, W. P. YOSHIDA, M.; YAMAMOTO, H.; OKUYAMA, T. Microfibril angle determination of rattan fibers and its influence on the properties of the cane. **Holzforschung**, v. 54, n. 4, p. 437-442, 2000.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997, 107p.

ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF 2013 ano-base 2012**. ABRAF: Brasília, DF, 2013. 148p.

ADORNO, M. F. C.; GARCIA, J. N. Correlações lineares entre as principais características tecnológicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p.44-53, 2003.

AHMED, A. S.; CHUN, S. K. Permeability of *Tectona grandis* L. as affected by wood structure. **Wood Science and Technology**, v. 45, p. 487-500, 2011.

ALBINO, J. C. **Características de crescimento e variação da densidade básica em doze espécies de *Eucalyptus* em três regiões do Estado de Minas Gerais**. Piracicaba, 1983. 90p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ALBUQUERQUE, F. S.; RODRIGUES, L. N.; MAGALHÃES, M. C.; NERY, A. R. Determinação da capacidade de campo do solo em condições de laboratório e campo. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8 a 13 de novembro de 2015. **Anais...** São Cristóvão, SE. UFS. p. 256-251.

ALLARD, R. W. **Princípios de melhoramento genético de planta**. São Paulo: Edgar Blucher, 1971. 381p.

ALTEYRAC, J.; CLOUTIER, A.; UNG, C.-H.; ZHANG, S.Y. Mechanical properties in relation to selected wood characteristics of black spruce. **Wood Fiber Science**, v. 38, n. 2, p.229-237, 2006.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014. Disponível em: [http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Alvares\\_etal\\_2014.pdf](http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Alvares_etal_2014.pdf). Acesso em 11 fevereiro 2016.

ALVES, H. S. **Sequenciamento e análise do genoma cloroplastídico de eucalipto (*Eucalyptus grandis*)**. 2005. 64p. Dissertação (Mestre em Fisiologia e Bioquímica das Plantas). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

ALZATE, S. B. A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis* x *E. urophylla***. 2004. 133 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais – Tecnologia de Produtos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ANANÍAS, R. A.; SEPÚLVEDA, V.; PÉREZ, N.; LEANDRO, L.; SALVO, L.; SALINAS, C.; CLOUTIER, A.; ELUSTONDO, D. M. Collapse of *Eucalyptus nitens* wood after drying depending on the radial location within the stem. **Dry Technology**, v. 32, n. 14, p. 1699-1705, 2014.

ARAÚJO, E. S. N. N.; GIMENES, M. A.; LOPES, C. R. Phylogenetic relationships among genera *Eucalyptus* and *Corymbia* species based on rDNA internal transcribed spacer sequences. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 62, p. 75-85, 2002.

ASSIS, J. A.; ASSIS, C. O.; GOULAR, S. L.; LIMA, J. T.; SOUZA, N. C. M.; OLIVEIRA, P. B. M. Características das fibras e do ângulo microfibrilar da madeira de *Eucalyptus pilularis* e *Corymbia maculata*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, III. Florianópolis, 2017. **Anais...** Florianópolis, 2017. 8p. Disponível em: <http://:galoa-proceedings—cbctem--64058.pdf>. Acesso em 15 de novembro de 2018.

AUTY, D.; GARDINER, B.; ACHIM, A.; MOORE, J.; CAMERON, A. Models for predicting microfibril angle variation in Scots pine. **Annals of Forest Science, Springer Verlag/EDP Sciences**, v. 70. n. 2, p. 209-218, 2013. Disponível em: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01201467/document>. Acesso em 13 de novembro de 2018.

BAILLÉRES, H.; CASTAN, M.; MONTIES, B.; POLLET, B.; LAPIERRE, C. Lignin structure in *Buxus sempervirens* reaction wood. **Phytochemistry**, Oxford, v. 44, n. 1, p. 35-39, Apr. 1997.

BAILLÈRES, H.; CHANSON, B.; FOURNIER, M.; TOLLIER, M. T.; MONTIES, B. Structure, composition chimique et retracts de maturation du bois chez les clones d' *Eucalyptus* (Structure, chemical composition and timber removal in *Eucalyptus* clones). **Annales des Sciences Forestieres**, v. 52, n. 2, p. 157-172, 1995.

BAILLIE, I. C. Soil characteristics and classification in relation to the mineral nutrition of tropical wooded ecosystems. In: PROCTOR, J. (Ed.). **Mineral Nutrients in Tropical forests and Savannas**. Bkeckwell Scientific Publication, Oxford. 1989. p. 15-26.

BALLARIN, A. W.; PALMA, H. A. L. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 371-380, 2003.

BALZARINI, M. Applications of mixes models in plant breeding. In: KANG, M. S. **Quantitative genetics, genomics and plant breeding**. New York: CABI Publishing, 2001. p. 353-363.

BAO, F. C.; JIANG, X. M.; LU, X. X.; LUO, X. Q.; ZHANG, S. Y. Differences in wood properties between juvenile wood and mature wood in 10 species grown in China. **Wood Science and Technology**, New York, v. 35, n. 4, p. 363-375, 2001.

BARBER, N. F.; MEYLAN, B. A. The anisotropic shrinkage of wood. **Holzforschung**, v. 18, n.5, p. 146-156, 1964.

BARBIN, D. **Componentes de variância**: teoria e aplicações. Piracicaba: FEALQ, 1993. 120p.

BARNETT, J. R.; BONHAM, V. A. Cellulose microfibril angle in the cell wall of wood fibers. **Biological Review**, v. 79, p. 461-472, 2004. Disponível em: [http://www: cambridge.org/core](http://www.cambridge.org/core). **EMBRAPA**, on 25 Jul 2018 at 11:00:25, subject to the Cambridge Core terms of use, available at [https://www: cambridge.org/core/terms](https://www.cambridge.org/core/terms). <https://doi.org/10.1017/S146479103006377>. Acesso em 25 Jul. 2018.

BARRETT, J. D.; KELLOGG, R. M. Strength and stiffness of dimension lumber. In: KELLOGG, R. M. **Growth Douglas fir: its management and conversion for value**. 2º Ed. Special Publication SP-32, Fornintek Canada Corp., Vancouver, BC. 1989. p. 50-58.

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. **A madeira das espécies de eucalipto como matéria-prima para a indústria de celulose e papel**. Brasília: PRODEPEF/PNUD/FAO/IBDF/BRA, 1976. 145p. (PRODEPEF – Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal, 13).

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. A utilização da madeira na produção de celulose. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 68, p. 1-16, 1979.

BASSET, G. Swelling, shrinkage and fire resistance. **Asian Timber**, v. 13, n. 10, p. 28-33, 1994.

BATTIE LACLAU, P. R. F. **Efeitos da adubação potássica sobre a adaptação à seca do *Eucalyptus grandis***. Piracicaba, 2013. 137p. (Tese Doutorado Energia Nuclear na Agricultura) Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

BATTISTELLA, A. **A madeira no mercado: Desafios, aplicações e usos**. In: Woodtrade Brazil. ABIMCI, Curitiba, 2016. 12p. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br/acervo-e-apresentacoes/palestras/>>. Acesso em 18/10/2017.

BAYER, C.; FAY, M. F.; BRUIJN, A. Y.; SAVOLAINEN, V.; MORON, C. M.; KUBITZKI, K.; ALVERSON, W. S.; CHASE, M. W. Support for an expanded family concept of Malvaceae within circumscribed order Malvales: a combined analysis of plastid atpB and rbcL DNA sequences. **Botanical Journal of Linnean Society**, v. 129, p. 267-303, 1999.

BAYLY, M. J. Phylogenetic studies of eucalypts: fossils, morphology and genomes. **The Royal Society of Victoria**, v. 128, p. 12-24, 2016.

BENDTSEN, B. A. Properties of wood improved and intensively managed trees. **Forest Products Journal**, Peachtree Corners, v. 28, n. 10, p. 61-71, 1978.

BENDTSEN, B. A.; SENFT, J. Mechanical and anatomical properties in individual growth ring of plantation grown eastern cottonwood and loblolly pine. Madison, **Wood and Fiber Science**, v. 18, n. 1, p. 23-38, Jan. 1986.

BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob efeito do espaçamento e da fertilização**. 2000. 106p. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais). Universidade Federal de Santa Maria, RS. Santa Maria, 2000.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8º Ed. Viçosa: UFV, 2008. 625p.



BHAT, K. M.; BHAT, K. V.; DHAMODARAN, T. K. Wood density and fiber length of *Eucalyptus grandis* grown in Kerala, India. **Wood and Fiber Science**, v. 22, n. 1, p. 54-61, 1990.

BIFFIN, E.; LUCAS, E. J.; CRAVEN, I. A.; COSTA, I. R.; HARRINGTON, M. G. et al., Evolution of exceptional species richness among lineages of fleshy-fruited Myrtaceae. **Annual Bot.**, v. 106, p. 79-93, 2010. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2889796/>. Acesso em 25 Jan. 2018.

BINKLEY, D.; STAPE, J. L.; RYAN, M. G.; BERNARD, H.; FOWNES, J. Age-related decline in forest ecosystem growth: an individual-tree, stand-structure, hypothesis. **Ecosystem**, v. 5, 58-67, 2002.

BINKLEY, D.; STAPE, J. L.; BAUERLE, W. L.; RYAN, M. G. Explaining growth of individual trees: light interception and efficiency of light use by *Eucalyptus* at four sites in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1704-1713, 2010.

BLAKELY, W. F. **A key to the Eucalypts**. First Ed. The Worker Trustess, St. Andrew's Place, Sydney. 1934.

BLUM, L. E. B.; DIANESE, J. C.; COSTA, C. L. Comparative pathology of *Cylindrocladium clavatum* and *C. scoparium* on *Eucalyptus* spp. and screening of *Eucalyptus* provenance to *Cylindrocladium* damping off. **Tropical Pest Management**, v. 38, n. 2, p. 155-159, 1992.

BOCK, R.; KHAN, M. S. Taming plastids for a green future. **Trends in Biotechnology**, London, v. 22, p. 311-318, 2004.

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York: Van Reinhold Company, 1993. 712p.

BOHTE, A.; DRINNAN, A. Floral development and systematic position of *Arillastrum*, *Allosyncarpia*, *Stockwellia* and *Eucalyptopsis* (Myrtaceae). **Plant Systematics and Evolution**, v. 251, p. 53-70, 2005.

BOLAND, D. J.; BROOKER, M. I. H.; CHIPPENDALE, G. M.; HALL, N.; HYLAND, B. P. M.; JOHNSTON, R. D.; KLEINIG, D. A.; Mc DONALD, M. W.; TURNER, J. D. **Forest trees of Australia**. 5<sup>th</sup> edition. Melbourne: CSIRO. 2006. 768p.

BONHAM, V. A.; BARNETT, J. R. Fiber length and microfibril angle in silver birch (*Betula pendula* Roth). **Holzforschung**, v. 55, p. 159-162, 2001.

BOOKER, R. E. The importance of the S<sub>3</sub> cell wall layer in collapse prevention and wood hardness. In: FOREST PRODUCTS RESEARCH CONFERENCE, 24, 1993. Clayton, Australia. **Anais...** Clayton, Australia: CSIRO, 1993. p. 1-13.

BOOTLE, K. R. **Wood in Australia**. Types, properties, and uses. 2<sup>o</sup> Ed. New York: McGraw-Hill. 2005. 452p.

BORGES, R. C. G.; BRUNE, A. Estudo da herdabilidade quanto à resistência a *Diaporthe cubensis* em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, v. 5, p. 115-120, 1981.

BOSCHETTI, W. T. N.; PAES, J. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; DUDECKI, L. Características anatômicas para produção de celulose do lenho de reação de árvores inclinadas de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 6, p. 459-467, jun. 2015.

BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. G. **Forest Products and wood Science: An introduction**, 4<sup>o</sup> Ed. Iowa State Press, USA. 2003.

BOYDEN, S.; BINKLEY, D.; STAPE, J. L. Competition among *Eucalyptus* tree depends on genetic variation and resource supply. **Ecology**, v. 89, p. 2860-2867, 2008.

BRASIL, M. A. M.; VEIGA, R. A. A.; MELLO, H. A. Densidade básica de madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, aos 3 anos de idade. **IPEF**, n. 19, p. 63-76, dez. 1979.

BRIGGS, B. G.; JOHNSON, L. A. S. Evolution in the Myrtaceae: evidence from inflorescence structure. **Proceedings of the Linnean Society of New South Wales**, v. 102. p. 158-256, 1979.

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

BROOKER, M. I. H. A new classification of the genus *Eucalyptus* L' Hér (Myrtaceae). **Australian Systematics Botany**, v. 13, p.79-148, 2000.

BROOKER, M. I. H.; KLEINIG, D. A. **Field guide to eucalypts**. v. 3. Northern Australia. 1º Ed. Blooming's Books, Melbourne, 1994.

BROWNING, B. L. The composition and chemical reactions of wood. In: BROWNING, B. L. (Ed.). **Chemistry of wood**. New York: Interscience, 1963. p. 57-101.

BUENO FILHO, J. S. S. **Modelos mistos na predição de valores genéticos aditivos em testes de progênies florestais**. Piracicaba, 1997. 118p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BUENO FILHO, J. S. S.; VENCOVSKY, R. Alternativas de análise de ensaios em Látice no melhoramento vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 2, p. 259-269, 2000.

BULMER, M. G. The effect of selection on genetic variability. **American Naturalist**, v. 105, p. 201-211, 1971.

BURDON, R. D.; KIBBLEWHITE, R. P.; WALKER, J. C. F.; MEGRAW, R. A.; EVANS, R.; COWN, D. J. Juvenile versus mature wood: a new concept, orthogonal to corewood versus outerwood, with special reference to *Pinus radiata* and *P. taeda*. **Forest Science**, v. 50, n. 4, p. 399-415, 2004.

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

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo, Nobel, 1991. p. 11-123.

BURROWS, G. E. Epicormic strand structure in *Angophora*, *Eucalyptus* and *Lophostemon* (Myrtaceae) implications for fire resistance and recovery. **The New Phytologist**, v. 153, p. 111-131, 2002.

BYRNE, M.; MORAN, G. F. Population divergence in the chloroplast genome of *Eucalyptus nitens*. **Heredity**, London, v. 73, p. 18-28, 1994.

BYRNE, M.; MORAN, G. F.; TIBBITS, W. N. Restriction map and maternal inheritance of chloroplast DNA in *Eucalyptus nitens*. **Journal Heredity**, v. 84, p. 218–220, 1994.

CAMARGO, J.; M. M.; ZANOL, K. M. R.; QUEIROZ, D. L.; DEDECECK, R. A.; OLIVEIRA, E. B.; MELIDO, R. C. N. Resistência de clones de *Eucalyptus* ao psilídeo-de-concha. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 77, p. 91-97, jan. / mar. 2014.

CAMERON, A. D.; LEE, S. J.; LIVINGSTON, A. K.; PETTY, J. A. Influence of selective breeding on the development of juvenile wood in Sitka spruce. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 35, p. 2951-2960, 2005.

CARIGNATO, A.; MORAES, C. B.; ZIMBACK, L.; MORI, E. S. Genetic resistance to rust of *Eucalyptus urophylla* progenies. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 1, 2019. 4p.

CARLQUIST, S. **Comparative wood anatomy**: systematic, ecological and evolutionary aspects of dicotyledonous wood. Springer, Berlin, Heidelberg. 2001. 448p.

CARMO, A. P. T. **Avaliação de algumas propriedades da madeira de seis espécies de eucalipto**. Viçosa, 1996. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa).

CARRILLO, I.; AGUAYO, M. G.; MENDONÇA, S. V. R. T.; ELISSETCHE, J. P. Variations in wood anatomy and fiber biometry o *Eucalyptus globulus* genotypes with different wood density. **Wood Research**, v. 60, n. 1, p. 1-10, 2015.

CARVALHO, A. O.; ALFENAS, A. C.; MAFFIA, L. A.; CARMO, M. G. F. Resistência de espécies, progênies e procedências de *Eucalyptus* à ferrugem, causada por *Puccinia psidii* Winter. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 139-147, 1998.

CASELLA, G.; BERGER, R. L. **Statistical inference**. Belmont: Duxbury, 1990. 650p.

CAVE, I. D. The anisotropic elasticity of the cell wall. **Wood Science and Technology**, v. 2, p. 268-278, 1968.

CAVE, I. D. The Longitudinal Young's modulus of *Pinus radiata*. **Wood Science and Technology**, v. 3, p. 40-48, 1969.

CAVE, I. D.; WALKER, J. C. F. Stiffness of wood in fast-grown plantation softwoods: the influence of microfibril angle. **Forest Products Journal**, v. 44, v. 5, p. 43-48, 1994.

CHAFE, S. C. Collapse, volumetric shrinkage, specific gravity and extractives in *Eucalyptus* and other species. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 21, n. 1, p. 27-41, 1987.

CHAFE, S. C. Collapse, volumetric shrinkage, specific gravity and extractives in *Eucalyptus* and other species. Part 1. The shrinkage/specific gravity ratio. **Wood Science and Technology**, v. 20, p. 293-307, 1986a.

CHAFE, S. C. Radial variation of collapse, volumetric shrinkage, moisture content and density in *Eucalyptus regnans* F. Muell. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 20, p. 253-262, 1986b.

CHAFE, S. C. The distribution and interrelationship of collapse, volumetric shrinkage, moisture content and density in trees of *Eucalyptus regnans* (F. Muell.). **Wood Science and Technology**, v. 19, p. 329-345, 1985.

CHAFFEY, N. Why is there so little research into the cell biology of the secondary vascular system of trees? **New Phytologist**, v. 153, p. 213-223, 2002.

CHAPOLA, G. B. J.; NGULEBE, M. R. Basic density of some hardwood species grown in Malawi. **South African Forestry Journal**, n. 153, p. 12-17, 1990.

CHAH. **Australian plant census** (online). Council of heads of Australian herbaria, Canberra. Disponível em: <http://biodiversity.org.au/nsl/services/apc>. Acesso em: 16 jan. 2018.

CHAUHAN, S.; DONNELLY, R.; HUANG, C. L. NAKADA, R.; YAFANG, Y.; WALKER, J. Wood quality: multifaceted opportunities. Primary wood processing: principles and practice. In: WALKER, J. **Trees**. 2ª Ed. Springer, Dordrecht, 2006. p. 159-202.

CHIPPENDALE, G. M. *Eucalyptus, Angophora* (Myrtaceae). In: GEORGE, A. S. (Ed.). **Flora of Australia**, v. 19, Myrtaceae. Australian Government Publishing Service, Canberra. p. 1-540. 1988a.

CHIPPENDALE, G. M. **Flore of Australia**. Canberra: Australian Government Publishing Service, 1988b. v. 17. 542p.

CHIU, C. M.; LIN, C. J.; WANG, S. Y. Tracheid length and microfibril angle of young *Taiwania* grown under different thinning and pruning treatments. **Wood and Fiber Science**, v. 37, n. 3, p. 437-444, 2005.

CHRISTINA, M.; LACLAU, J. P.; GONÇALVES, J. L. M.; JOURDAN, C.; NOUVELLON, Y.; BOUILLET, J. P. Almost symmetrical vertical growth rates above and below ground in one of the world's most productive forests. **Ecosphere**, v. 2, n. 3, art27. 2011. 10 p. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/20d4/1e61e5974b2e407b8d1e673a3d81229f96ed.pdf>.

Acesso em 2 novembro, 2019.

CHRISTOPHEL, D. C.; LYS, S. D. Mummified leaves of two new species of Myrtaceae from the Eocene of Victoria, Australia. **Australian Journal of Botany**, v. 34, p. 649-662, 1986.

COELHO, A. M. **Comparação de métodos de estimação de variância e parâmetros genéticos considerando o Delineamento III aplicado a caracteres quantitativos em milho**. Piracicaba, 2010. 101p. Doutorado (Doutora em Estatística e Experimentação Agronômica) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

COCKERHAM, C. C. Estimation of genetic variance. In: HANSON, W. D.; ROBINSON, H. F. (Ed.). **Statistical genetics and plant breeding**. Washington: National Academy of Science, 1963. p. 53-93. (NAS-RNC n. 982).

CORBASSON, M.; COSSALTER, C. Essais de provenances d' *Eucalyptus urophylla* Blake réalisés a partir des provenances recoltées par le Centre Technique Forestier Tropical. **Silvicultura**, v. 8, n. 31, p. 424-426, 1983.

COSTA, I. R.; FORNI-MARTINS, E. R. Chromosome studies in *Eugenia*, *Myrciaria* and *Plinia* (Myrtaceae) from southeastern Brazil. **Australian Journal of Botany**, v. 54, p. 409-415, 2006.

COUTINHO, R. T.; BESPALHOK FILHO, J. C.; FRITSCH NETO, R.; FRIZZO, C. Variabilidade da seleção precoce de *Pinus taeda* L. em diâmetro a altura do peito em programa de melhoramento genético. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 45, n. 113, p. 205-219, 2017.

COWDREY, D. R.; PRESTON, R. D. Elasticity and microfibrillar angle in the wood of *Sitka spruce*. **Proc. Roy. Soc**, London B, v. 166, p. 245-271, 1966.

CRISP, M. D.; BURROWS, G. E.; COOK, L. G.; THORNHILL, A. H.; BOWMAN, D. M. J. S. Flammable biomes dominated by eucalypts originated at the Cretaceous-Paleogene boundary. **Nature Communications**, v. 2, n. 193, 2011.

CRISP, M.; COOK, L.; STEANE, D. Radiation of the Australian flora: what can comparisons of molecular phylogenies across multiple taxa tell us about the evolution of diversity in present-day communities? **Philosophical Transactions of Royal Society of London B**, v. 359, p. 1551-1571, 2004.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3 Ed. Viçosa, Editora UFV. 2012. 514p.

CRUZ, C. R.; LIMA, J. T.; MUNIZ, G. I. B. Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 64, p. 33-47, 2003.



DADSWELL, H. E. **The anatomy of eucalypt woods**. Forest Products Laboratory, Division of Applied Chemistry Technological Paper, n. 66. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia, 1972. 39p.

DARROW, K.; ROEDER, K. R. Provenance trials of *Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus alba* in South Africa: seven years results. **South African Forestry Journal**, v. 125, p. 20-28, 1983.

DERESSE, T.; SHEPARD, R. K.; SHALER, S. M. Microfibril angle variation in red pine (*Pinus resinosa* Ait.) and its relation to the strength and stiffness of early juvenile wood. **Forest Products Journal**, v. 53, n. 7/8, p. 34-40, 2003.

DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente. **Scientia Forestalis**, v. 1, n. 65, p. 102-113, 2004.

DONALDSON, L. A. Microfibril angle: Measurement, variation and relationship – A Review. **IAWA Journal**, v. 29, n. 4, p. 345-386, 2008.

DONALDSON, L. A. Variation in microfibril angle among three genetic groups of *Pinus radiata* trees. **New Zealand Journal of Forest Science**, v. 23, p. 90-100, 1993.

DONALDSON, L. A. Within and between tree variation in microfibril angle in *Pinus radiata*. **New Zealand Journal of Forest Science**, v. 22, n. 1, p. 77-86, 1992.

DONALDSON, L. A. Between tracheid variability of microfibril angles in radiata pine. In: BUTTERFIELD, B. G. (Ed.). **Microfibril angle in wood: The Proceedings of the IAWA/IUFRO International Workshop on the "Significance of Microfibril angle to wood quality"**. 1998. 409p.

DONALDSON, L. A.; BURDON, R. D. Clonal variation and repeatability of microfibril angle in *Pinus radiata*. **New Zealand Journal of Forest Science**, v. 25, p. 164-174, 1995.

DONALDSON, L. A.; XU, P. Microfibril orientation across the secondary cell wall of radiate pine tracheas. *Trees*, Berlin, v. 19, n. 6, p. 644-653, Nov. 2005.

DORAN, J. C.; TURNBULL, J. W. **Australian trees and shrubs: species for land rehabilitation and farm planting in the tropics.** ACIAR Monograph, n. 24, 1997. 384p.

DORAN, J. C.; WILLIAMS, E. R.; BROPHY, J. J. Patterns of variation in the seedling leaf oils of *Eucalyptus urophylla*, *E. pellita* and *E. scias*. *Australian Journal of Botany*, v. 43, p. 327-336, 1995.

DREW, D. M.; GEOFFRE, Y. M.; DOWNES, G. M.; GRADY, A. P.; READ, J.; WORKEDGE, D. High resolution temporal variation in wood properties in irrigated and non-irrigated *Eucalyptus globulus*. *Annals of Forest Science*, v. 56, p. 1-10, 2009.

DUARTE, J. B.; VENCOSKY, R. Estimaco e predico por modelo linear misto com ênfase na ordenaco de médias de tratamentos genéticos. *Scientia Agricola*, v. 58, n. 1, p. 109-117, jan. / mar. 2001.

DUDA, L. L. **Seleo genética de árvores de *Pinus taeda* L. na região de Arapoti, Paraná.** 2003. 50 f. Dissertao (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

DVORAK, W. S.; HODGE, G. R.; PAYN, K. G. The conservation and breeding of *Eucalyptus urophylla*: a case study to better protect important populations and improve productivity. *Southern Forests*, v. 70, n. 2, p. 77-85, 2008. Disponível em; <http://dx.doi.org/10.2989/SOUTH.FOR.2008.70.2.3.531>. Acesso em 5/04/2017.

ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, J.; HARDWOOD, C.; VAN WYK, G. **Eucalypt domestication and breeding.** Clarendon, Oxford, UK. 1993. 288p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

ENGELUND, E. T.; THYGESEN, L. G.; SVENSSON, S.; HILL, C. A. S. A critical discussion of the physics of wood water interactions. **Wood Science and Technology**, v. 47, n. 1, p. 141-161, 2013.

ERICKSON, H. D.; ARIMA, T. Douglas-fir wood quality studies. Part II: Effects of age and stimulated growth on fibril angle and chemical constituents. **Wood Science and Technology**, v. 8, p. 255-265, 1974.

ESALQ/USP. **Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi**. 2019. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/svee/lcf-anhembi>. Acesso 25 julho 2019.

ESTEBAN, G.; PALACIOS DE PALACIOS, L.; CASASÚS, P. G. ORAMAS, A. P. C. **La madera y su anatomía**: anomalías y defectos, estructura microscópica de coníferas y frondosas. Identificación de maderas. Descripción de especies y pared celular. Editora Muldi-Prensa, Primera Edición. 2003. 327p.

EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; LUCIA, R. M. D.; LOBO, L. M.; SOUZA, M. O. A. Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake no sentido radial e longitudinal. **Ciência da Madeira**, v. 1, n. 2, p. 1-19, 2010a.

EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; VALLE, M. L. A.; XAVIER, B. A. Caracterização anatômica quantitativa da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 86, p. 273-284, 2010b.

EVANS, R.; HUGHES, M.; MENZ, D. Microfibril angle variation by scanning X-ray diffractometric. **Appita Journal**, v. 51, p. 27-33, 1998.

EVANS, R. A variance approach to the x-ray diffractometric estimation of microfibril angle in wood. **Appita Journal**, v. 52, n. 4, p. 283-289, 1999.

EVANS, R.; ILIC, J. Rapid prediction of wood stiffness from microfibril angle and density. **Forest Products Journal**, v. 51, p. 53–57, 2001.

EVANS, R.; STRINGER, S.; KIBBLEWHITE, R. P. Variation of microfibril angle, density and fiber orientation in twenty-nine *Eucalyptus nitens* tree. **Appita Journal**, v. 53, p. 450-457, 2000.

EVANS, R.; STUART, S.-A.; VAN DER TOUW, J. Microfibril angle scanning of increment cores by x-ray diffractometric. **Appita Journal**, v.49, n.6, p.411-414, 1996.

FALCONER, D. S. **Introduction to quantitative genetics**. 3 Ed. London: Longman Group, 1993. 438p.

FANG, S.; YANG, W.; TIAN, Y. Clonal and within tree variation in microfibril angle in poplar clones. **New Forests**, v. 31, p. 373-383, 2006.

FANG, S.; YANG, W.; FU, X. Variation of microfibril angle and its correlation to wood properties in poplars. **Journal of Forestry Research**, v. 15, n. 4, p. 261-267, 2004.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **Global Forest Resources Assessment 2015**. FAO: Roma, 2015. 56p. Disponível em: <https://www.unclearn.org/sites/default/files/inventory/a-i4793e.pdf>. Acesso em 27 março, 2018.

FARBER, J.; LICHTENEGGER, H. C.; REITERER, A.; STANZL-TSCHEGG, S.; FRATZL, P. Cellulose microfibril angles in a spruce branch and mechanical implications. **Journal Material Science**, v. 36, p. 5087-5092, 2001.

FERNANDES, J. S. C.; RESERENDE, M. D. V.; STURION, J. A.; MACCARI JR., A. Estudo comparativo de delineamentos experimentais para estimativas de parâmetros genéticos em erva mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hill). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 5, p.663-571, 2004.

FERNANDEZ, D. W. X. **Modelos de populações finitas e máxima verossimilhança finita no problema de estimativas negativas para componentes de variância**. Piracicaba, 1991. 118p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de “Agricultura Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

FERREIRA, F. A. **Patologia florestal: Principais doenças florestais do Brasil**. Viçosa, SIF, 1989. 570p.

FERREIRA, M. Melhoramento e a silvicultura intensiva clonal. **IPEF**, n. 45, p. 22-30, 1992.

FERREIRA, M. **Melhoramento genético do *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake direcionado para a formação de populações base tipo casca lisa (“gum”)**. Piracicaba: FAPESP, 1999. 106 p.

FERREIRA, M.; SANTOS, P. E. T. Melhoramento genético florestal dos eucaliptos no Brasil: breve histórico e perspectivas. In: IUFRO. CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, Salvador, 1997. **Proceedings**. Colombo: Embrapa/CNPF, 1997. v. 1, p.14-34.

FERREIRA, M.; SOUZA, I. C. G. **Caracterização e identificação dos clones de *Eucalyptus* da Bahia Sul Celulose S. A.** Piracicaba, IPEF, 1997. 227p.

FICHTLER, E.; WORBES, M. Wood anatomical variables in tropical trees and their relation to site conditions and individual tree morphology. **IAWA Journal**, v. 33, n. 2, p. 119-140, 2012.

FIRMINO, A. C.; TOZZE JR., H. J.; FURTADO, E. L. First report of *Ceratocystis fimbriata* causing wilt in *Tectona grandis* in Brazil. **New Disease Report**, v. 25, n. 24, 2012. 1p. Disponível em: <https://www.ndrs.org.uk/article.php?id=25024>. Acesso em 22 julho 2016.

FISHER, R. A. On the mathematical foundations of theoretical statistics. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A**, London, v. 222, p. 309-368, 1922.

FISHER, R. A. The correlation between relatives on the supposition of Medelian inheritance. **Transactions of the Royal Society of Edinburg**, v. 52, p. 399-433, 1918.

FISHER, R. A. Applications of "Student's" distribution. **Metron**, v. 5, p. 90-104, 1925.

FLORENCE, R. G. A perspective of the Eucalypt forests: Their characteristics and role in wood production. **New Zealand Journal of Forest**, v. 28, n. 3, p. 372-393, 1983.

FLORENCE, R. G. **Ecology and silviculture of Eucalypt Forests**. CSIRO, Collingwood, Australia. 1996.

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

FLORSHEIM, S. M. B.; COUTO, H. T. Z.; LIMA, I. L.; LONGUI, E. L. Variação nas dimensões dos elementos anatômicos da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 79-91, jun. 2009.

FOELKEL, C. E. B. Individualização das fibras da madeira do eucalipto para a produção de celulose Kraft. In: **Eucalyptus Online Book & Newsletter**. 2009. 107p.

FONWEBAN, J.; MAVROU, I.; GARDINER, B; MACDONALD, E. Modelling the effect of spacing and site exposure on spiral grain angle on Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) in Northern Britain. **Forestry**, Oxford, v. 86, n. 3, p. 331-342, 2013.

FOREST PRODUCTS LABORATORY, **Wood handbook**: wood as an engineering material. Madison: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. 508p. (General Technical Report FPL-GTR, 190).

FSC. FOREST STEWARDSHIP COUNCIL. **Strategic review on the future of forest plantations**. Helsinki, 2012. 121p.

FRANKS, P. J.; GIBSON, A.; BACHELARD, E. P. Xylem permeability and embolism susceptibility in seedlings of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. from two different climatic zones. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.22, p.15-21, 1995.

FREDERICK, D. J.; MADGWICK, H. A. I.; OLIVEIRA, G. R. Wood basic density and moisture content of young *Eucalyptus regnans* grown in New Zealand. **New Zealand Journal of Science**, v. 12, n. 3, p. 494-500, 1982.

FRENCH, J.; CONN, A. B.; BATCHELOR, W. J.; PARKER, I. H. The effect of microfibril angle on some hadsheet mechanical properties. **Appita Journal**, v. 53, p. 210-217, 2000.

FRITSCH NETO, R. **Predição de valores genotípicos de híbridos de milho com desbalanceamentos de genótipos em ambientes**. 2008. 71p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

GAIOTTO, F. A.; BRAMUCCI, M.; GRATTAPAGLIA, D. Estimation of outcrossing rate in a breeding population of *Eucalyptus urophylla* with RAPD and AFLP markers. **Theory Applied Genetic**, v. 95, p. 842-849, 1997.

GALLIO, E.; SANTINI, E. J.; GATTO, D. A.; SOUZA, J. T.; RAVASI, R.; MENEZES, W. M.; FLOSS, P. A.; BELTRAME, R. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. **Scientia Agraria Paranaenses**, Marechal Cândido Rondon, v. 15, n.3, p. 244-250, jul. / set. 2016.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 111p.

GAPARE, W. J.; HATHORN, A.; KAIN, D.; MATHSON, A. C.; WU, H. X. Inheritance of spiral grain in the juvenile core of *Pinus radiata* D. Don. Ann. **Canadian Journal Forest Research**, v. 37, p. 116-127, 2007.

GAPARE, W. J.; WU, H. X.; ABARQUEZ, A. Genetic control of the time of transitions from juvenile to mature wood in *Pinus radiata* D. Don. Ann. **Forest Science**, v. 63, p. 871-878, 2006.

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

GARCIA, J. N.; LIMA, I. L. Propriedades físicas e mecânicas como indicadores de seleção. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6, Campos do Jordão, 1990. **Anais**. São Paulo: SBS: SBERF, 1990. v. 3, p. 685-689.

GEIMER, R. L.; HERIAN, V. L.; XU, D. Influence of juvenile wood on dimensional stability and tensile properties of flakeboard. **Wood and Fiber Science**, v. 29, n. 2, p. 103-120, 1997.

GIBSON, A.; HUBICK, K. T.; BACHELARD, E. P. The effects of water stress on the morphology gas-exchange characteristics of *Eucalyptus camaldulensis* seedlings. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 18, p. 153-163, 1991.

GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. S.; DELLA LUCIA, R. M.; SARTÓRIO, R. C. Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvores, Viçosa**, v. 33, n. 3, p. 501-509, 2009.

GONÇALEZ, J. C.; SANTOS, G. L.; SILVA JR., F. G. MARTINS, O. S.; COSTA, J. A. Relações entre dimensões de fibras e de densidade da madeira ao longo do tronco de *Eucalyptus urograndis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 81-89, mar. 2014.



GORISEK, Z.; STRAZE, A.; GORNIK-BUCAR, D. BUCAR, B. Influence of some anatomical and physical properties of wood on warp during kiln drying of spruce (*Picea abies* Karst.) and silver fir (*Abies alba* Mill.). COST E 40... **Proceedings**. TEISCHINGER, A. (Ed.). Biel, p. 67-72, 2006.

GOULART, S. L; MARCATI, C. R. Anatomia comparada do lenho em raiz e caule de *Lippia salviifolia* Cham. (Verbenaceae). **Revista Brasileira de Botânica**, v. 31, p. 263-275, 2008.

GOUMA, R. Adaptation des provenances de *Eucalyptus urophylla* au Congo. **Cahiers Agricultures**, v. 7, n. 5, p. 403-406, 1998.

GOVAERTS, R.; SOBRAL, M.; ASHTON, P.; BARRIE, F.; HOLST, B. K.; LANDRUM, L. R.; MATSUMOTO, K.; MAZINE, F. F.; NIC LAUGHADHA, E.; PROENÇA, C. E. B.; SILVA, L. H. S.; WILSON, P. G.; LUCAS, E. J. **World checklist selected plant families – Myrtaceae**, v. 1. Kew, Royal Botanic Garden, 2008. p. 57-59. Disponível em: <http://apps.kew.org/wcsp>. Acesso em 20 nov. 2017.

GRATTAPAGLIA, D.; SEDEROFF, R. Genetic linkage maps of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophylla* using a pseudo-testcross: mapping strategy and RAPD markers. **Genetics**, v. 137, n. 4, p. 1121-1137, 1994.

GUIMARÃES, L. M. S.; RESENDE, M. D. V.; LAU, D.; ROSSE, L. N.; ALVES, A. A.; ALFENAS, A. C. Genetic control of *Eucalyptus urophylla* and *E. grandis* resistance to canker caused by *Chrysophorthe cubensis*. **Genetics and Molecular Biology**, v. 33, n. 3, p. 525-531, 2010.

GUNN, B. V.; McDONALD, M. W. *Eucalyptus urophylla* seed collections. In.: **Forest Genetic Resources Information**, No 19. Food and Agriculture Organization of the United Nation, Rome, 1991. P. 34-37.

HALL, R. Cenozoic reconstruction of SE Asia and the SW Pacific: changing patterns of land and sea. In: METCALFE, I.; SMITH, J. M. B.; MORWOOD, M.; DAVIDSON, I. D. (Ed.). **Faunal and floral migrations and evolution in SE Asia-Australasia**. 2001. p. 35-56

HAMRICK, J. L.; GODT, M. J. W.; SHERMAN-BROYLES, S. L. Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. **New Forests**, v. 6, p. 95–124, 1992.

HANSON, W. D. Heritability. In: HANSON, W. D.; ROBINSON, H. F. **Statistical genetics and plant breeding**. Washington: NAS-NCR, 1963. p. 125-139.

HARCOURT, R.; KYOZUKA, J. ZHU, X.; SOUTHERTON, S.; LLEWELLYN, D.; DENNIS, E.; PEACOCK, J. Genetic engineering for sterility in temperate plantation eucalypts. In: POTTS, B. M.; BORRALHO, N. M. G.; REID, J. B.; CROMER, R. N.; TIBBITS, W. N.; RAYMOND, C. A. (Ed.). **Eucalypt plantation: improving fiber yield and quality**. Proceedings of the CRC-IUFRO Conference, Hobart, 19 a 24 February 1995. p. 403-405.

HARRIS, J. M. **Spiral grain and wave phenomena in wood formation**. Springer Verlag. Berlin. 1989. 199p.

HARRIS, J. M.; MEYLAN, B. A. The influence of microfibril angle on longitudinal and tangential shrinkage in *Pinus radiata*. **Holzforschung**, v. 19, p. 144-153, 1965.

HARRIS, S. A.; INGRAM, R. Chloroplast DNA and biosystematics: the effect of intraspecific diversity and plastid transmission. **Taxon**, Utrecht, v. 40, n.3, p. 393-412, 1991.

HARTLEY, H. O.; RAO, J. N. K. Maximum likelihood estimation for the mixed analysis of variance model. **Biometrika**, v. 54, p.93-108, 1967.

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

HAYGREEN, J. G.; BOWYER, J. L. **Forest Products and wood science**: An introduction. 2° Ed. Ames: Iowa State University Press. 1989. 500p.

HEANEY, L. R. A synopsis of climatic and vegetation change in Southeast Asia. **Climate Change**, v. 19, p. 53-61, 1991.

HEIN, P. R. G.; LIMA, J. T. Relationship between micro fibril angle, modulus of elasticity and compressive strength in Eucalyptus wood. **Maderas Ciencia y Tecnologia**, v. 14, n. 3, p. 267-274, 2012.

HEIN, P. R. G.; SILVA, J. R. M.; BRANCHERIAU, L. Correlations among microfibril angle, density, modulus of elasticity, modulus of rupture and shrinkage in 6-year-old *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*. **Maderas, Ciencia y Tecnologia**, v. 15, p. 171-182, 2013.

HENDERSON, C. R. Best linear unbiased estimation and prediction under a selection model. **Biometrics**, Alexandria, v. 31, n. 2, p. 423-447, 1975.

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

HENDERSON, C. R. Estimation of variance and covariance components. **Biometrics**, v.9, n.2, p.226-252, 1953.

HENDERSON, C. R. Prediction of future records. POLLACK, E.; KEMPTHORNE, O.; BAILEY, I. In: International Conference on quantitative genetics. Ames, 1977. **Proceedings**. Ames: Iowa State University. 1977.

HENDERSON, C. R. Sire evaluation and genetic trends. In: ANIMAL BREEDING AND GENETICS SYMPOSIUM IN HONOR OF J. LUSH, 1973, Champaign, **Annals...** Champaign: ASAS, 1973. p. 10-41.

HENDERSON, C. R.; KEMPTHORNE, O.; SEARLE, S. R. VON KROSIGK, C. M. The estimation of environmental and genetic trends from records. **Biometrics**, Washington, v. 15, p. 2, p. 192-218, 1959.

HENRIQUES, E. P.; MORAES, C. B.; SEBBENN, A. M.; TOMAZELLO FILHO, M.; MORAES, M. L. T.; MORI, E. S. Estimativas de parâmetros genéticos para caracteres silviculturais e densidade do lenho em teste de progênies de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 45, n. 13, p. 119-128, mar. 2017.

HERMAN, M.; DUTILLEUL, P.; AVELLA-SHAW, T. Growth rate effects on intra-ring and inter-ring trajectories of microfibril angle in Norway spruce (*Picea abies*). **IAWA Bulletin**, v. 20, p. 3-21, 1999.

HIBINO, T.; CHEN, J. Q.; SHIBATA, D.; HIGUCHI, T. Nucleotide sequence of a *Eucalyptus botryoides* gene encoding cinnamyl alcohol dehydrogenase. **Plant Physiology**, v. 104, p. 305-306, 1994. Disponível em: <http://www.plantphysiol.org/content/plantphysiol/104/1/305.full.pdf>. Acesso em 20 abril 2018.

HILL, R. S. Origins of the southeastern Australian vegetation. **Philosophical Transactions of Royal Society of London B**, v. 359, p. 1537-1549, 2004.

HILL, K. D.; JOHNSON, L. A. S. Systematics studies in the Eucalypts: a study of the bloodwoods, genus *Corymbia* (Myrtaceae). **Telopea**, v. 6, p. 185-504, 1995.

HILL, R.; TRUSWELL, E.; McLOUGHLIN, S.; DETTMANN, M. Evolution of the Australian flora. In: GEORGE, A. S. (Ed.). **Flora of Australia**, v. 1. Co-published by SCIRO and Australian Biological Resources Study, 1999. p. 251-320.

HILLIS, W. E. Wood quality and utilization. In: HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. (Ed.) **Eucalypts for wood production**. Australia: CSIRO, 1978. p. 259-289.

HOUSE, A. P. N.; BELL, J. C. Isozyme variation and mating system in *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 43, n. 2/3, p. 167-176, 1994.

HOW, R. A.; SCHIMITT, L. H. SUYNTO, A. Geographical variation in the morphology of four snake species from the Lesser Sunda Islands, eastern Indonesia. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 59, p. 439-456, 1996.

IBA – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Estatístico Anual**. 2016. 100 p. Disponível em: <http://iba.org/pt/sala-de-imprensa/releases/9-conteudo-pt/715-iba-publica-relatorio-anual-2016>. Acesso em 20/08/2017.

IBÁ. **Relatório** **2017**. 80 p. Disponível em: [http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2017.pdf](http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf). Acesso em: 15 abr. 2018.

IBÁ. **Relatório** **2018**. 6p. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/digital-sumarioexecutivo-2018.pdf>. Acesso em 15 julho 2019.

IVKOVIC, M.; GAPARE, W. J.; ABARQUEZ, A.; ILIC, J.; POWELL, M. B.; WU, H. X. Prediction of wood stiffness, strength, and shrinkage in juvenile wood of radiata pine. **Wood Science and Technology**, v. 43, p. 237-257, 2009.

JACKSON, H. D.; STEANE, D. A.; POTTS, B. M.; VAILLANCOURT, R. E. Chloroplast DNA evidence for reticulate evolution in *Eucalyptus* (Myrtaceae). **Molecular Ecology**, v. 8, p. 739–751, 1999.

JACQUARD, A. Heritability: one word, three concepts. **Biometrics**, v. 39, n. 2, p. 465-477, 1983.

JAMMAL FILHO, F. A. **Determinação da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. a idades passadas com uso da técnica de atenuação de radiação gama**. 2011, 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Botucatu.

JANKOWSKY, I. P. Equipamentos e processos para secagem de madeiras. In; SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo, 1995. **Anais...** Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p. 109-118.

JANKOWSKY, I. P. Madeira juvenil: formação e aproveitamento industrial. Circular Técnica IPEF, n. 81, dez. 1979. 15p.

JANKOWSKY, I. P.; GALINA, I. C. M. **Curso técnico: secagem de madeiras**. 2013. 39 p. Disponível em:  
<<http://pimads.org/documentos/Apostila%20-%20Secagem%20de%20Madeiras.1110201310639.pdf>>. Acesso em: 24 out. 2017.

JANKOWSKY, I. P.; SANTOS, G. R. V.; ANDRADE, A. Secagem da madeira serrada de eucalipto. **Circular Técnica IPEF**, n. 199, p. 01-11, dez. 2003.

JOHNSON, L. A. S. Problems of species and genera in *Eucalyptus* (Myrtaceae). **Plant Systematics Evolution**, v. 125, p.155-167, 1976.

JOMAR FILHO, A. C. **Modelos lineares mistos: estrutura de matrizes de variância e covariância e seleção de modelos**. 2002. 85 p. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agronômica) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

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

KAGEYAMA, P. Y. **Varição genética em progênies de uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill) ex Maiden**. 1980. 125f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

KANG, K. Y.; ZHANG, S. Y.; MANSFIELD, S. D. The effects of initial spacing on wood density, fibril and pulp properties in jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.). **Holzforschung**, v. 58, n. 5, p. 455-463, 2004.

KARLSSON, L.; MÖRLING, T.; BERGSTEN, U. Influence of silvicultural regimes on the volume and proportion of juvenile and mature wood in boreal Scots pine. **Silva Fennica**, v. 47, n. 4, 2013. 17p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/264563244> Influence of silvicultural regimes on the volume and proportion of juvenile and mature wood in boreal Scots pine. Acesso em: 30 de outubro de 2018.

KEDROV, G. B. Functioning wood. **Wulfenia**, v. 19, p. 57-95, 2012.

KEEY, R. B.; LANGRISH, T. A. G.; WALKER, J. C. F. **Kiln-drying of lumber**. Berlin: Springer Verlag, 2000. 326p. (Springer Series in Wood Science).

KERSHAW, A. P.; MARTIN, H. A.; McEWEN, M. J. R. C. The Neogene: a period of transition. In: HILL, R. S. (Ed.). **History of the Australian vegetation: Cretaceous to Recent**. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 1994. p. 299-327.

KIEN, N. D.; JANSSON, G.; HARWOOD, C.; THINH, H. H. Genetic control of growth and form in *Eucalyptus urophylla* in northern Vietnam. **Journal of Tropical Forest Sciences**, v. 21, n. 1, p. 40-65, 2009.

KIKUTE, P. **Parâmetros genéticos em progênies de meios irmãos e clonais numa população de *Eucalyptus grandis* (Hill) ex Maiden na região de Telêmaco Borba – PR**. 1988. 199f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

KIRK, D. G.; BREEMAN, L. G.; ZOBEL, B. J. A pulping evaluation of juvenile loblolly pine. **Tappi Journal**, v. 11, p. 1600-1604, 1972.

KLITZKE, R. J. Secagem da madeira. In: OLIVEIRA, J T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, N. (Org.). **Tecnologia aplicada ao setor madeireiro**. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora, 2007. v. 1, p. 271-366.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. Curitiba, 2000. 275f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná). Curitiba.

KLOCK, U.; ANDRADE, A. S. **Química da madeira**. 4 ed. Curitiba: UFPR. 2013. 85 p. (Apostila). Disponível em:



<<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/quimicadamadeira/Quimica%20da%20Madeira%202013.pdf>>. Acesso: 18 out. 2017.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G.; HERNANDEZ, J.; ANDRADE, A. **Química da madeira**. Curitiba: UFPR, 2005. 86p. (Apostila). Disponível em: <http://marioloureiro.net/ciencia/biomass/quimicadamadeira.pdf>. Acesso em 05 dez. 2018.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÊ JUNIOR, W. **Principles of wood science and technology I**. Solid wood. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, New York, 1984. 592p.

KRAMER, E. M. Wood Grain Pattern Formation: A Brief Review. **Journal Plant Growth Regulation**, v. 25, n. 4, p. 290-301, 2006.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995. 495p.

KRETSCHMANN, D. E.; BRIDWELL, J. J.; NELSON, T. C. Effect of changing slope of grain on ash, maple, and yellow birch bending strength. In: WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING, 11, Riva Del Garcia, Italia. **Proceedings...**Riva Del Garcia, WCTE, 2010.

KU, Y. C.; SU, Y. C.; KUO, Y. T.; Wood characteristics and pulping potential of *Gmelina arborea*. **Taiwan Forest Research Institute**, v. 53, p. 17-31, 1989.

LACLAU, J. P.; ARNOUD, M.; BOUILLET, J. P.; RANGER, J. Spatial distribution of *Eucalyptus* roots in a deep sandy soil in Congo: relationship with the ability of the stand to take up water and nutrients. **Tree Physiology**, v. 21, p. 129-136, 2001.

LACLAU, J. P.; NOUVELLON, Y.; REINE, C.; GONÇALVES, J. L. M.; KRUSHE, A. V.; JOURDON, C.; MAIRE, G. BOUILLET, J. P. Mixing *Eucalyptus* and *Acacia* trees leads to fine root over-yielding

and vertical segregation between species. **Oecologia**, 2012. 13p. Disponível em: <https://intensifx.cirad.fr/content/download/4867/33712/version/1/file/Laclau+et+al.+2013+-+Oecologia.pdf>. Acesso em 2 novembro 2019.

LACLAU, J. P.; SILVA, E. A.; LAMBAIS, G. Dynamics of soil exploration by fine roots down to a depth of 10 m in *Eucalyptus grandis* plantations. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, n. 1, p. 1-12, 2013.

LADIGES, P. Y. Phylogenetic history and classification of eucalypts. In: WOINARSKI, J. C. Z. (Ed.). **Eucalypt Ecology: Individuals to Ecosystems**. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 1997. p. 16-29.

LADIGES, P. Y.; BAYLY, M. J.; NELSON, G. East-west continental variance in *Eucalyptus* Subgenus *Eucalyptus*. In: **Beyond Cladistics: The branching of a Paradigm**. WILLIAMS, D. M.; KANPP, (Ed.) University of California Press, California USA. 2010. p.267-302.

LADIGES, P. Y.; UDOVICIC, F.; DRINAN, A. N. *Eucalyptus* phylogeny: molecules and morphology. **Australian Systematics Botany**, v. 8, p.483-497, 1995.

LADIGES, P. Y.; UDOVICIC, F.; NELSON, G. Australian biogeographical connections and the phylogeny of large genera in the plant family Myrtaceae. **Journal of the Biogeography**, v. 30, p. 989-998, 2003.

LADRACH, W, E. Control of wood properties in plantations. Proceedings 18<sup>o</sup> IUFRO World Congress. Yugoslavia, 1986. **Proceedings...** p. 369-379, 1986.

LAHR, F. A. R.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; ARAÚJO, V, A.; VASCONCELOS, J. S.; CHRISTOFORO, A. L. Physical-mechanical characterization of *Eucalyptus urophylla* wood. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engennering**, v. 37, n. 5, p. 900-906, 2017.

LANGE, R. T. Carpological evidence for fossil Eucalyptus and other Leptospermeae (subfamily Leptospermoideae of Myrtaceae) from a Tertiary Deposit in the South Australian Arid Zone. **Australian Journal of Botany**, v. 26, p.221-233, 1978.

LANGRISH, T. A. G.; WALKER, J. C. F. Transport process in wood. In: WALKER, J. C. F. et al. (Ed.). **Primary wood processing: principles and practice**. London; Chapman & Hall, 1993. p. 121-152.

LANGRISH, T. A. G.; WALKER, J. C. F. Transport processes in wood. In: WALKER, J. C. F.; BUTTERFIELD, T. A. G.; LANGRISH, J. M.; HARRIS, J. M.; UPRICHARD, J. M. (Ed.). **Primary wood processing principles and practice**. London: Chapman & Hall, 1993. 595p.

LAPAGE, E. S. **Manual de preservação de madeiras**. 2 Ed. São Paulo: IPT, 1986. 708p.

LARA PALMA, H. A.; BALLARIN, A. W. Propriedades de contração da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda*. **Scientia Forestalis**, n. 64, p. 13-22, dez. 2003.

LARA PALMA, H. A.; LEONELLO, E. C.; BALLARIN, A. W. Demarcação da madeira juvenil e adulta de *Corymbia citriodora*. **Cerne**, Lavras, v. 16, p. 114-148, 2010.

LARSON, P. **The vascular cambium: development and structure**. Springer-Verlag, New York, 1994. 725p.

LARSON, P. R.; KRETSCHMANN, D. E.; CLARK, A.; ISEBRANDS, J. G. **Formation and properties of juvenile wood in southern pines: a synopsis**. Forest Products Laboratory. General Technical Report. 2001. 42p.

LATORRACA, J. V.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, v. 7, n. 1, p. 279-291, 2000.

LEITE, M. K. **Caracterização tecnológica da madeira de *Corymbia maculata*, *Eucalyptus cloeziana* e *E. resinifera* para a aplicação no design de Produtos de Maior Valor Agregado (PMVA)**. 2014. 135p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo. Piracicaba.

LEPAGE, E. S. **Manual de preservação de madeiras**. 2 Ed. São Paulo: IPT, 1986. 708p.

LI, C.; WENG, Q.; CHEN, J. B.; LI, M.; ZHOU, W.; GUO, D.; LU, C. CHEN, J. C.; XIANG, D.; GAN, S. Genetic parameters for growth and wood mechanical properties in *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. *New Forests*, v. 48, p.33-49, 2017.

LICHTENEGGER, H.; REITERER, A.; STANZL-TSCHEGG, S. E.; FRATZL, P. Variation of cellulose microfibril angles in softwoods and hardwoods. A possible strategy of mechanical optimization. *Journal of Structural Biology*, v. 128, p. 257–269, 1999.

LIMA, I. L.; LONGUI, E. L.; SANTINI JR., L.; GARCIA, J. N.; FLORSHEIM, S. M. B. Effect of fertilization on cell size in wood of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. *Cerne*, Lavras, v. 16, n. 4, p. 465-472, out. /dez. 2010.

LIMA, J. T.; BREESE, M. C.; CAHALAN, C. M. Variation in microfibril angle in *Eucalyptus* clones. *Holzforschung*, v. 16, p. 160-166, 2004.

LIMA, J. T.; RIBEIRO, A. O.; NARCISO, C. R. P. Microfibril angle of *Eucalyptus grandis* wood in relation to the cambial age. *Maderas, Ciencia y Tecnologia*, v. 16, n. 4, p. 487-494, 2014.

LIMA, L. C. **Variação do ângulo microfibrilar e do conteúdo de lignina na parede celular das fibras da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla***. 2015. 51p. Dissertação (Mestre em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

LIMA, W. P.; JARVIS, P.; RHIZOPOULOU, S. Stomatal responses of *Eucalyptus* species to elevated CO<sub>2</sub> concentration and drought stress. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60 n. 2, p. 231-238, 2003.

LOKMAL, N.; MOHD-NOOR, A. G. Radial variation in microfibril angle of *Acacia mangium*. **International Journal of Environmental & Agriculture Research**, v. 3, n. 3, p. 35-42, March 2017.

LONGUI, E. L.; LIMA, I. L.; FLORSHEIM, S. M. B.; MELO, A. C. G.; ROMEIRO, D.; SUCKOW, I. M. S.; TESTONI, L. N. Estrutura do lenho de *Plathymenia reticulata* e algumas implicações na eficiência hidráulica e resistência mecânica. **Floresta**, v. 42, n. 2, p. 335-346, 2012.

LOPES, C. S. D.; NOLASCO, A. M.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C. T. SO.; PANSINI, A. Estudo da massa específica básica e da variação dimensional da madeira de três espécies de eucalipto para a indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 315-322, abr. / jun. 2011.

LÓPEZ BAUTISTA, E. A. **Modelos lineares mistos e generalizados mistos em estudos de adaptação local e plasticidade fenotípica de *Euterpe edulis***. Piracicaba, 2014. 123p. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agronômica) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

LOURENÇON, T.; GATTO, D.; MATTOS, B.; DELUCIS, R. Propriedades físicas da madeira de *Corymbia citriodora* no sentido radial. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 99, p. 369-375, 2013.

LUSH, J. L. **Animal breeding plans**. Ames: Iowa State University Press. 1945. 443p.

LUTZ, J. F. **Wood veneer**: log selection, cutting, and drying. Forest Service, U.S.D.A. Technical Bulletin, n. 1577, January 1978. 148p.

LUZ, H. F. **Comparação de progênies de populações naturais e raças locais de *Eucalyptus urophylla*** S. T. Blake. 1997. 191p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MABBERLEY, D. J. **The plant book**: a portable dictionary of the vascular plants. Cambridge University Press, Cambridge, 1997.

MACEDO, H. R.; FREITAS, M. L. M.; MORAES, M. L. T.; ZANATA, M. SEBBENN, A. M. Variação, herdabilidade e ganhos genéticos em progênies de *Eucalyptus tereticornis* anos 25 anos de idade em Batatais-SP. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 100, p. 533-540, mar. 2013.

MADSEN, B. **Structural behavior of timber**. North Vancouver, British Columbia. Canada. Timber Engineering Ltd. 1992. 242p.

MALAN, F. S. *Eucalyptus* improvement for lumber production. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1., 1995, São Paulo. **Anais do...** Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p. 1-19.

MALAN, F. S. Variation, association and inheritance of juvenile wood properties of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden with special reference to the effect of rate of growth. **South African Forestry Journal**, Pretoria, v. 157, p. 16-23, 1991.

MALAN, F. S.; VERRY, S. D. Effect of genotype by environment on the wood properties and qualities of four-year-old *E. grandis* hybrids. **South African Forestry Journal**, n. 176, p. 47-53, 1996.

MARCATI, C. R.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V.; BENETATI, L. Anatomia comparada do lenho de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Laguminosae-Caesalpinoideae) de floresta e cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 4, p. 311-320, 2001.

MARCELINO, S. D. R.; IEMMA, A. F. Métodos de estimação de componentes de variância em modelos mistos desbalanceados. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 4, p.643-652, out. /dez. 2000.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding: principles in practice**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 454p.

MARTIN, B.; COSSALTER, C. Les *Eucalyptus* des îles de la Sonde. **Bois et forêts des tropiques**, Nogent-sur-Marne, n. 163, p. 3-25, 1975.

MARTIN, B.; COSSALTER, C. Les *Eucalyptus* des îles de la Sonde. **Bois et forêts des tropiques**, Nogent-sur-Marne, n. 165, p. 3-20, 1976a.

MARTIN, B.; COSSALTER, C. Les *Eucalyptus* des îles de la Sonde. **Bois et forêts des tropiques**, Nogent-sur-Marne, n. 168, p. 3-17, 1976b.

MARTIN, B.; COSSALTER, C. Les *Eucalyptus* des îles de la Sonde. **Bois et Forêts des Tropiques**, v. 164, p. 3–14, 1976c.

MARTIN, H. A. Australian Tertiary phytogeography: evidence from palynology. In: **History of the Australian Vegetation, Cretaceous to Recent**. HILL. R. S. (Ed.). Cambridge University Press, Cambridge, 1994. p. 103-142.

McCULLOCH, C. E.; SEARLE, S. R.; NEUHAUS, J. M. **Generalized, linear, and mixed models**. 2 Ed. New York: J. Wiley, 2001. 384p.

McKINNON, G. E.; VAILLANCOURT, R. E.; TILYARD, P.; POTTS, B. M. Maternal inheritance of the chloroplast genome in *Eucalyptus globulus* and interspecific hybrids. **Genome**, Ottawa, v. 44, p. 831-835, 2001.

McVAUGH, R. The genera of American Myrtaceae – An interim report. **Taxon**, v. 17, p. 354-418, 1968.

MEDEIROS, B. L. M. A.; GUIMARÃES JR., J. B.; RIBEIRO, M. X.; LISBOA, F. J. N.; GUIMARÃES, I. L.; PROTÁSIO, T. P. Propriedades físicas e químicas da madeira juvenil de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urograndis* cultivadas no Piauí. **Nativa**, Sinop, v. 4, n. 6, p. 403-407, nov. / dez. 2016.

MELO, J. E. **Sistemas estruturais em madeira**: Apostila. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Brasília. 2013. 158p. Disponível em: [http://www.mundoflorestal.com.br/arquivos/Julio-Apostila%20Uso%20da%20Madeira%20em%20Estruturas-%201aApostilaSEM\\_I2014.pdf](http://www.mundoflorestal.com.br/arquivos/Julio-Apostila%20Uso%20da%20Madeira%20em%20Estruturas-%201aApostilaSEM_I2014.pdf).

Acesso em 05 dez. 2018.

MELO, L. E. L.; SILVA, J. R. M.; NAPOLI, A.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; NASCIMENTO, D. F. R. Study of the physical properties of *Corymbia citriodora* wood for the prediction of specific cutting force. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 111, p. 701-708, set. 2016.

MENESES, V. A.; TRUGILHO, P. F.; CALEGARIO, N.; LEITE, H. G. Efeito da idade e do sítio na densidade básica e produção de massa seca de madeira em um clone do *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 105, p. 101-116, mar. 2015.

MEYER, K. Estimation of genetic parameters. In: HILL, W. G.; MACKAY, T. F. C. **Evolution and animal breeding**. Wallingford: CAB International, 1989. p. 161-167.



MEYLAN, B. A. Cause of high longitudinal shrinkage of wood. **Forest Products Journal**, v. 18, v. 4, p. 75-78, 1968.

MILLIKEN, G. A.; JOHNSON, D. E. **Analysis of messy data**. New York: Chapman & Hall, 1992. v.1. 473p.

MILOTA, M. R.; TSCHERNITZ, J. L.; VERRIL, S. P.; MIANOWSKI, T. Gas permeability of plantation Loblolly pine. **Wood Fiber Science**, Monona, v. 27, n. 1, p. 34-40, 1995.

MOKFIENSKI, A.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C. Importância da densidade e do teor de carboidratos totais da madeira de eucalipto no desempenho da linha de fibra. In: COLÓQUIO INTERNACIONAL SOBRE CELULOSE KRAFT DE EUCALIPTO, 1. 2003. Viçosa, MG. **Anais...Viçosa, MG; UFV, 2003.** p. 15-38.

MONTEIRO, T. C. **Efeito da anatomia no fluxo da água em madeira de *Eucalyptus* e *Corymbia***. 2014. 130p. Doutorado (Doutor em Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras. Lavras.

MONTEIRO, T. C.; LIMA, J. T.; HEIN, P. R. G.; SILVA, J. R. M.; TRUGILHO, P. F.; ANDRADE, H. B. Efeito dos elementos anatômicos da madeira na secagem das toras de *Eucalyptus* e *Corymbia*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 45, n. 115, p. 494-505, set. 2017.

MOORE, J. R.; COWN, D.; MCKINLEY, R. B. Modelling microfibril angle variation in New Zealand-grown radiata pine. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 44, p., 2014.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. Sociedade Brasileira de Silvicultura, São Paulo, 2000. 112p.

MORAES, M. L. T. **Variação genética da densidade básica na madeira em progênies de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e suas relações com as características de crescimento.** Piracicaba, 1987. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MORAES NETO, S. P.; TELES, R. F.; RODRIGUES, T. O.; VALE, A. T.; SOUZA, M. R. Propriedades mecânicas da madeira de cinco procedências de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* implantadas no Cerrado do Distrito Federal, DF. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 251, 2009. 20p.

MORAN, G. F.; BELL, J. C. *Eucalyptus*. In: TANKSLEY, S. D.; ORTON, T. J. (Eds.). **Isozymes in plant genetics and breeding**. Part B. Elsevier Science Publishers, Amsterdam. 1983. p. 423-441.

MORAN, J. V.; ZIMMERLY, S.; ESKES, R.; KENNEL, J. C.; LAMBOWITZ, A. M.; BUTOW, R. A.; PERLIMAN, P. S. Mobile group II introns of yeast mitochondrial DNA are novel site-specific retroelements. **Molecular and Cellular Biology**, v. 15, n. 5, p. 2928-2838, 1995. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.614.5430&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em 20 mar. 2018.

MOREIRA, W. S. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira.** 1999. 107 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa.

MORESCHI, J. C. **Propriedades tecnológicas da madeira.** Manual didático. 4o Ed. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014. 194p. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/38819502/moreschi-jc-propriedades-da-madeira-curitiba-fupec-2005>. Acesso em 05 dez. 2018.

MORI, E. S.; KAGEYAMA, P. Y.; FERREIRA, M. Variação genética e interação progênes x locais em *Eucalyptus urophylla*. **IPEF**, n. 39, p. 53-63, ago. 1988.

MORTON, S. R.; STAFFORD SMITH, D. M.; DICKMAN, C. R.; DUNKERLEY, D. L.; FRIEDEL, M. H.; McALLISTER, R. R. J.; ROSHIER, D. A.; SMITH, M. A.; WALSH, F. J.; WARDLE, G. M. WATSON, I. W.; WESTOBY, M. A fresh framework for the ecology of arid Australia. **Journal of Arid Environments**, v. 75, p.313-329, 2011.

MOTT, L.; GROOM, L.; SHALER, S. Mechanical properties of individual southern pine fibers. Part II. Comparison of early wood and latewood fibers with respect to tree height and juvenility. **Wood Fiber Science**, v. 34, p. 221-237, 2002.

MOURA, V. P. G. **O germoplasma de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2004. 12 p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Comunicado Técnico, 111).

MOURA, V. P. G. **Altitudinal variation in *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake**. Melbourne: University of Melbourne, 1977. 168p. Dissertação de Mestrado.

MOURA, V. P. G. Resultado de pesquisa com várias procedências de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, no centro-leste do Brasil. **Boletim de Pesquisa EMBRAPA/CPAC**, v. 3, p. 1-22, 1981.

MÜLLER, B. V.; ROCHA, M. P.; CUNHA, A. B.; KLITZKE, R. J.; NOCOLETTI, M. F. Avaliação das principais propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage., 2014, v. 21, n. 4, p. 535-542, out. / dez. 2014.

MULLER, J. Fossil pollen records of extant Angiosperms. **The Botanical Review**, v. 47, p. 1-142, 1981.

NAIDOO, S.; ZBOŇAK, A.; AHMED, F. The effect of moisture availability on wood density and vessel characteristics of *Eucalyptus grandis* in the warm temperate region of South Africa. **Forest and Wood Science**. 2006. Disponível em: <https://researchspace.csir.co.za/dspace/handle/10204/950?show=full>. Acesso em 23 outubro 2018.

NAYLOR, A.; HACKNEY, P. A review of wood machining literature with a special focus on sawing. **Bioresources**, v. 8, n. 2, p. 3122-3135, 2013.

NGUGI, M. R.; DOLEY, D.; HUNT, M. A.; RYAN, P.; DART, P. Physiological responses to water stress in *Eucalyptus cloeziana* and *E. argophloia* seedlings. **Trees**, Heidelberg, v. 18, p. 381-389, 2004a.

NGUGI, M. R.; HUNT, D. D.; DOLEY, D.; RYAN, P. DART, P. Selection of species and provenances for low rainfall areas: physiological responses of *Eucalyptus cloeziana* and *Eucalyptus argophloia* to seasonal conditions in subtropical Queensland. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, p. 141-156, 2004b.

NISGOSKI, S.; TRIANOSKI, R.; MUNIZ, G. I. B.; MATOS, J. L. M.; BATISTA, F. R. R. Anatomia da madeira de *Toona ciliata* características das fibras para produção de papel. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 41, n. 4, p. 717-728, out. / dez. 2011.

NOGUEIRA, M. C. J. A.; ALMEIDA, D. H.; VASCONCELOS, J. S.; ALMEIDA, T. H.; ARAÚJO, V. A.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Properties of *Eucalyptus umbra* wood for timber structures. **International Journal of Materials Engineering**, v. 8, n. 1, p. 12-15, 2018.

NUNES, G. H. S.; REZENDE, G. D. S. P.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. Implicações da interação Genótipo x Ambiente na Seleção de Clones de Eucalipto. **Cerne**, v. 8, n. 1, p. 49-58, 2002.

OLIVEIRA, J. G. L.; OLIVEIRA, J. T. S.; ABAD, J. I. M.; SILVA, A. G.; FIEDLER, N. C.; VIDAURE, G. B. Parâmetros quantitativos da anatomia da madeira de eucalipto que cresceu em diferentes locais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 3, p. 559-567, 2012.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1997, 429p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; SIMÕES, J. W.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: 1 – avaliações dendrométricas das árvores. **Scientia Forestalis**, n. 56, p. 113-124, 1999.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, p. 115-127, 2005.

OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p.381-385, 2003.

OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 5, p. 929-936, 2010.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**: structure, identification, properties, and uses of the commercial woods of the United States and Canada. 4. Ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 722p.

PARRA-O, C.; BAYLY, M.; DRINNAN, A.; UDOVICIC, F. LADIGES, P. Y. Phylogeny, major clades and infrageneric classification of *Corymbia* (Myrtaceae), based on nuclear ribosomal DNA and morphology. **Australian Systematic Botany**, v. 22, p. 384-399, 2009.

PARRA-O, C.; BAYLY, M.; UDOVICIC, F.; LADIGES, P. ETS sequence support the monophyly of the eucalypt genus *Corymbia* (Myrtaceae). **Taxon**, v. 55, p. 653-663, 2006.

PASZTOR, Y. P.; ETTORI, L. C.; ZANATO, A. C. S.; MORAIS, E. Teste internacional de procedências de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., Campos do Jordão, 1990. **Anais**. São Paulo: SBS/SBEF, 1990. v. 3, p. 421-425.

PATTERSON, J. D.; THOMPSON, R. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. **Biometrika**, London, v. 58, n. 3, p. 545-554, Dec. 1971.

PAYN, K. G.; DVORAK, W. S.; MYBURG, A. A. Chloroplast DNA phylogeography reveals the island colonization route of *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake (Myrtaceae). **Australian Journal of Botany**, v. 55, p. 673-683, 2007. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.924.1209&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em 25 Jan. 2018.

PAYN, T.; CARNUS, J. M.; SMITH, P. F.; KIMBERLEY, M.; KOLLERT, W.; SHIRONG, L.; ORAZIO, C.; RODRIGUEZ, L.; SILVA, L. N. WINGFIELD, M. J. Changes in planted forests and future global implications. **Forest Ecology and Management**, v. 352, p. 57-67, 2015.

PEARSON, R. G.; GILMORE, R. C. Effect of fast growth rate on the mechanical properties of loblolly pine. **Forest Products Journal**, v. 30, n. 5, p. 47-54, 1980.

PEDINI, M. The variation in the microfibrillar angle within the juvenile wood of Sitka spruce. **IAWA Bulletin**, v. 13, n. 261. 1992.

PERCIVAL, D. H., S. K. SUDDARTH, AND Q. B. COMUS. 1982. **Ceiling-floor partition separation studies**. Research Report 82-2, Small Homes Council. Building Research Council. Univ. of Illinois, Urbana-Champaign, IL.

PEREIRA, M. B.; VENCOVSKY, R. Limites de seleção recorrente. I. Fatores que afetam o crescimento das frequências alélicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 7, p. 68-780, 1998.

PERRI, S. H. V.; IEMMA, A. F. Procedimento "MIXED" do SAS® para análise de modelos mistos. **Science Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 959-967, 1999.

PERSTORPER, M.; JOHANSSON, M.; KLIGER, R.; JOHANSSON, G. Distortion of Norway spruce timber. Part 1. Variation of relevant wood properties. **Holz ALS Roh- und Werkestoff**, v. 59, p. 94-103, 2001.

PIEPHO, H. P. Best linear unbiased prediction (BLUP) for regional yield trials: a comparison to additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) analysis. **Theoretical Applied of Genetics**, v. 89, p. 647-654, 1994.

PIGATO, S. M. P. C.; LOPES, C. R. Avaliação da variabilidade genética em quatro gerações de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake por meio de marcador molecular RAPD. **Scientia Forestalis**, n. 60, p. 119-133, dez. 2001.

PINTO, C. S.; COSTA, R. M. L.; MORAES, C.; PIERI, C.; TAMBARUSSI, V.; FURTADO, E.; MORI, E. S. Genética variability in progenies of *Eucalyptus dunnii* Maiden for resistance to *Puccinia psidii*. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 14, p. 187-193, 2014.

PINTO JÚNIOR, J. E. **REML / BLUP para a análise de múltiplos experimentos, no melhoramento genético de *Eucalyptus grandis* W. ex Maiden.** 2004. 113f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2004.

PINTO JÚNIOR, J. E. **Variabilidade genética em progênies de uma população de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake da ilha Flores – Indonésia.** 1984. 166 p. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba.

PINYOPUSARERK, K.; GUNN, B. V.; WILLIAMS, E. R.; PRYOR, L. D. Comparative geographical variation in seedling morphology of three closely related red mahoganies, *Eucalyptus urophylla*, *E. pellita* and *E. scias*. **Australian Journal of Botany**, v. 41, n. 1, p. 23-34, 1993.

PIRES, I. E. **Eficiência da seleção combinada no melhoramento genético de *Eucalyptus* spp.** Viçosa, 1996. 116p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

POLE, M. S.; HILL, R. S.; GREEN, N.; MACPHAIL, M. K. The Oligocen Berwick Quarry flora – rainforest in a drying environment. **Australian Systematic Botany**, v. 6, p. 399-427.

POLOZZI, M. M. A.; TAYLOR, E.; SEVERO, D.; CALONEGO, F. W.; RODRIGUES, P. L. M. Propriedades físicas dos lenhos juvenil e adulto de *Pinus elliottii* Engelm var. *Elliottii* e de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 305-313, abr. / jun. 2012.

POORTER, L.; McDONALD, I.; ALARCON, A.; FICHTLER, E.; LICONA, J.; PEÑA-CLAROS, M.; STERCK, F.; VILLEGAS, Z.; SASS-KLAASSEN, U. The importance of wood traits and hydraulic conductance for the performance and life history strategies of 42 rainforest tree species. **New Phytologist**, v. 185, p. 481-492, 2010.



POUBEL, D. S.; GARCIA, R. A.; LATORRACA, J. V. F.; CARVALHO, A. M. Estrutura anatômica e propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 2, p. 117-126, abr. /jun. 2011.

POYNTON, R. J. **Tree planting in Southern Africa, v. 2.** The eucalypts. Report to the Southern African Regional Commission for the Conservation and Utilization of the Soil (SARCCUS), Department of Water Affairs and Forestry, Pretoria. 1979.

PRYOR, L. D. **Biology of *Eucalyptus***. London: Edward Arnold, 1976, 82p.

PRYOR, L. D.; JOHNSON, L. A. S. **A classification of the eucalypts**. Canberra: The Australian National University Press. 1971. 112p.

PRYOR, L. D.; JOHNSON, L. A. S. *Eucalyptus*: the universal Australian. In: KEAST, A. (Ed.). **Ecological biogeography of Australia**. Junk: The Hague, 1981. p. 499-539.

PRYOR, L. D.; WILLIAMS, E. R.; GUNN, B. V. A morphometric analysis of *Eucalyptus urophylla* and related taxa with descriptions of two new species. **Australian Systematic Botany**, v. 8, p. 57-70, 1995.

PUPIN, S.; SANTOS, A. V. A.; ZARUMA, D. U. G.; MIRANDA, A. C.; SILVA, P. H. M.; MARINO, C. L.; SEBBENN, A. M.; MORAES, M. L. T. Produtividade, estabilidade e adaptabilidade em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 105, p. 127-134, 2015.

PURNELL, R. C. Variation in wood properties of *Eucalyptus nitens* in a provenance trial on eastern Transvaal Highveld in South Africa. **South African Forestry Journal**, Pretoria, v. 144, p. 10-22, 1988.

QUILHÓ, T.; MIRANDA, I.; PEREIRA, H. Within tree variation in wood fiber biometry and basic density of the urograndis eucalypt hybrid (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*). **IAWA Journal**, v. 27, n.3 p. 243-254, 2006.

QUILHÓ, T.; PEREIRA, H. Within and between tree variation of bark content and wood density of *Eucalyptus globulus* in commercial plantations. **IAWA Journal**, Leiden, v. 22, n. 3, p.225-265, 2001.

RAIS, A.; SCHNEIDER, W.; PRETZSCH, H.; KUILEN, J. W. G. Influence of initial plant density on sawn timber properties of Douglas fir [*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco]. **Annals of Forest Science**, v. 71, p. 617-626, 20-14. Disponível em: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01102308/document>. Acesso em 22 maio 2019.

RAMOS, L. M. A.; LATORRACA, J. V. F.; PASTRO, M. S.; SOUZA, M. T.; GARCIAS, R. A.; CARVALHO, A. M. Variação radial dos caracteres anatômicos da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden e idade de transição entre lenho juvenil e adulto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 92, p. 411-418, dez. 2011.

RAO, C. R. Estimation of Variance and Covariance components MINQUE Theory. **Journal of Multivariate Analysis**, v. 1, p. 257-275, 1971a.

RAO, C. R. Minimum variance quadratic unbiased estimation of variance components. **Journal of Multivariate Analysis**, v. 1, p. 445-456, 1971b.

RAYMOND, C. A.; MUNERI, A. Nondestructive sampling of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* for wood properties. I. Basic density. **Wood Science and Technology**, New York, v.35, n. 1-2, p.27-39, abr., 2001.

REITERER, A.; LICHTENGER, H.; TSCHEGG, S.; FRATZL, P. Experimental evidence for a mechanical function of the cellulose microfibril angle in wood cell walls. **Philosophical Magazine A**, v. 79, n. 9, p. 2173-2184, 1999.

RESENDE, M D. V. Avanços da biometria florestal. In: ENCONTRO SOBRE TEMAS DE GENÉTICA E MELHORAMENTO, 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1997a. p. 20-46.

RESENDE, M D. V. Melhoramento genético de essências florestais. In: SANTOS, J. B. **SIMPÓSIO SOBRE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS**. Universidade Federal de Lavras, 1997b, p. 59-93.

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

RESENDE, M D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília, DF: EMBRAPA Informações Tecnológica, 2002b. 975p.

RESENDE, M D. V. **Software SELEGEN-REML/BLUP**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2002a. 67p. (Embrapa Florestas, Documentos 77).

RESENDE, M D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2007a. 561p.

RESENDE, M D. V. **SELEGEN-REML/BLUP: Sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2007b. 361p.

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

RESENDE, M D. V.; HIGA, A. R. Estimação de valores genéticos no melhoramento de *Eucalyptus*: seleção em um caráter com base em informações do indivíduo e de seus parentes. Embrapa Florestas. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 28/29, p.11-36, jan., dez., 1994a.

RESENDE, M D. V.; HIGA, A. R. Maximização da eficiência da seleção em testes de progênies de *Eucalyptus* através da utilização de todos os efeitos do modelo matemático. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, n. 28/29, p. 37-56, jan., dez., 1994b.

RESENDE, M D. V.; HIGA, A. R.; ARAUJO, A. J.; SAMPAIO, P. T. B.; WIECHETECH, M. S. S. Acurácia seletiva, intervalos de confiança e variâncias de ganhos genéticos associados a 22 métodos de seleção em *P. caribaea* var *hondurensis*. **Floresta**, v. 24, n. 1/2, p.35-45, 1995.

RESENDE, M D. V.; MENDES, S. Estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML) e a melhor predição não viciada (BLUP) em *Pinus*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 32/33, p.23-42, jan. /dez. 1996.

RIBEIRO, F. A.; ZANI FILHO, J. Variação da densidade básica da madeira em espécies/procedências de *Eucalyptus* spp. **IPEF**, Piracicaba, n. 46, p. 76-85, jan. / dez. 1993.

ROBINSON, G. K. That BLUP is a good thing: the estimation of random effects. *Statistical Science*, Beachwood, v. 6, n. 1, p. 15-51, Feb. 1991.

ROBINSON, N.; HARPER, R. J. SMETTEM, K. R. J. Soil water depletion by *Eucalyptus* spp. Integrated into dryland agricultural system. **Plant Soil**, v. 286, p. 141-151, 2006.

ROCHA, F. T.; FLORSHEIM, S. M. B.; COUTO, H. T. Z. Variação das dimensões dos elementos anatômicos da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos sete anos. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 43-55, 2004.

ROCHA, M. G. B. **Variação da densidade básica e correlações entre caracteres de progênies jovens de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden em duas etapas de crescimento.** 1983. 54p. Dissertação (Mestre em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

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

ROCHA, M. G. B.; PIRES, I. E.; XAVIER, A.; CRUZ, C. D.; ROCHA, R. B. Avaliação genética de progênies de meios-irmãos de *Eucalyptus urophylla* utilizando os procedimentos REML/BLUP e E (QM). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 4, p. 369-379, 2006b.

ROCKWOOD, D. L.; RUDIE, A. W.; RALPH, S. A.; ZHU, J. Y.; WINANDY, J. E. Energy product options for *Eucalyptus* species grown as short rotation wood crops. **International Journal of Molecular Science**, v. 8, n. 8, p. 1361-1378, 2008. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1422-0067/9/8/1361/htm>>. Acesso em: 17 out. 2017.

ROSADO, S. C. S.; BRUNE, A.; OLIVEIRA, L. M. Avaliação da densidade básica da madeira de árvores em pé. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 7, n. 2, p. 147-153, mar. / abr. 1983.

ROWELL, R. M.; BANKS, W. B. **Water repellency and dimensional stability of wood.** [S.l.]: Forest Products Laboratory, 1985. 21p. (General Technical Report FPL-50).

ROWELL, R. M.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S. Characterization and factors affecting fiber properties. In: FROLLINI, E.; LEÃO, A. L.; MATTOSO, L. H. C. (Ed.). **Natural polymers and agrofibers composites.** São Carlos, IQSC / USP, 2000. p. 115-133.

ROZEFELDS, A. C. *Eucalyptus* phylogeny and history: a brief summary. **Tasforests**, v. 8, p. 15-26, dez. 1996.

RYE, B. An interim key to the Western Australian tribes and genera of Myrtaceae. In: **Nuytsia Bulletin**, v. 19, n. 2, p. 313-323, 2009.

RYE, B. Chromosome number variation in the Myrtaceae and its taxonomic implications. **Australian Journal of Botany**, v. 27, p. 547-573, 1979.

SALVO, L.; LEANDRO, L.; CONTRERAS, H.; CLOUTIER, A.; ELUSTONDO, D. M.; ANANÍAS, R. A. Radial variation of density and anatomical features of *Eucalyptus nitens* trees. **Wood and Fiber Science**, v. 49, n. 3, p. 301-311, 2017.

SANTOS, A. F.; AUER, C. G.; GRIGOLLER JR., A. Doenças do eucalipto no sul do Brasil: identificação e controle. **Circular Técnica EMBRAPA-CNPF**, n. 45, 2001. p. 1-20.

SANTOS, P. E. T.; GARCIA, C. H.; MORI, E. S.; MORAES, M. L. T. Potencial para programas de melhoramento, estimativas de parâmetros genéticos e interação progênies x locais em populações de *Eucalyptus urophylla*. **IPEF**, n. 43/44, p. 11-19, jan. /dez., 1990.

SANTOS, P. E. T.; SCANAVACA JR., L.; FERREIRA, M. Programa de melhoramento de *Eucalyptus urophylla* var. *platyphylla*. **IPEF**, Jan, 1992. 22p.

SANTOS, G. R. V.; JANKOWSKY, I. P.; ANDRADE, A. Curva característica de secagem para madeira de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 214-220, 2003.

SAREN, M. P.; SERIMAA, R.; ANDERSSON, S.; SARANPAA, P.; KECKES, J.; FRATZL, P. Effect of growth rate on mean microfibril angle and cross-sectional shape of tracheids of Norway spruce. **Trees – Structure and Function**, v. 18, n. 3, p. 354-362, 2004.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT software**: Introduction to PROC MIXED. 1997. 26p. Disponível em: [https://webpages.uidaho.edu/~brian/proc\\_mixed\\_documentation\\_uky.pdf](https://webpages.uidaho.edu/~brian/proc_mixed_documentation_uky.pdf). Acesso em 2 de outubro, 2019.

SCANA VACA JÚNIOR, L. **Caracterização silvicultural, botânica e tecnológica do *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e de seu potencial para utilização em serraria**. 2001. 108p. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo.

SCANA VACA JÚNIOR, L.; FERREIRA, M.; SANTOS, P. E. T. **Relatório de estágio na FRD S. A., Sistema Norte, Maranhão e Para**. Piracicaba: IPEF, 1990. 61p. (Relatório Interno).

SCANA VACA JÚNIOR, L.; GARCIA, C. H.; GOMES, F. S. Comportamento de procedências/progênes de *Eucalyptus urophylla* procedente S. T. Blake na região do Jari. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1, CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., Curitiba, 1993. **Anais**. São Paulo: SBS/SBF, 1993. v. 3, p. 104-106.

SCANA VACA JÚNIOR, L.; GARCIA, J. N. Densidade básica da madeira de eucalipto. In: SIMPÓSIO CIENTÍFICO DOS PÓS-GRADUANDOS DO CENA/USP, 10. Piracicaba, **Anais**. Piracicaba, 2017. p.76.

SCANA VACA JÚNIOR, L.; GARCIA, J. N. Potencial de melhoramento genético em *Eucalyptus urophylla* procedente da Ilha Flores. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 64, p. 23-32, 2003.

SCANA VACA JÚNIOR, L.; GARCIA, J. N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira serrada de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, n. 65, p. 120-129, 2004.

SCHAEFFER, L. R. Linear models. 1999. p. 1-8. Disponível em: <http://aps.uoguelph.ca/~Irs/animalz/lesson8/> Acesso em 14 jun. 2018.

SEARLE, S. R. **Linear models**. New York: John Wiley, 1971. 532p.

SEARLE, S. R. R Henderson, the statistical, and his contributions to variance components estimation. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 74, n.11, p.4035-4044, 1991. Disponível em [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78599-8](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78599-8). Acesso em 06 Fev. 2017.

SEARLE, S. R.; CASELLA, G.; McCULLOCK, C. E. **Variance components**. New York: J. Wiley, 1992. 528p.

SEARLE, S. R. **Linear models for unbalanced data**. New York, John Wiley & Sons, 1987. 536p.

SENF, J. F.; BENDTSEN, B. A.; GALLIGAN, W. L. Weak wood. **Journal of Forestry**, n. 83, p. 476-485, 1985.

SERPA, P. N.; VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M.; PIMENTA, A. S. Avaliação de algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 5, p. 723-733, 2003.

SETTE JR., C. R.; OLIVEIRA, I. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; YAMAJI, F. M.; LACLAU, J. P. Efeito da aplicação e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 6, p. 1183-1190, 2012.

SETTE JR., C. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; LOUSADA, J. L.; LACLAU, J. P. Efeito da aplicação de fertilização nitrogenada e lodo de esgoto nas características da madeira juvenil de árvores de *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 3, p. 303-312, jul. / set., 2009.

SETTE JR., C. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C. T. S.; LACLAU, J. P. Crescimento em diâmetro do tronco das árvores de *Eucalyptus grandis* W. ex. Maiden e relação com as variáveis climáticas e fertilização mineral. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 979-990, 2010.



SHAW, R. G. Maximum likelihood approaches to quantitative genetics of natural populations. *Evolution*, Lawrence, v. 41, p.812-826, 1987.

SHIMIZU, J. Y.; PINTO JÚNIOR, J. E. **Diretrizes para credenciamento de fontes de material genético melhorado para reflorestamento**. Curitiba: EMBRAPA – CNPF, 1988. 15p. (EMBRAPA–CNPF. Séria Documentos, 18).

SIAU, J. F. **Flow in wood**. Syracuse University Press, 1971.131p.

SILVA, A. S.; BRITO, L. T. L.; OLIVEIRA, C. A. V.; MOITA, A. W. Parâmetros de solo em função da umidade na capacidade de campo em áreas irrigáveis do trópico semi-árido brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 1, p. 103-116, jan. 1990.

SILVA, D. A.; TRUGILHO, P. E. Comportamento dimensional da madeira de cerne e alborno utilizando-se metodologia de análise de imagem submetida a diferentes temperaturas. **Revista Cerne**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 56-65, 2003.

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden de diferentes idades, visando sua utilização na indústria moveleira**. 2002. 160p. Tese (Doutor em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SILVA, J. R. M.; MUÑIZ, G. I. B.; LIMA, J. T.; BONDUELLE, A. F. Influência da morfologia das fibras na usinabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 479-487, 2005.

SILVA, M. R.; MACHADO, G. O.; DEINER, L. J.; CALIL JÚNIOR, C. Permeability measurements of Brazilian *Eucalyptus*. **Materials Research**, São Carlos, v. 13, n. 3, p. 281-286, 2010.

SILVA, P. H. M. **Progênies de eucalipto estarão disponíveis em reunião do PCPN**. [S.l.]: Painel Florestal, 2011. Disponível em: <http://www.painelflorestal.com.br/arquivo/Progênies-de-eucalipto-estarao-disponiveis-em-reuniao-do-pcpn-02ebf5c1b710be2c49e9af5a4f99d8cc>.

Acesso em 20 out. 2017.

SILVA, P. H. M.; PAULA, R. C.; MIRANDA, A. C.; MORAES, M. L. T.; FURTADO, E. L.; PIERI, C.; BRAWNER, J.; LEE, D. Screening of rust and gall wasp in eucalypts species and provenances. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 83, p. 323-328, jul. / set. 2015.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; LIMA, W. P.; LIBARDI, P. L. Soil water dynamics and litter productions in eucalypt and native vegetation in southeastern Brazil. **Scientia Agricola**, v. 17, n. 5, p. 345-355, Sep. / Oct 2014.

SILVESTRE, M. M.; TORRES, S. F. **Contribución al conocimiento tecnológico de la madera de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden e Eucalyptus urophylla S. T. Blake proveniente de plantaciones forestales comerciales de 7 años de edad de las Choapas**. 2003. 119p. Dissertação (Mestrado em Ingenieria Forestal Industrial). Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo.

SKARR, C. **Wood-water relations**. Berlin: Springer Verlag, 1988. 283p.

SMITH, R. W.; BRIGGS, D. G. Juvenile wood: has it come of age? In: Proc, Juvenile wood: What does it means to forest management and forest products? **Forest Products Research Society**, Madison, WI. 1986. p. 1-11.

SPECHT, R. L. The influence of soils on the evolution of the eucalypt. In: ADAMS, M. A. (Ed.). **Nutrition of Eucalypt**. CSIRO, Melbourne, Australia. 1996.

SOUZA JÚNIOR, C. L. **Componentes da variância genética e suas implicações no melhoramento vegetal**. Piracicaba: FEALQ, 1989. 134p.

SOUZA JÚNIOR, W. P. **Propriedades físicas, mecânicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e de *Eucalyptus urophylla* oriundas dos municípios de Turmalina e de Paraopeba (MG).** 2004. 64 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa.

SOUZA, M. T.; LIMA, J. T.; SOARES, B. C. D.; GOULART, S. L.; LIMA, L. C. Delimitação estatística dos lenhos juvenil e adulto de *Eucalyptus* e *Corymbia*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 45, n. 116, p. 611-618, dez. 2017.

STANGERLIN, D. M.; SANTINI, E. J.; SUSIN, F.; MELO, R. R.; GATTO, D. A.; HASELEIN, C. R. Uso de estufa solar para secagem de madeira serrada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 461-472, 2009.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. *Eucalyptus* production and use supply, use and efficiency of use water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 193, n. 9, p. 17-31, 2004.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, S.; LOOS, R. A.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; SILVA, S. R.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J. M. A.; LIMA, A. M. N.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; ANDRADE, H. B.; ALVES, J. M.; SILVA, C. G. G.; AZEVEDO, M. R. The Brazil *Eucalyptus* Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1684-1694, 2010.

STEANE, D. A.; BYRNE, M.; VAILLANCOURT, R. E.; POTTS, B. M. Chloroplast DNA polymorphism signals complex interspecific interactions in *Eucalyptus* (Myrtaceae). **Australia Systematic Botanical**, v. 11, p. 25-40, 1998.

STEANE, D. A.; McKINNON, G. E.; VAILLANCOURT, R. E.; POTTS, B. M. ITS sequence data resolve higher level relationships among the Eucalyptus. **Molecular Phylogenetics Evolution**, v. 12, p. 215-223, 1999.

STEANE, D. A.; NICOLLE, D.; McKINNON, G. E.; VAILLANCOURT, R. E.; POTTS, B. M. Higher level relationships among the eucalypts are resolved by ITS-sequence data. **Australian Systematic Botany**, v. 15, p. 49-62, 2002.

STEIN, F. R. **Avaliação técnica do tempo de estocagem da madeira**. 2003. 36p. Monografia (Engenharia Florestal). Viçosa, MG: UFV, 2003. Disponível em: <http://www.celuloseonline.com.br/imagembank/Docs/Doc.Bank/Doutor%20%20Celulose/2003SteinFR.pdf>. Acesso em 22 mai. 2018.

STUART, S.; EVANS, R. X-ray diffraction estimation of the microfibril angle variation in eucalypt wood. **Appita**, v. 48, p. 197-200, 1994.

SUDMEYER, R. A.; SPEIJERS, J.; NICHOLAS, B. D.; Root distribution of *Pinus pinaster*, *P. radiata*, *Eucalyptus globulus* and *E. kochii* and associated soil chemistry in agricultural land adjacent to tree lines. **Tree Physiology**, v. 24, p. 1333-1346, 2004.

SYTSMA, K. J.; LITT, A.; ZJHRA, M. L.; PIRES, J. C.; NEPOKROEFF, M.; CONTI, E.; WILSON, P. Clades, clocks, and continents: historical and biogeographical analysis of Myrtaceae, Vochysiaceae, and relatives in the Southern Hemisphere. **International Journal of Plant Sciences**, v. 165, p. 85-05, 2004.

THIBAUT, B.; GRIL, J.; FOURNIER, M. Mechanics of wood and trees: some new highlights for an old story. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences – Series IIB – Mechanics**, Paris, v. 329, n. 9, p. 701-716, 2001.

THOMAS, D.; HENSON, M.; JOE, B.; BOYTON, S.; DICKSON, R. Review of growth and wood quality of plantation grown *Eucalyptus dunnii*. **Australian Forestry**, v. 72, n. 1, p. 3-11, 2009.

THOMPSON, J. D. Phenotypic plasticity as a component of evolutionary chance. **Trends in Ecology & Evolution**, Amsterdam, v.6, p. 246-249, 1991.

THOMPSON, R. Relationship between the cumulative difference and best linear unbiased predictor methods of evaluating bulls. **Animal Production**, Edinburgh, v. 23, p. 15-24, 1976.

THOMPSON, R. Sire evaluation. **Biometrics**, Washington, v. 35, n. 1, p. 339-353, 1979.

THORNHILL, A. H.; MACPHAIL, M. Fossil myrtaceous pollen as evidence for the evolutionary history of the Myrtaceae: A review of fossil Myrtaceidites species. **Review of Paleobotany and Palynology**, v. 176/177, p. 1-23, 2012.

THU, P. Q.; DELL, B.; BURGESS, T. I. Susceptibility of 18 eucalypt species to the gall wasp *Leptocybe invasa* in the nursery and young plantation in Vietnam. **Scienceasia**, v. 35, p. 113-117, 2009. Disponível em: [https://researchrepository.murdoch.edu.au/id/eprint/2963/1/susceptability\\_of\\_eucalypt\\_species.pdf](https://researchrepository.murdoch.edu.au/id/eprint/2963/1/susceptability_of_eucalypt_species.pdf). Acesso 25 agosto 2016.

TISCHLER, K. **Improvement of *Eucalyptus camaldulensis* wood**. Thesis Doctor. Hebrew University of Jerusalem. 1976. 125 p.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus gummifera*, *E. microcorys* e *E. pilularis*. **IPEF**, n. 30, p. 45-54, 1985a.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenioides*. **IPEF**, n. 36, p. 35-42, 1987.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. **IPEF**, Piracicaba, n. 29, p. 37-45, 1985b.

TOMAZELLO FILHO, M. **Variação radial dos constituintes anatômicos e da densidade básica da madeira de oito espécies de eucalipto**. Piracicaba: ESALQ/LCF, 1983. 102p. (Relatório Final).

TREVISAN, R.; ROSA, M.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; GATTO, D. A. Dimensões das fibras e sua relação com a idade de transição entre lenho juvenil e adulto de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1385-1393, 2017.

TRIPIANA, V.; BOURGEOIS, M.; VERHAEGEON, D.; VIGNERON, P.; BOUVER, J. M. Combining microsatellites, growth, and adaptive traits for managing in situ genetic resources of *Eucalyptus urophylla*. **Canadian Journal of Forest Research, NRC Research Press**, v. 37, n. 4, p. 773-785, 2007.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A. Correlações canônicas das características físicas e químicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 66-80, 2003.

TSEHAYE, A.; BUCHANAN, A. H.; WALKER, J. C. F. A comparison of density and stiffness for predicting wood quality of density: the lazy man's guide to wood quality. **Journal of the Institute of Wood Science**, v. 13, n. 6, p. 539-543, 1995.

TULIK, M.; KLOSINSKA, T.; IQBAL, M.; GROCHOWINA, A. Figures of the wood of *Khaya ivorensis* and *Millettia laurentii*. **Wood Research**, Bratislava, v. 56, n. 4, p. 613-620, 2011.

TURNBULL, J. BROOKER, I. **Timor mountains gum. *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake**. Forest Tree Series, Division of Forest Research, SCIRO, Australia, n. 214, p. 1978.

TYREE, M. T.; ZIMMERMANN, M. H. **Xylem structure and the ascent of sap**. Second Ed. Berlin; New York: SpringerVerlag. 2002. 292p.

UDOVICIC, F.; McFADDEN, G.; LADIGES, P. Y. Phylogeny of *Eucalyptus* and *Angophora* based on 5S rDNA spacer sequence data. **Molecular Phylogenetics Evolution**, v. 12, p. 247-256, 1995.

VAILLANCOURT, R. E.; POTTS, B. M.; MANSON, A.; ELDRIGE, T.; REID, J. B. Using RAPDs to detect QTLs in an interspecific F<sub>2</sub> hybrid of *Eucalyptus*. In: ***Eucalyptus* plantations: Improving fiber yield and quality**. CRCTHF-IUFRO Conference. Hobart, Australia, 19 a 24 February 1995. CRC for Temperate Hardwood Forestry. POTTS, B. M.; BORRALHO, N. M. G.; REID, J. B.; CROMER, R. N.; TIBBITS, W. N. RAYMOND, C. A. (Ed.). p. 430-431.

VALERA, F. P.; KAGEYAMA, P. Y. Interação Genótipo X Espaçamento em progênies de *Eucalyptus saligna* Smith. **IPEF**, n. 39, p. 5-16, ago. 1988.

VAN VLECK, L. D.; POLLAK, E. J.; OLTENACU, E. A. B. **Genetics for the animal science**. New York: W. H. Freeman, 1987. 391p.

VAYAGO, S. A.; DIONELLO, N. J. L.; FIGUEIREDO, E. A. P. Estimativas de parâmetros e tendências genéticas para algumas características de importância econômica em linhagem paterna de frangos de corte sob seleção. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 7, p. 1230-1235, jul., 2008.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In; PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. (Ed.). **Melhoramento e produção de milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, cap. 5 p. 137-214.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fito melhoramento**. Ribeira Preto: Sociedade Brasileira de Genética. 1992. 416p.

VERCOE, T. K.; HOUSE, A. P. N. Genetic resources of *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. In: IUFRO SYMPOSIUM, Solving tropical forest resource concerns through tree improvement, gene conservation and domestication of new species, Cali, Colombia, October 1992. **Annals.**

VERCOE, T.; CKARKE, C. **Trial growth performance of *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake.** Report to FAO Forestry Division on the growth of *Eucalyptus urophylla* in International provenance trials and other growth trails. Canberra: CSIRO Division of forestry and Forest Products. 1994.

VERMAAS, H. F. A review of drying technology for young fast-grown eucalypts. In: THE FUTURE OF *Eucalyptus* FOR WOOD PRODUCTS, 2000, LAUNCESTON. **Proceedings...** LAUNCESTON. IUFRO, 2000, p. 193-203.

VIA, B. K.; SO, C. L.; SHUPE, T. F.; GROOM, L. H.; WIKAIRA, J. Mechanical response of longleaf pine to variation in microfibril angle, chemistry associated wavelengths, density, and radial position. **Composites Part A: applied Science and Manufacturing**, v. 40. n. 1, p. 60-66, 2009.

VIERA, F. S.; BUCSAN, B. Ocorrências naturais de *Eucalyptus urophylla* na Indonésia. **Silvicultura**, São Paulo, n. 14, p. 359-361, 1980.

VITAL, B. R.; PEREIRA, A. R.; DELLA-LUCIA, R. M.; ANDRADE, D. C. Efeito da idade da árvore na densidade da madeira de *Eucalyptus grandis* cultivado na região do cerrado de Minas Gerais. **Revista Brasil Florestal**, Brasília, n. 8, p. 49-52, 1984 (Boletim Técnico, 8).

VORIS, H. K. Maps of Pleistocene sea levels in Southeast Asia: shorelines, river systems and time durations. **Journal of Biogeography**, v, 27, p. 1153-1167, 2000.

VUUREN, N. J. J. V.; BANKS, C. H.; STÖHR, H. P. **Shrinkage and density of timbers used in the Republic of South Africa.** 1978. South Africa: Department of Forestry, Bulletin, 57. p. 1945-1980.



WALKER, J. C. F. Basic wood chemistry and cell wall ultrastructure. In: LANGRISH, T. A. G.; WALKER, J. C. F. Transport processes in wood. In: WALKER, J. C. F.; BUTTERFIELD, T. A. G.; LANGRISH, J. M.; HARRIS, J. M.; UPRICHARD, J. M. (Ed.). **Primary wood processing principles and practice**. London: Chapman & Hall, 1993. 595p.

WALKER, J. C. F. **Primary wood processing**. London, Chapman & Hall, 1993. 595p.

WALKER, J. C. F.; BUTTERFIELD, B. G. The importance of microfibril angle for the processing industries. **New Zealand Journal of Forest**, p. 35-40, 1995.

WALKER, J. C. F.; BUTTERFIELD, B. G.; HARRIS, J. M.; LANGRISH, T. A. G.; UPRICHARD, J. M. **Primary wood processing: Principles and practice**. London; Chapman & Hall, 1993. 595p.

WANGAARD, F. F. **The mechanical properties of wood**. New York: University of Florida Libraries, 1950. 377p.

WASHUSEN, R.; BAKER, T.; MENZ, D.; MORROW, A. Effect of thinning and fertilizer on the cellulose crystallite width of *Eucalyptus globulus*. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 39, n. 7, p. 569-578, 2005.

WESSELS, C. B.; CRAFFORD, P. L.; DU TOIT, B. GRAHN, T.; JOHANSSONS, M.; LUNDQVIST, S. O.; SÂLL, H.; SEIFERT, T. Variation in physical and mechanical properties from three drought tolerant *Eucalyptus* species grown on the dry west coast of Southern Africa. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 74, n. 4, p. 563-575, Jul. 2016.

WHITE, D. A.; BEADLE, C. L.; WORLEDGE, D. Control of transpiration in an irrigated *Eucalyptus globulus* Labill. Plantation. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 23, n. 2, p. 123-134, 2000a.

WHITE, D. A.; TURNER, N. C.; GALBRAITH, J. H. Leaf water relations and stomatal behavior of four allopatric *Eucalyptus* species planted in Mediterranean southwestern Australia. **Tree Physiology**, Victoria, v.20, p.1157-1165, 2000b.

WHITE, T.; HODGE, G. **Predicting breeding value with applications in forest tree improvement**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1989. 367p.

WIANDY, J. E.; ROWELL, R. M. The chemistry of wood strength. In: **The chemistry of solid wood**. Washington, D. C. American Chemical Society, 1984. p. 211-255.

WILCOX, W. W.; BOTSAL, E. E.; KUBLER, H. **Wood as a building material**: a guide for designers and builders. Wiley Interscience Publications, 1991.

WILKES, J. The influence of rate of growth on the density and heartwood extractives content of eucalypt species. **Wood Science and Technology**, v. 18, p. 113-120, 1984.

WILLIAMS, J. E.; WOINARSKI, J. C. Z. **Eucalypt ecology**: individuals to ecosystems. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 1997.

WILLIS, K. J.; McELWAIN, J. C. The evolution of plants. **Annals of Botany**, v. 90, n. 5, p. 678-679, 2002.

WILSON, P. G.; O'BRIEN, M. M.; GADEK, P. A.; QUINN, C. J. Myrtaceae revisited: a reassessment of infrafamilial groups. **American Journal of Botany**, v. 88, p. 2013-2025, 2001.

WILSON, P. G.; O'BRIEN, M. M.; HESLEWOOD, M. M.; QUINN, C. J. Relationships within Myrtaceae sensu lato based on a matK phylogeny. **Plant Systematics and Evolution**, v. 251, p. 3-19, 2005.

WILSTSHIRE, R. J. E. Eucalypts. In: BURLEY, J.; EVANS, J.; YOUNGQUIST, J. A. (Ed.). **Encyclopedia of forest science**. Elsevier Science, Oxford, 2004. p. 1687-1699.

WIMMER, R.; DOWNES, G. M.; EVANS, R. High resolution analysis of radial growth and wood density in *Eucalyptus nitens*, grown under different irrigation regimes. **Annals Forest Science**, v. 59, p. 519-524, 2002a.

WIMMER, R.; DOWNES, G. M.; EVANS, R. Temporal variation of micro fibril angle in *Eucalyptus nitens* grown in different irrigation regimes. **Tree Physiology**, v. 22, n. 7, p. 449-457, 2002b.

WINK, C.; MOTEIRO, J. S.; REINERT, D. J.; LIBERALESSO, E. Parâmetros da copa e suas relações com o diâmetro e altura das árvores de eucalipto em diferentes idades. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 93, p. 57-67, mar. 2012.

WOLFE, K. H.; SHARP, P. M. Identification of functional open reading frames in chloroplast genomes. **Gene**, Amsterdam, v. 66, p. 215-222, 1988.

YAMAMOTO, H.; SASSUS, F.; MINOMIYA, M.; GRIL, J. A model of anisotropic swelling and shrinking process of wood. Part 2. A simulation of shrinking wood. **Wood Science and Technology**, v. 35, n. 11, p. 167-181, 2001.

YANG, J.L.; EVANS, R. Prediction of MOE of eucalypt wood from micro fibril angle and density. **Holz ALS roh-und Werkstoff**, v. 61, n. 6, p. 449-452, 2003.

YANG, J. L.; EVANS, R.; FIFE, D. Prediction of MOE of *Eucalyptus* wood from microfibril angle and density. **Holz ALS Roh-und Werkstoff**, v. 61, n. 6, p. 449-452, 2003a.

YANG, J. L.; ILIC, J.; EVANS, R.; FIFE, D. Interrelationships between shrinkage properties, microfibril angle, and cellulose crystallite width in 10-year-old *Eucalyptus globulus*. **New Zealand Journal of Forestry Sciences**, v. 33, n. 1, p. 47-61, 2003b.

YING, L.; KRETSCHMANN, D. E.; BENDTSEN, B. A. Longitudinal shrinkage in fast-grown loblolly pine plantation wood. **Forest Products Journal**, v. 44, n. 1, p. 58-62, 1994.

ZANI FILHO, J.; KAGEYAMA, P. Y.; BERTI FILHO, E. Avaliação de ataque de *Platypus* sp. em procedências e progênes de *E. urophylla*. **IPEF**, n.28, p.33-39, dez., 1984.

ZANUNCIO, A. J. V.; LIMA, J. T.; MONTEIRO, T. C.; CARVALHO, A. G.; TRUGILHO, P. F. Secagem de toras de *Eucalyptus* e *Corymbia* para uso energético. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 99, p. 353-360, 2013.

ZHANG, S. Y. Mechanical properties in relation to specific gravity in 342 Chinese woods. **Wood and Fiber Science**, v. 26, n. 4, p. 512-526, 1994.

ZHANG, S. Y.; CHAURET, G.; REN, H. Q.; DESJARDINS, R. Impact of initial spacing on plantation black spruce lumber grade yield, bending properties, and MSR yield. **Wood Fiber Science**, v. 34, n. 3, p. 460-475, 2002.

ZOBEL, B. J. The changing quality of the world wood supply. **Wood Science and Technology**, v. 18, n. 1, p. 1-17, 1984.

ZOBEL, B. J.; BUIJTENEN, J. P. V. **Wood variation its cause and control**. Springer-Verlag, Berlin, Germany. 1989. 369P. p. 218–248.

ZOBEL, B. J.; SPRAGUE, J. R. **Juvenile wood in forest trees**. Springer, Berlin, 1998. 300p.

ZOBEL, B. J.; TALBERT, J. T. **Applied forest tree improvement**. John Wiley & Sons, New York, 1984, 505p.

ZUO, H.; MODAK, A.; RYAN, M.; RAMASWAMY, S. Experimental analysis of the effect of local non-uniformity on convective heat and mass transfer in media. INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 14... **Annals**, São Paulo, 2004. p. 1311-1318.

