



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**JOSE CLAILSON FRANCO COELHO**

**EFEITOS DOS DESVIOS DA GRÃ NAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E  
PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS EM MADEIRAS DE EUCALIPTO**

JERÔMIMO MONTEIRO – ES

2016

JOSE CLAILSON FRANCO COELHO

**EFEITOS DOS DESVIOS DA GRÃ NAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E  
PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS EM MADEIRAS DE EUCALIPTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais, na Área de Concentração Ciências Florestais.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Graziela Baptista Vidaurre

Coorientadores: Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira e Prof. Dr. Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho

JERÔMIMO MONTEIRO – ES

2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

C672e Coelho, José Clailson Franco, 1989-  
Efeitos dos desvios da grã nas variáveis dendrométricas e propriedades físico-mecânicas em madeiras de eucalipto / José Clailson Franco Coelho. – 2016.

56 f. : il.

Orientadora: Graziela Baptista Vidaurre.

Coorientadores: José Tarcísio da Silva Oliveira; Pedro Gutemberg de Alcântara.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Eucalipto. 2. Madeira. 3. Qualidade. 4. Máximo desvio angular. I. Vidaurre, Graziela Baptista. II. Oliveira, José Tarcísio da Silva. III. Alcântara, Pedro Gutemberg. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. V. Título.

CDU: 630

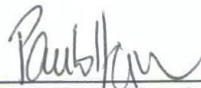
---

**EFEITOS DOS DESVIOS DA GRÃ NAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E  
PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS EM MADEIRAS DE EUCALIPTO**

JOSE CLAILSON FRANCO COELHO

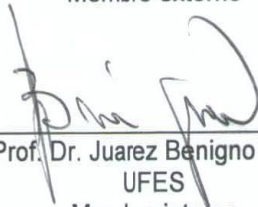
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais, na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 27 de outubro de 2016.



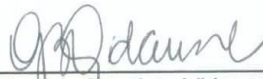
---

Prof. Dr. Paulo Ricardo Gherardi Hein  
UFLA  
Membro externo



---

Prof. Dr. Juarez Benigno Paes  
UFES  
Membro interno



---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Graziela Baptista Vidaurre  
UFES  
Orientadora

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me proporcionar a dádiva da vida, saúde, sustentação, iluminação e proteção em todos os momentos de minha caminhada.

Aos meus pais Raimundo de Souza Coelho “Sorriso” e Maria Auxiliadora Cordeiro Franco “Dorina”, pelo amor incondicional, educação, carinho, incentivo e por suportarem minha ausência ao longo dessa etapa da minha vida e me incentivarem a perseguir com os meus sonhos. Aos meus irmãos e tios, que sempre estiveram ao meu lado amparando e aconselhando-me.

A Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, especialmente ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira e ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, pela minha formação profissional e pela estrutura para a realização desta pesquisa.

A CAPES e FIBRIA, pela concessão da bolsa e material para realização desta pesquisa.

Ao Laboratório de Ensaaios Não Destrutivos, da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, em nome da Prof<sup>a</sup>. Raquel Gonçalves, pela realização do ensaio de ultrassom.

A Universidade Federal do Acre (UFAC), por permitir a minha ausência das atividades de docência para concluir essa etapa de minha vida profissional.

A minha orientadora Prof<sup>a</sup>. Graziela Baptista Vidaurre, pela amizade, dedicação, paciência, compreensão, preocupação, incentivo, conhecimentos e ideias compartilhadas e pela oportunidade de ser orientado por uma profissional brilhante.

Aos meus coorientadores Prof. José Tarcísio da Silva Oliveira e Prof. Pedro G. Alcântara Segundinho, pelo incentivo, disponibilidade, sugestões, conselhos e conhecimentos empregados no desenvolvimento e execução deste trabalho.

Aos professores de graduação Claudene Calderon e Rafael Calderon, pelo apoio, incentivo, amizade, orientação, sugestões, conselhos, ensinamentos e exemplo de profissionais.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Marina Donária Chaves Arantes, Djeison Cesar Batista, Juarez Benigno Paes, Fabricio

Gomes Gonçalves e Adriano Ribeiro, por compartilharem seus conhecimentos e experiências.

Ao meu “conselheiro” e “irmão” João Gabriel Missia da Silva, pela amizade, conselhos, incentivos, parceria, momentos de descontração, conhecimento compartilhado e ajuda na realização dessa dissertação.

Aos meus “irmãos” Anderson Vasconcelos Firmino e Denise Soranso, pelo conhecimento, incentivo, apoio e pelos momentos de descontração. A doutoranda Brunela Rodrigues pela coleta, identificação e disponibilização de parte dos materiais utilizados nessa pesquisa.

A Prof<sup>ª</sup>. Rejane Costa Alves (UFRN) pelo auxílio na realização dos ensaios de ultrassom.

A minha noiva Raelly Nunes, pelo amor, companheirismo, carinho, paciência e por me incentivar nos momentos em que estive distante fisicamente, ao longo do mestrado.

Aos meus amigos da républica “ACRE”, Janiel Cerqueira, Sandra Bezerra, Eth Rocha e Valter Saraiva, por me ensinarem a ser melhor a cada dia.

Aos grandes amigos Pedro Nicó Neto, Saulo Boldrini, Jaily Keller, Marcos Nicacio, Flavio Carmo, Leandro Soares, Hector Souza, Victor Brocco, Elvis Branco, Jessily Quaresma, Ana Paula Câmara, Alice Soares, Sofia Maria, Ramon Ferreira, Gabrielly Bobadilha, Taise Aozani, Ana Carolina Boa, Vanessa Bernades, Carlos Dambroz, Vinicius Tinti, Dercílio Verly, Timóteo Paladino, Sandra Pires, Regiane Vilanova, Mayra de Castro, Maria Sueliane de Andrade, Jordesson Castro, Ronelson Castro e Mardson Castro.

Aos meus “irmão de fé”, que estavam sempre intercedendo por mim.

A Joceli, Eliane, Elizângela e Alex pela disponibilidade em ajudar sempre que necessário. Ao marceneiro Elecy pela amizade e ajuda no preparo das amostras. Aos Técnicos José Geraldo e Luciano pela amizade, ajuda e compartilhamento de conhecimentos.

Aos grupos “café da qualidade” e “futebol comciência”, pelos momentos de descontração e aprendizado.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO GERAL

COELHO, José Clailson Franco. **Efeitos dos desvios da grã nas variáveis dendrométricas e propriedades físico-mecânicas em madeiras de eucalipto.** 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Graziela Baptista Vidaurre. Coorientadores: Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira e Prof. Dr. Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho.

O objetivo desse trabalho foi analisar o efeito das condições de crescimento de árvores de eucalipto na grã, determinar a sua variabilidade no fuste e sua relação com as variáveis dendrométricas e as propriedades físico-mecânicas da madeira. Utilizaram-se duas populações de materiais genéticos distintos: i) 16 clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, com sete anos de idade, provenientes de teste clonal estabelecidos em Montezuma, Minas Gerais e Nova Almeida, Espírito Santo e ii) sete clones de *E. grandis* x *E. urophylla*, com 13 anos de idade, proveniente de plantios comerciais estabelecidos em Alcobaça, Bahia. Os efeitos das condições de crescimento e variáveis dendrométricas das árvores nos desvios da grã da madeira foram avaliados nos clones da primeira população, tendo previamente mensurados o diâmetro altura do peito (DAP), a altura comercial, o volume com casca e o fator de forma. A variação da grã no sentido medula-casca e base-topo foram determinadas nos materiais clonais da segunda população. Para ambas populações foi determinado o máximo desvio angular (MAD) pelo método de divisão radial, com posterior análise de imagens; a velocidade de propagação de ondas e o módulo de elasticidade dinâmico, obtidos por técnica não destrutiva de ultrassom, stress wave e vibração transversal; a resistência à compressão e cisalhamento paralelo as fibras, o módulo de ruptura e módulo de elasticidade por flexão estática, a densidade básica, o fator anisotrópico e a contração volumétrica do lenho. Observou-se que não houve diferença significativa dos valores de MAD entre as duas condições de crescimento, porém, com tendência de maiores desvios da grã na madeira de clones que cresceram em Nova Almeida. Para alguns clones na idade de 7 anos, houve correlações significativas positivas entre o MAD e as propriedades físicas e mecânicas. A velocidade de propagação das ondas ultrassônicas correlacionaram-se de forma negativa com os desvios da grã, para 12,5% dos clones da idade de 7 anos. Observou-se um decréscimo de 8,99% dos desvios da grã da base para o topo e acréscimo de 31,28% no sentido medula – casca das árvores, e correlações significativas, com a velocidade de propagação de ondas de tensão e contração volumétrica da madeira,

para os materiais genéticos da idade de 13 anos. Para a DB, CV, resistência à compressão paralela às fibras, MOR e MOE na flexão estática, MOEd por stress waver, ultrassom e vibração transversal, e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas da madeira dos clones aos 13 anos, não houve correlações com os desvios da grã.

**Palavras-chave:** Máximo desvio angular, Métodos não destrutivos, Ambientes contrastantes, Qualidade da madeira.



## GENERAL ABSTRACT

COELHO, José Clailson Franco. **Effects of grain deviations on dendrometric variables and physical-mechanical properties on eucalyptus wood.** 2016. Dissertation (Master's Degree in Forest Sciences) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Graziela Baptista Vidaurre. Co-advisor: Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira, Prof. Dr. Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho.

The aim of this work was to analyze the effect of the growth conditions of eucalyptus trees on the grain, to determine its variability in the stem and its relation with the dendrometric variables and the physical-mechanical properties of the wood. Two populations of distinct genetic materials were used: (i) 16 clones of *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, seven years old, from clonal test established in Montezuma, State of Minas Gerais and Nova Almeida, State of Espírito Santo; and (ii) seven clones of *E. grandis* x *E. urophylla*, with 13 years old, from commercial plantations established in Alcobaca, State of Bahia. The effects of the growth conditions and dendrometric variables of the trees on grain deviations of the wood were evaluated in the clones of the first population, having previously measured the breast height diameter (DBH), commercial height, volume and shape factor. The variation of grain in the pith-bark and base-top directions were determined in the clonal materials of the second population. For both populations, the maximum angular deviation (MAD) was determined by the radial division method, with subsequent image analysis; the wave propagation velocity and the dynamic modulus of elasticity obtained by non-destructive ultrasound technique, stress wave and transverse vibration; the compressive and shear strength, modulus of rupture and modulus of elasticity by static bending, the basic density, the anisotropic factor and the volumetric shrinkage of the wood. It was observed that there was no significant difference of the MAD values between the two growth conditions, however, with a trend of larger deviations of grain in the wood of clones that grew in Nova Almeida. For some clones at the age of 7 years, there were significant positive correlations between MAD and physical and mechanical properties. The propagation velocity of the ultrasonic waves correlated negatively with grain to 12.5% of the clones at the age of 7 years. There was a decrease of 8.99% in grain base deviations from the base to the top and 31.28% increase in the pith direction of the trees, and significant correlations with the propagation velocity of stress waves and volumetric shrinkage of the wood, for the genetic materials of the age of 13 years. For DB, CV, compressive strength parallel to

fibers, MOR and MOE in static bending, MOEd by stress wave, ultrasound and transverse vibration, and propagation velocity of ultrasonic waves in wood clones at 13 years, there were no correlations with the deviations of grain.

**Keywords:** Maximum angular deviation, Non-destructive methods, Contrasting environments, Wood quality.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	10
1.1 OBJETIVO GERAL .....	11
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
<b>2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	12
<b>CAPÍTULO I – EFEITOS DOS DESVIOS DA GRÃ NAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E PROPRIEDADES FÍSICO- MECÂNICAS DA MADEIRA DE EUCALIPTO</b> .....	13
RESUMO .....	13
1. INTRODUÇÃO .....	14
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	15
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	19
4. CONCLUSÃO .....	31
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	32
<b>CAPÍTULO II – VARIAÇÃO DOS DESVIOS DA GRÃ E A SUA RELAÇÃO COM AS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DA MADEIRA DE EUCALIPTO</b> .....	35
RESUMO .....	35
1. INTRODUÇÃO .....	36
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	38
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	42
4. CONCLUSÃO .....	52
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	53
<b>3. CONCLUSÃO GERAL</b> .....	56

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Árvores do gênero *Eucalyptus* são as principais fontes de matéria-prima para a indústria madeireira no Brasil, com uma área plantada de 5,6 milhões de hectares, atribuída principalmente ao rápido crescimento e a diversidade de usos da madeira (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ, 2016). Ainda segundo o IBÁ (2016), a produção de madeira serrada e carvão vegetal no Brasil, oriundo de floresta plantada para o ano de 2015, foi de 8,8 milhões de metros cúbicos e 3,8 milhões de toneladas, respectivamente.

Estudos sobre a grã da madeira de eucalipto são incipientes. A grã refere-se à forma como os elementos celulares axiais, constituintes do lenho, estão orientados em relação ao eixo longitudinal da árvore ou peça de madeira serrada (HARRIS, 1989), podendo apresentar comportamento diferente dentro do tronco. O ângulo da grã pode influenciar na qualidade e conseqüentemente, na utilização da madeira, por causar efeitos na sua resistência mecânica e estabilidade dimensional (WEDDELL, 1961; BRAZIER, 1977; RAYMOND, 2002; THINLEY et al., 2005; CABROLIER; BEAUCHÊNE; THIBAUT, 2009).

Assim, a relação entre os desvios da grã e as propriedades físicas e mecânicas da madeira de eucalipto necessita de maiores informações a fim de entender melhor o efeito desse fenômeno nas propriedades da madeira. Somado a isso, as informações obtidas da avaliação dos efeitos dos desvios da grã nas ondas ultrassônicas e de tensão poderão contribuir para o melhor entendimento e a possível redução da atenuação das ondas causadas pelos desvios da grã da madeira.

O conhecimento dos efeitos das diferentes condições de crescimento das árvores sobre o ângulo da grã da madeira auxiliará nos programas de melhoramento genético. Ademais, a identificação da variabilidade da grã no sentido base-topo e medula-casca e a sua relação com as propriedades físico-mecânicas, poderá auxiliar na seleção de materiais mais aptos à produção de madeira serrada diante dos efeitos dos desvios da grã na trabalhabilidade, estabilidade e resistência da madeira.

## 1.1. OBJETIVO GERAL

Analisar o efeito das condições de crescimento na grã, determinar a sua variabilidade no fuste e relação com as variáveis dendrométricas e propriedades físico-mecânicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

## 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito de duas condições de crescimento das árvores na grã da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*;
- Avaliar a variação da grã no sentido medula-casca e base-topo do fuste;
- Determinar e analisar a relação existente entre a grã da madeira e o diâmetro à altura do peito, a altura comercial, o volume com casca e o fator de forma das árvores;
- Correlacionar a grã da madeira com a densidade, contração volumétrica e fator anisotrópico da madeira;
- Avaliar a influência da grã na resistência à compressão e ao cisalhamento paralelo as fibras, no módulo de ruptura e módulo de elasticidade na flexão estática, no módulo de elasticidade dinâmico e na velocidade de propagação de ondas obtidas por *stress wave timer*, ultrassom e vibração transversal.

## 2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAZIER, J. D. The effect of forest Practices on quality of the harvested crop. **Forestry**, v. 50, n. 1, 1977.

CABROLIER, P.; BEAUCHÊNE, J; THIBAUT, B. Is interlocked grain an adaptive trait for tropical tree species in rainforest? In: PLANT BIOMECHANICS CONFERENCE, 6., 2009, Cayenne, 2009. **Anais...** Cayenne: Plant Biomechanics Conference, 2009. p. 279-284.

HARRIS, J. M. **Spiral grain and wave phenomena in wood formation**. Heidelberg: Springer, 1989, 215 p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório IBÁ 2016**. Brasília, 2016. 100 p. Disponível em: <[http://www.iba.org/shared/iba\\_2016\\_pt.pdf](http://www.iba.org/shared/iba_2016_pt.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2016.

RAYMOND, C. A. Genetics of Eucalyptus wood properties. **Annals of Forest Science**, v. 59, p. 525-531, 2002.

THINLEY, C.; PALMER, G.; VANCLAY, J. K.; HENSON, M. Spiral and interlocking grain in *Eucalyptus dunnii*. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 63, n. 5, p. 372-379, 2005.

WEDDELL, E. Influence of interlocked grain on the bending strength of timber, with particular reference to utile and greenheart. **J. Inst. Wood Sci.**, v. 7, p. 56-72, 1961.

## CAPÍTULO I

### EFEITOS DOS DESVIOS DA GRÃ NAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DA MADEIRA DE EUCALIPTO

#### RESUMO

Teve-se por objetivo avaliar a influência das condições de crescimento das árvores no máximo desvio angular e a sua relação com as variáveis dendrométricas, propriedades físico-mecânicas e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas na madeira de eucalipto. O material foi proveniente de teste clonal de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (7 anos) em dois ambientes com características distintas, Montezuma - MG (menor precipitação e maior altitude) e Nova Almeida – ES (maior precipitação e menor altitude). Foram colhidas cinco árvores de 16 clones em cada localidade totalizando 160 árvores. Após a derrubada das árvores retirou-se discos na posição da base e esses foram utilizados no preparo das amostras para todas as análises. Foi determinado o máximo desvio angular (MAD) pelo método de divisão radial; a velocidade de propagação de ondas e o módulo de elasticidade dinâmico pela técnica de ultrassom; e as demais propriedades físico-mecânicas de acordo com normatização técnica. Não houve diferença significativa dos valores de MAD da madeira proveniente de Nova Almeida e Montezuma. Para 37,5% dos clones observaram-se efeitos significativos das variáveis dendrométricas nos desvios da grã da madeira de eucalipto. Maiores desvios da grã proporcionaram aumento na resistência ao cisalhamento e no módulo de elasticidade dinâmico, bem como, a redução da velocidade de ondas acústicas para 43,75% dos clones avaliados. Observaram-se correlações significativas entre o MAD e a densidade básica, a contração volumétrica e o fator anisotrópico para 37,5% dos materiais genéticos. A densidade básica foi a propriedade física da madeira que correlacionou com o MAD em um maior número de clones (31,25%). Já entre as propriedades mecânicas, essa característica foi observada para a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras e o módulo de elasticidade dinâmico (25% dos clones).

**Palavras-chave:** máximo desvio angular; locais de crescimento; qualidade da madeira.

## 1. INTRODUÇÃO

A grã da madeira é a orientação dos elementos celulares axiais, constituintes do lenho, em relação ao eixo longitudinal da árvore ou peça de madeira serrada (HARRIS, 1989) e pode ser classificada em reta, espiralada, inclinada e inter cruzada (TSOUMIS, 1991).

Os desvios da grã são características inerentes da própria árvore e ocorrem na maioria das espécies florestais. Alguns fatores influenciam no controle ou aumento desses desvios, como as características genéticas da espécie, inserção de ramos laterais, características da copa, inclinação do fuste e condições ambientais de crescimento das árvores (DANBORG, 1994; THINLEY et al., 2005; WATT et al., 2013; ONCHIEKU, 2013). Eklund e Säll (2000) observaram que a grã espiralada da madeira de coníferas foi formada em resposta a assimetria da copa e a direção predominante dos ventos.

Os desvios da grã podem gerar efeitos significativos no módulo de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR) da madeira (WEDDELL, 1961; THINLEY et al., 2005). Palermo et al. (2015) observaram que os desvios dos elementos celulares da madeira de *Eucalyptus grandis* influenciaram diretamente no acabamento das peças serradas.

Todavia, a presença de grã inter cruzada é uma característica que pode proporcionar alguns benefícios à madeira, como a minimização da ocorrência de rachaduras e a formação de desenhos nas peças serradas (CABROLIER; BEAUCHÊNE; THIBAUT, 2009).

Muitos métodos para avaliar a grã da madeira foram estabelecidos, como por exemplo, a avaliação macroscópica da orientação das fibras no fuste, a utilização de riscador manual, análise de imagens, imagem de raios-X e divisão radial com posterior análise de imagens (WEBB, 1969; HARRIS, 1989; OGATA; KADOKAWA; FUJITA, 2002; WATT et al., 2013).

A técnica não destrutiva de ondas ultrassônicas é utilizada, principalmente na avaliação do efeito das propriedades anatômicas, físicas e mecânicas da madeira na velocidade de propagação das ondas e até mesmo na determinação das constantes elásticas da madeira (CANDIAN; SALES, 2009). No entanto, o efeito de alguns fatores, como o máximo desvio angular sobre a velocidade de propagação de ondas ainda não é claro. Wang et al. (2007) e Calegari et al. (2008) afirmaram que as ondas



ultrassônicas são influenciadas pelos desvios da grã da madeira, porém, não é evidente, a partir de que valor de desvio ocorre esse efeito.

O gênero *Eucalyptus* possui ampla distribuição e representação em plantios florestais no Brasil, ocupando uma área de 5,6 milhões de hectares (IBÁ, 2016). As condições ambientais e do solo e o material genético são fatores que estão diretamente relacionados com a produtividade dos plantios florestais e com a qualidade da madeira, já que as condições do local de crescimento das árvores podem alterar as características anatômicas e as propriedades físicas, químicas e mecânicas da madeira (FERNANDES et al., 2011).

Estudos relacionados ao efeito, fatores de formação e importância dos desvios angulares na madeira de coníferas são constantemente pesquisados (COWN; YOUNG, KIMBERLEY, 1991; HERNÁNDEZ, 2007; WATT et al., 2013). Entretanto, para a madeira de eucalipto, não há informações da relação do máximo desvio angular com o local de crescimento e as variáveis dendrométricas das árvores, bem como o seu efeito nas propriedades físico-mecânicas e velocidade de propagação de ondas acústicas.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito das condições de crescimento no máximo desvio angular, e a sua relação com as variáveis dendrométricas, propriedades físico-mecânicas e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas na madeira de clones de eucalipto.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Informações do sítio e amostragem**

Utilizou-se 16 clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* na idade de 7 anos, provenientes de testes clonais instalados com o espaçamento 3 x 3 m, da empresa Fibria, situados em dois locais distintos: Nova Almeida, estado do Espírito Santo (latitude 20°3'6.6"S e longitude 40°14'29.3"W), com altitude média de 50 m e precipitação anual de 1300 mm/ano; e Montezuma, estado de Minas Gerais (latitude 15°08'35.3"S e longitude 42°22'53.3"W), com altitude de 938 m e precipitação de 500 mm/ano.

Foram colhidas cinco árvores de cada clone nos dois locais de crescimento, totalizando 160 árvores. Antes do corte das árvores foi realizada a medição do diâmetro à altura do peito (DAP), tomado a 1,30 m do nível do solo, com uma suta. Após o corte, foi medida a altura da base até o diâmetro mínimo de 4 cm (altura comercial) e retirado um disco (70 mm de espessura) da base das árvores (0,10 metros do nível do solo), utilizados no preparo das amostras para todas as análises realizadas [Figura 1 (A) e (B)].

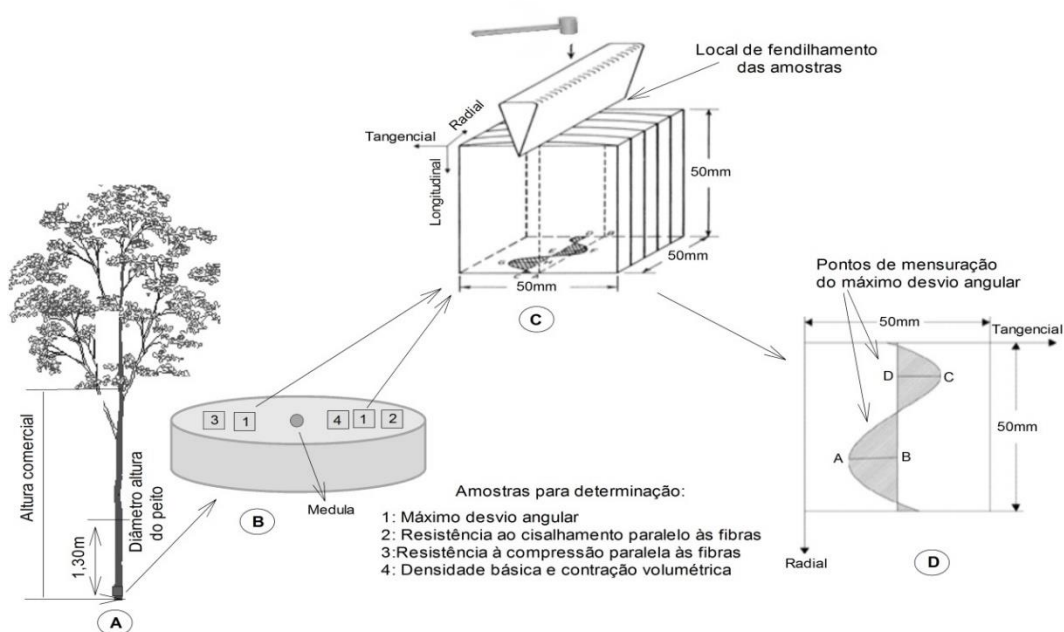


Figura 1 – Amostragem do fuste comercial (A) e dos discos de madeira para avaliação do máximo desvio angular e propriedades físico-mecânicas (B); fendilhamento dos corpos de prova (C) e pontos de mensuração do máximo desvio angular (D)

Fonte: o autor.

## 2.2 Volume com casca (VC) e fator de forma (FF)

Para a determinação do VC, Equação 1, fez-se necessário à obtenção da altura comercial (HC), do diâmetro a altura do peito (DAP) e do FF da árvore. O FF foi obtido pela razão entre o volume real obtido pelo método de Smalian e o volume de cilindro (Equação 2).

$$V_c = \left( \frac{\pi \times (DAP^2)}{40000} \right) \times H_c \times FF \quad (1)$$

$$FF = \frac{V_r}{V_c} \quad (2)$$

Em que:  $V_c$ : volume com casca ( $m^3$ );  $d$ : diâmetro altura do peito (cm);  $H_c$ : altura comercial (m), FF: fator de forma;  $V_r$ : volume real ( $m^3$ ); volume do cilindro ( $m^3$ ).

### 2.3 Máximo desvio angular (MAD)

Para mensuração do MAD foram utilizadas duas amostras por disco nas dimensões de 50 x 50 x 50 mm (radial x tangencial x axial) [Figura 1 (b) e (C)]. As amostras, com umidade de equilíbrio próxima a 12%, foram fendilhadas manualmente com a utilização de facão e martelo [Figura 1 (C)] e em seguida, digitalizadas em *scanner* de alta resolução para obtenção das imagens dos desvios da grã no plano transversal, de acordo com o procedimento proposto por Webb (1969). As imagens foram analisadas no *software Image-Pro Plus* (versão 4.5.0.29), no qual foram mensurados os desvios para o lado direito e esquerdo da amostra [Figura 1 (D)], e o MAD obtido conforme a Equação 3.

$$\text{MAD} = \tan^{-1} \left( \frac{\text{BA}}{\text{L}} \right) + \tan^{-1} \left( \frac{\text{DC}}{\text{L}} \right) \quad (3)$$

Em que: MAD: máximo desvio angular (°); BA: desvio da grã para o lado esquerdo [cm, Figura 1(D)]; DC: desvio da grã para o lado direito [cm, Figura 1(D)]; L: altura da amostra (cm) e  $\tan^{-1}$ : arco tangente.

### 2.4 Propriedades físico-mecânicas da madeira

As propriedades físicas e mecânicas analisadas foram à densidade básica (DB), a contração volumétrica (CV), o fator anisotrópico (FA) e a resistência mecânica a compressão ( $f_{c0}$ ) e ao cisalhamento paralelo ( $f_{v0}$ ) às fibras da madeira. As amostras para a determinação da DB, CV, FA e  $f_{c0}$  e  $f_{v0}$  foram retiradas próximo ao local de obtenção das amostras para mensuração do MAD [Figura 1 (B)], e os procedimentos foram de acordo com a Norma Brasileira Reulamentadora – NBR 7190 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1997). Para determinação do fator anisotrópico levou-se em consideração a relação entre as contrações na direção tangencial e radial.

## 2.5 Velocidade de propagação de ondas (Vu) e módulo de elasticidade dinâmico (MOEd)

A Vu e o MOEd foram determinados por meio da técnica não destrutiva de ondas ultrassônicas, nas mesmas amostras utilizadas para a mensuração do MAD, porém, antes de serem fendilhadas. Previamente a realização dos ensaios, os corpos de prova foram climatizados até o teor de umidade de equilíbrio próximo a 12%, e foi determinada a densidade aparente de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997), sendo esta propriedade utilizada apenas para o cálculo do MOEd.

Para obtenção do tempo de propagação das ondas ultrassônicas, utilizou-se o equipamento de ultrassom Panametrics-NDT, com transdutores piezo-eletrônicos, do tipo cubo sensor de faces planas de 10 mm de diâmetro e frequência de 1 MHz. Os dois transdutores foram acoplados nas seções transversais das amostras e para o melhor contato e transmissão das ondas foi utilizado um gel medicinal. A velocidade de propagação das ondas ultrassônicas foi obtida pela relação  $d / t$ , onde,  $d$  é a distância entre os transdutores em metros, e  $t$  é o tempo de propagação das ondas registrado pelo equipamento em segundos.

Determinada a velocidade de propagação das ondas ultrassônicas e a densidade aparente da madeira, aplicou-se a Equação 4 para o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico da madeira.

$$MOE_d = Vu^2 \times \rho_{ap} \quad (4)$$

Em que:  $MOE_d$ : módulo de elasticidade dinâmico (MPa);  $Vu$ : velocidade ultrassônica ( $m \ s^{-1}$ ) e  $\rho_{ap}$ : densidade aparente a 12% de umidade ( $kg \ m^{-3}$ ).

## 2.6 Análise estatística

Realizou-se a análise de variância do MAD para os fatores clones, condições de crescimento e interação clones x condições de crescimento. O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado, no arranjo fatorial  $16 \times 2$ , sendo os fatores clones e condições de crescimento, em ordem, totalizando 32 tratamentos com cinco repetições (árvores). Para os casos em que o teste F foi significativo, foi aplicado o teste Scott-Knott para a separação das médias de MAD dos clones em grupos distintos, por meio da minimização da variação dentro e

maximização da variação entre os grupos (BORGES; FERREIRA, 2003). Anteriormente a aplicação do teste F, foi realizada a análise de normalidade dos dados e homogeneidade das variâncias utilizando os testes de Shapiro-Wilk e de Cochran, respectivamente. Para todos os testes utilizou-se o nível de 5% de significância.

Para analisar as relações do MAD com as variáveis dendrométricas, propriedades físico-mecânicas e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas na madeira de eucalipto, os dados foram submetidos a uma análise de correlação linear de Pearson. Com base nas correlações significativas ( $p < 0,05$ ) encontradas, foram ajustados modelos polinomiais de grau  $p$  ( $y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2 + \dots + \beta_px^p + \text{erro}$ ) pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO). Os modelos foram avaliados com base no coeficiente de determinação ( $R^2$  ajustado) e no erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ).

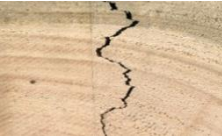















### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Variação do máximo desvio angular entre clones**

Observou-se que não houve diferença significativa ( $F = 0,067$ ,  $p > 0,05$ ) entre os valores de MAD e as condições de crescimento, bem como não foi observada interação significativa ( $F = 0,19$ ,  $p > 0,05$ ) entre as condições de crescimento e os clones. Todavia, a análise demonstrou diferenças significativas ( $F = 0,028$ ,  $p < 0,05$ ) dos valores de desvios da grã da madeira entre os clones avaliados.

Pelo teste Scott-Knott os clones foram agrupados em dois grupos de acordo com a média de MAD (Tabela 1). O grupo I com os maiores desvios da grã e o grupo II os menores desvios da grã.

Tabela 1 – Valores médios e padrões do máximo desvio angular (MAD) da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos 7 anos de idade

Clones Grupo I	MAD (°)	Padrão de desvio de grã	Clones Grupo II	MAD (°)	Padrão de desvio de grã
A	3,34 a (40,31)*		B	2,39 b (33,96)	
E	4,46 a (60,69)		C	2,06 b (28,29)	
F	3,05 a (38,18)		D	2,33 b (23,10)	
G	3,20 a (56,89)		I	1,89 b (25,95)	
H	3,53 a (29,49)		K	2,88 b (29,27)	
J	3,70 a (40,95)		L	2,30 b (21,95)	
N	3,89 a (50,38)		M	2,84 b (39,71)	
O	3,08 a (47,55)		P	2,27 b (30,92)	
<b>Intervalo</b>	<b>3,05 à 4,46°</b>		<b>1,89 à 2,88</b>		
<b>Média geral</b>	<b>2,95 (47,19)</b>				

\*coeficiente de variação - cvar (%); as médias de MAD seguidas por mesma letra minúscula na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p > 0,05$ ).

Houve uma grande variabilidade do MAD dentro de cada clone, demonstrada pelos altos coeficientes de variação, o que pode ser atribuída à forma de medição do MAD, ao considerar que o desvio angular é obtido em um único plano, quando na verdade o fenômeno é tridimensional, ou até mesmo pela heterogeneidade da madeira entre os corpos de prova. Já o baixo valor da média geral dessa variável para

os 16 clones de eucalipto, pode ser atribuído à idade jovem dos materiais avaliados (7 anos). Foram observados vários padrões de desvios da grã entre os clones (Tabela 1), dentro de cada clone e na própria árvore. Com o aumento dos valores médios do MAD, as amostras exibiram padrões de fendilhamento de superfície cada vez mais irregulares, tendendo a um zigue-zague transversal.

A média geral do desvio de grã e o coeficiente de variação (cvar) da madeira dos 16 clones de eucalipto foi próximo ao observado para madeiras de diferentes espécies florestais, como *Swietenia* sp. (MAD = 3°), *Eucalyptus dunnii* aos 9 anos (MAD = 3,4° e cvar = 44,12%), *Erismia uncinatum* (MAD = 4,3° e cvar = 55%), *Parkia nítida* (MAD = 7,2° e cvar = 4%), porém menor que as madeira de *Aspidosperma* sp. (MAD = 11,1° e cvar = 21%), *Dipterix odorata* (MAD = 11,9° e cvar = 24%), *Brosimum rubescens* (MAD = 12,9° e cvar = 15%), *Goupia glabra* (MAD = 15,8° e cvar = 24%), *Aspidosperma macrocarpon* (MAD = 16,0° e cvar = 33%), *Ruizterania albiflora* (MAD = 16,3° e cvar = 22%) e *Amburana cearensis* (MAD = 16,4° e cvar = 39%) (HERNÁNDEZ; ALMEIDA, 2003; THINLEY et al., 2005; HERNÁNDEZ, 2007; CABROLIER; BEAUCHÊNE; THIBAUT, 2009). Altos valores de coeficientes de variação foram encontrados, dentro de cada árvore, o que evidência a grande heterogeneidade dessa propriedade nos indivíduos.

Essa grande variabilidade nos desvios da grã entre e dentro das espécies florestais, é comumente atribuída às condições ambientais, características de solo, espaçamento entre plantas, taxa de crescimento, tratos silviculturais, forma da copa, fatores genéticos e idade dos materiais (HARRIS, 1989; COWN; YOUNG; KIMBERLEY, 1991; DANBORG, 1994; THINLEY et al., 2005; FONWEBAN et al., 2013; ONCHIEKU, 2013; WATT et al., 2013). O método de mensuração utilizado, também pode ser uma fonte de variação, dado o uso de metodologias e amostragens distintas por diferentes pesquisadores.

### 3.2 Máximo desvio angular entre as condições ambientais

Os materiais genéticos que cresceram em Nova Almeida, ES (MAD = 3,19° e cvar = 49,26%) e Montezuma, MG (MAD = 2,71° e cvar = 42,64%) têm valores de MAD semelhantes. Porém, nos plantios de Nova Almeida, ocorreu uma menor homogeneidade nos valores de MAD, demonstrado pelos maiores coeficientes de variação.

Mesmo a precipitação e altitude diferenciadas entre Nova Almeida e Montezuma, não foram capazes de influenciar nos desvios da grã da madeira dos clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 7 anos de idade. Diante disto, é possível afirmar que as condições de crescimento não teve efeito nos desvios da grã da madeira de eucalipto, que podem ser atribuídos a fatores genéticos e a idade jovem dos materiais avaliados. Thinley et al. (2005) observaram que a grã da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos 9 anos foi uma característica altamente controlada por fatores genéticos com herdabilidade igual a 0,63.

Diferenças altamente significativas ( $p \leq 0,001$ ) nos desvios da grã foram observadas na madeira de *Picea sitchensis*, entre locais de crescimento distintos no norte da Grã-Bretanha, com desvios variando de 0,88 a 3,56°. As árvores que cresceram nas altas altitudes de Benmore (310 m) e Kershope (220 a 246 m) apresentaram os valores mais elevados de desvios da grã em relação à Lochaline (80 a 150 m), e Glengarry (152 m) com baixas altitudes, considerando os padrões de relevo desse país (FONWEBAN et al., 2013). Para a madeira de *Pinus caribea* cultivada em Fiji com altitudes de 300 m, Cown, Mcconchie e Young (1983) observaram desvios da grã de 3,48°. Para esses autores, o plantio em locais expostos a ventos fortes, espaçamentos mais amplos e altas altitudes podem aumentar significativamente os desvios da grã.

### **3.3 Variáveis dendrométricas e propriedades físico-mecânicas**

Os valores médios das variáveis dendrométricas e das propriedades físico-mecânicas observadas na madeira dos 16 clones avaliados (Tabela 2), estão dentro da média encontrada por diversos autores que avaliaram esses parâmetros na madeira de eucalipto jovem plantado comercialmente no Brasil (LIMA et al., 2004; BELTRAME et al., 2012; QUEIROZ et al., 2004; BASSA; SILVA JUNIOR; SACON, 2007; BOTREL et al., 2007).



Tabela 2 – Valores médios das variáveis dendrométricas e propriedades físico-mecânicas para a madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, na idade de 7 anos

Clones	Variáveis Dendrométricas				Propriedades Físicas			Propriedades Mecânicas (12% umidade)			
	DAP (cm)	HC (m)	VC (m³)	FF	DB (g cm³)	CV (%)	FA	f <sub>c0</sub> (MPa)	f <sub>vo</sub> (MPa)	MOE <sub>d</sub> (MPa)	Vu (m s <sup>-1</sup> )
A	25,16 (12,30)	29,40 (9,07)	0,70 (31,59)	0,47 (3,60)	0,56 (5,93)	17,53 (8,77)	1,77 (15,54)	49,28 (7,18)	10,85 (6,48)	18035,87 (3,96)	4960,97 (13,43)
B	21,17 (7,96)	27,42 (5,37)	0,43 (14,09)	0,51 (4,62)	0,59 (5,90)	19,09 (15,99)	2,19 (16,5)	55,34 (5,17)	10,98 (8,53)	16668,49 (6,48)	4819,93 (24,02)
C	23,28 (2,78)	30,58 (4,73)	0,64 (7,20)	0,50 (3,56)	0,54 (11,35)	17,43 (26,94)	2,21 (17,13)	52,66 (8,04)	10,50 (11,93)	16532,19 (5,16)	4876,49 (8,92)
D	19,39 (14,35)	23,23 (20,23)	0,35 (42,88)	0,50 (2,84)	0,47 (3,16)	15,65 (7,20)	2,46 (20,34)	39,23 (20,05)	7,91 (20,49)	13582,99 (5,86)	4810,78 (5,02)
E	23,61 (7,78)	28,95 (4,05)	0,63 (16,44)	0,49 (4,25)	0,55 (14,15)	16,44 (8,39)	1,89 (28,08)	51,93 (13,87)	11,31 (16,01)	16419,24 (8,98)	4592,74 (13,54)
F	23,10 (6,15)	29,52 (7,23)	0,59 (14,85)	0,48 (2,94)	0,62 (5,03)	17,94 (10,90)	2,16 (13,49)	60,80 (24,11)	10,66 (19,34)	18934,20 (9,57)	4735,73 (10,32)
G	23,07 (8,20)	27,65 (11,60)	0,58 (25,76)	0,50 (5,56)	0,53 (9,59)	18,87 (22,5)	1,89 (14,99)	49,88 (9,52)	11,29 (13,04)	18047,88 (13,94)	4439,61 (29,34)
H	21,91 (4,54)	27,75 (5,78)	0,51 (13,76)	0,49 (2,06)	0,55 (5,93)	21,07 (21,07)	2,15 (35,36)	53,38 (7,36)	10,00 (6,37)	17261,69 (3,17)	5028,35 (9,36)
I	22,57 (3,83)	28,25 (6,04)	0,52 (10,95)	0,48 (4,25)	0,60 (4,26)	16,48 (3,65)	2,18 (20,99)	53,50 (12,04)	10,30 (7,99)	17122,32 (7,61)	4768,10 (21,26)
J	23,77 (3,36)	30,57 (2,89)	0,66 (4,22)	0,50 (1,58)	0,49 (6,24)	16,22 (12,84)	2,18 (49,27)	45,18 (13,79)	9,05 (17,87)	16185,44 (11,54)	4586,66 (11,87)
K	25,42 (9,99)	29,55 (7,98)	0,73 (23,41)	0,50 (3,08)	0,50 (6,45)	19,30 (15,90)	2,67 (21,86)	49,31 (8,89)	9,28 (14,68)	15957,24 (10,99)	4324,29 (23,90)
L	22,08 (23,27)	26,85 (17,30)	0,55 (53,73)	0,50 (7,07)	0,50 (6,97)	17,17 (16,18)	2,09 (28,89)	47,66 (11,61)	9,17 (16,77)	11191,90 (9,88)	3925,01 (13,01)
M	26,21 (4,14)	28,22 (4,81)	0,71 (10,33)	0,48 (2,25)	0,55 (4,53)	18,11 (12,72)	2,12 (28,56)	52,27 (9,43)	10,08 (14,52)	14368,61 (8,63)	4379,13 (18,57)
N	24,18 (4,09)	29,30 (3,61)	0,60 (7,49)	0,46 (3,90)	0,49 (8,56)	16,90 (10,16)	1,86 (36,02)	46,39 (7,92)	8,65 (24,59)	12851,58 (10,53)	4292,76 (4,94)
O	24,46 (9,23)	28,50 (2,15)	0,64 (11,66)	0,50 (7,80)	0,49 (4,63)	16,33 (10,75)	1,95 (11,08)	48,10 (12,17)	9,94 (14,54)	16111,32 (8,96)	4702,87 (17,01)
P	24,00 (6,81)	29,30 (4,31)	0,65 (16,96)	0,49 (3,08)	0,55 (8,80)	16,81 (11,85)	1,75 (35,13)	54,05 (12,13)	8,56 (19,58)	18995,83 (11,53)	5034,94 (9,31)
<b>Média Geral</b>	<b>23,34 (11,06)</b>	<b>28,44 (9,66)</b>	<b>0,59 (26,02)</b>	<b>0,49 (4,70)</b>	<b>0,54 (10,71)</b>	<b>17,58 (16,09)</b>	<b>2,09 (26,80)</b>	<b>50,56 (14,92)</b>	<b>9,91 (17,02)</b>	<b>16141,67 (20,14)</b>	<b>4642,40 (10,36)</b>

DAP: diâmetro a altura do peito, HC: altura comercial, VC: volume com casca e FF: fator de forma do fuste; DB: densidade básica, CV: contração volumétrica e FA: fator anisotrópico; f<sub>c0</sub>: resistência a compressão paralela as fibras, f<sub>vo</sub>: resistência ao cisalhamento, MOE<sub>d</sub>: módulo de elasticidade dinâmico obtido por ultrassom e Vu: velocidade de propagação das ondas ultrassônicas. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação (%).

### 3.4 Correlações entre o MAD e as variáveis dendrométricas e propriedades físico-mecânicas da madeira

Os dados de desvios da grã foram submetidos à análise de correlação de Pearson, considerando cada clone separadamente, a fim de verificar a existência de relações entre os desvios da grã e as variáveis dendrométricas e entre as propriedades físico-mecânicas. Correlações significativas, positivas e negativas, foram verificadas entre o MAD e o DAP, altura comercial, volume com casca, fator de forma do fuste (Tabela 3), densidade básica, contração volumétrica, fator anisotrópico

(Tabela 4), resistência ao cisalhamento, MOEd e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas (Tabela 5) para alguns clones, o que demonstra o efeito dos desvios da grã nas propriedades físico-mecânicas da madeira, interferindo diretamente na empregabilidade da madeira para produto sólido.

Dos dezesseis clones avaliados, apenas os clones B e G não apresentaram correlações significativas dos valores de MAD com nenhuma das variáveis dendrométricas e propriedades físico-mecânicas estudadas.

### 3.4.1 Relação entre o MAD e as variáveis dendrométricas

*Diâmetro altura do peito (DAP) e volume comercial (VC):* o MAD correlacionou de forma significativa e positiva com o DAP e VC para os clones E, J, L e O (Tabela 3), ou seja, para maiores valores de diâmetro à altura do peito e volume comercial das árvores, observa-se o aumento do máximo desvio angular da madeira.

Tabela 3 – Coeficiente de correlação de Pearson entre o máximo desvio angular (MAD) e as variáveis dendrométricas para a madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, na idade de 7 anos

Clones	Diâmetro altura do peito (cm)	Altura comercial (m)	Volume comercial (m <sup>3</sup> )	Fator de forma
A	0,71 <sup>ns</sup>	-0,08 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>
B	-0,57 <sup>ns</sup>	-0,15 <sup>ns</sup>	-0,86	-0,65 <sup>ns</sup>
C	0,02 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
D	0,46 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	-0,81 <sup>*</sup>
E	0,83 <sup>*</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	0,89 <sup>*</sup>	-0,21 <sup>ns</sup>
F	-0,23 <sup>ns</sup>	-0,16 <sup>ns</sup>	-0,28 <sup>ns</sup>	-0,19 <sup>ns</sup>
G	0,38 <sup>ns</sup>	-0,14 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	-0,17 <sup>ns</sup>
H	-0,06 <sup>ns</sup>	-0,25 <sup>ns</sup>	-0,42 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>
I	-0,06 <sup>ns</sup>	0,58 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	-0,95 <sup>**</sup>
J	0,93 <sup>**</sup>	-0,53 <sup>ns</sup>	0,86 <sup>*</sup>	-0,35 <sup>ns</sup>
K	0,02 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>
L	-0,78 <sup>ns</sup>	-0,75 <sup>ns</sup>	0,92 <sup>**</sup>	0,46 <sup>ns</sup>
M	0,30 <sup>ns</sup>	-0,13 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	-0,40 <sup>ns</sup>
N	-0,75 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	-0,32 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>
O	0,83 <sup>*</sup>	0,90 <sup>*</sup>	-0,65 <sup>ns</sup>	0,91 <sup>*</sup>
P	-0,12 <sup>ns</sup>	-0,65 <sup>ns</sup>	-0,18 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup> não significativo e \* significativo ao nível de 5% (p < 0,05).

Diante das correlações significativas do MAD com o DAP e o VC dos clones E, J, L, O, foram ajustados modelos polinomiais, objetivando estimar o MAD em função do DAP e VC. Tanto o DAP quanto o VC dos clones E, J, L, O [Figura 2 (A) e (B)],

tiveram boa precisão na estimativa dos desvios da grã, indicando que o volume explica de 67 a 82% e o DAP de 62 a 83% a variação do MAD para esses clones.

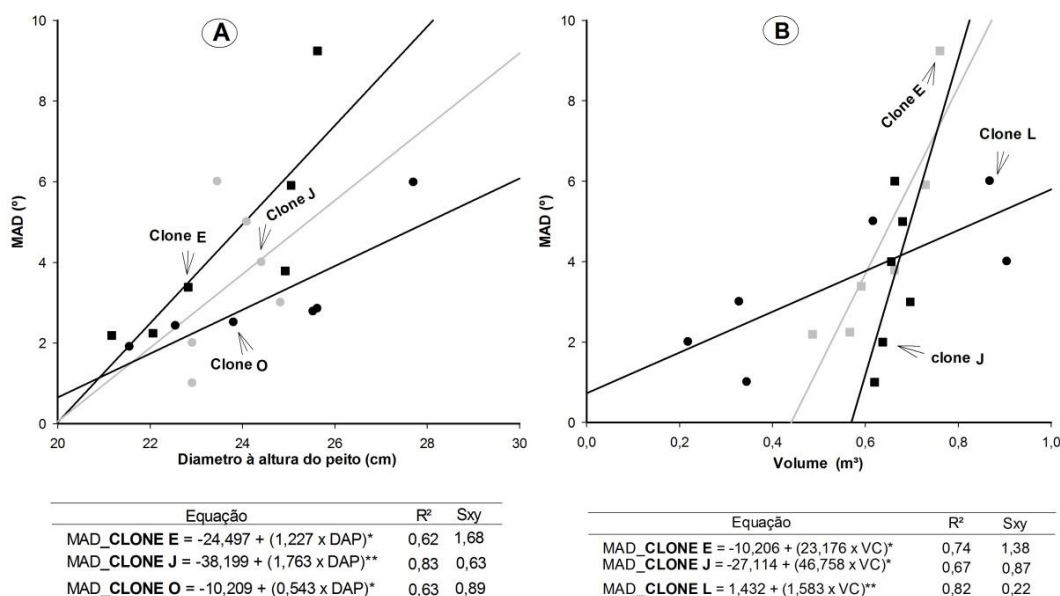


Figura 2 – Relação entre o diâmetro altura do peito (A), volume comercial (B) e o máximo desvio angular (MAD) na madeira de clones de eucalipto aos 7 anos, avaliados separadamente.

Se por um lado o aumento dos desvios da grã com o aumento do DAP e VC é um fator negativo a produção de madeira serrada, pois aumentará a CV e o FA, por outro, é um resultado positivo, já que proporcionará o aumento da DB e consequentemente da  $f_{v0}$ , do  $MOE_d$  e da  $V_u$ .

*Fator de forma (FF) e Altura comercial do fuste (HC):* O MAD teve correlação significativa e negativa com o FF para os clones D, I e, ainda, apresentou correlação positiva com o clone O, que correspondem a 18,75% dos clones avaliados. Ressalta-se que apenas o clone O apresentou correlação positiva entre o MAD e a HC (Tabela 3). A relação significativa do MAD em função do FF e HC é importante uma vez que quanto mais cilíndricas as árvores menores serão os desvios da grã, o que afetará positivamente a estabilidade da madeira e o rendimento em madeira serrada.

O FF explica de 57 a 89% e a HC explica 76% dos desvios da grã na madeira [Figura 3 (A) e (B)]. A estimação do MAD pelos valores do fator de forma e da altura permite prever possíveis problemas durante o processamento da madeira.

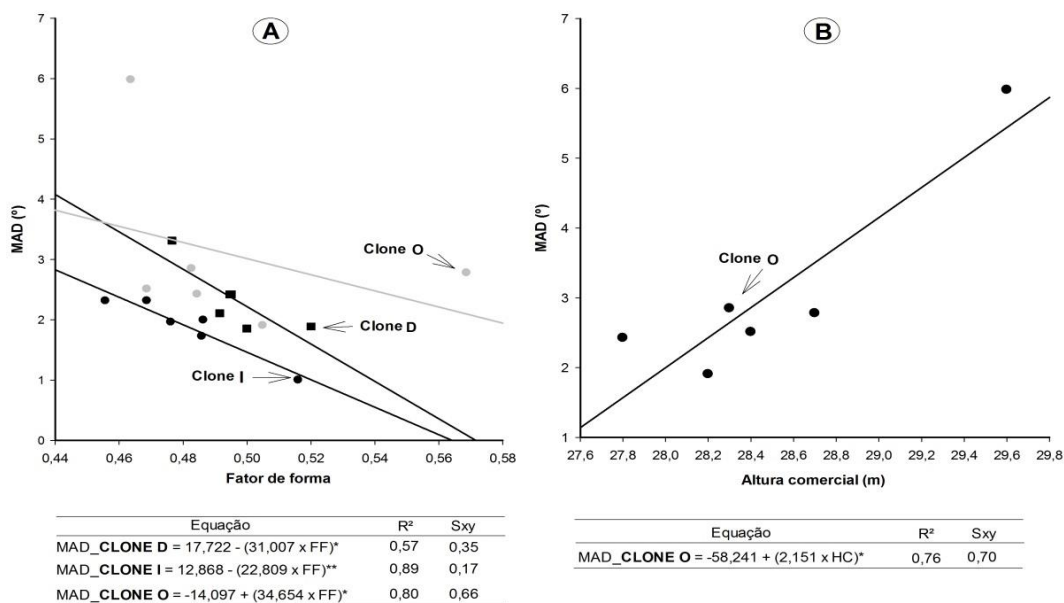


Figura 3 – Relação entre o fator de forma (A), altura comercial (B) do fuste e o máximo desvio angular (MAD) da madeira de clones de eucalipto aos 7 anos, avaliados separadamente

### 3.4.2 Relação entre o MAD e as propriedades físicas da madeira

**Densidade básica da madeira (DB):** a DB apresentou uma correlação positiva e significativa com o MAD para os clones I, L, M, N e P (Tabela 4), ou seja, quanto maior a densidade básica maior foi o desvio da grã da madeira nestes clones. Para os demais clones a densidade não correlacionou com o desvio da grã. Dentre as propriedades físicas avaliadas, a densidade básica foi a que mais apresentou clones correlacionados com o MAD.

Já Hernández e Almeida (2003) observaram tendência inversamente proporcional entre a densidade básica e o MAD para a madeira de duas folhosas plantadas na região da Amazônia Peruana. Para maiores valores de densidade básica da madeira de *Clarisia racemosa* ( $664 \text{ kg m}^{-3}$ ), os autores encontraram valores mais baixos de desvios da grã ( $12,4^\circ$ ), e madeiras com menores densidades como a *Amburana cearensis* ( $552 \text{ kg m}^{-3}$ ) apresentaram MAD mais altos ( $16,4^\circ$ ).

**Contração volumétrica (CV):** O MAD correlacionou de forma significativa e positiva com a CV para apenas três clones, L, M e P, dos 16 clones avaliados (Tabela 4). Ou seja, quanto maior o MAD, para esses três materiais genéticos, maior a contração volumétrica da madeira, o que pode gerar menor estabilidade da madeira e ocasionar problemas durante o desdobro, secagem, beneficiamento e utilização das peças serradas. Para os demais clones não foi observada correlação entre o MAD e a CV, com valores p variando de 0,15 a 0,95.

Tabela 4 – Coeficiente de correlação de Pearson entre o máximo desvio angular (MAD) e as propriedades físicas para a madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, na idade de 7 anos

Clones	Densidade básica (g cm <sup>-3</sup> )	Contração volumétrica (%)	Fator anisotrópico
A	0,46 <sup>ns</sup>	-0,34 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>ns</sup>
B	-0,66 <sup>ns</sup>	-0,25 <sup>ns</sup>	-0,16 <sup>ns</sup>
C	0,29 <sup>ns</sup>	-0,22 <sup>ns</sup>	-0,43 <sup>ns</sup>
D	-0,35 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	-0,67 <sup>ns</sup>
E	0,46	-0,04 <sup>ns</sup>	-0,40 <sup>ns</sup>
F	0,27 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>*</sup>
G	0,45 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>
H	0,21 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>
I	0,88 <sup>*</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	-0,21 <sup>ns</sup>
J	-0,26 <sup>ns</sup>	-0,29 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>
K	0,54 <sup>ns</sup>	-0,66 <sup>ns</sup>	-0,64 <sup>ns</sup>
L	0,82 <sup>*</sup>	0,82 <sup>*</sup>	-0,18 <sup>ns</sup>
M	0,83 <sup>*</sup>	0,85 <sup>*</sup>	0,16 <sup>ns</sup>
N	0,93 <sup>**</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,91 <sup>*</sup>
O	0,20 <sup>ns</sup>	-0,45 <sup>ns</sup>	-0,12 <sup>ns</sup>
P	0,84 <sup>*</sup>	0,87 <sup>*</sup>	0,36 <sup>ns</sup>

Uma proposição contrária foi defendida por Thinley et al. (2005), onde a presença da grã intercruzada na madeira de *Eucalyptus dunnii* é uma característica desejável pois aumenta a estabilidade da madeira e também contribui para a formação de figuras nas peças serradas.

*Fator anisotrópico (FA)*: entre o fator anisotrópico e o MAD observou-se uma correlação significativa, positiva somente para os clones F e N (Tabela 4), ou seja, apenas 12,5% dos materiais genéticos avaliados. E, a maioria dos clones apresentaram correlações negativas entre o fator anisotrópico e o MAD, porém não significativas. Nesse trabalho, portanto, não foi verificada a relação da grã com a estabilidade dimensional da madeira amplamente descrita na literatura. Para os demais 14 clones não houve correlação entre essas variáveis.

Diante das correlações entre o MAD e as propriedades físicas, realizou-se análise de regressão tendo por objetivo estimar a densidade básica (dos clones I, L, M, N, P), a contração volumétrica (clones L, M, P) e o fator anisotrópico (clones F, N) em função do MAD da madeira [Figura 4 (A), (B) e (C)].

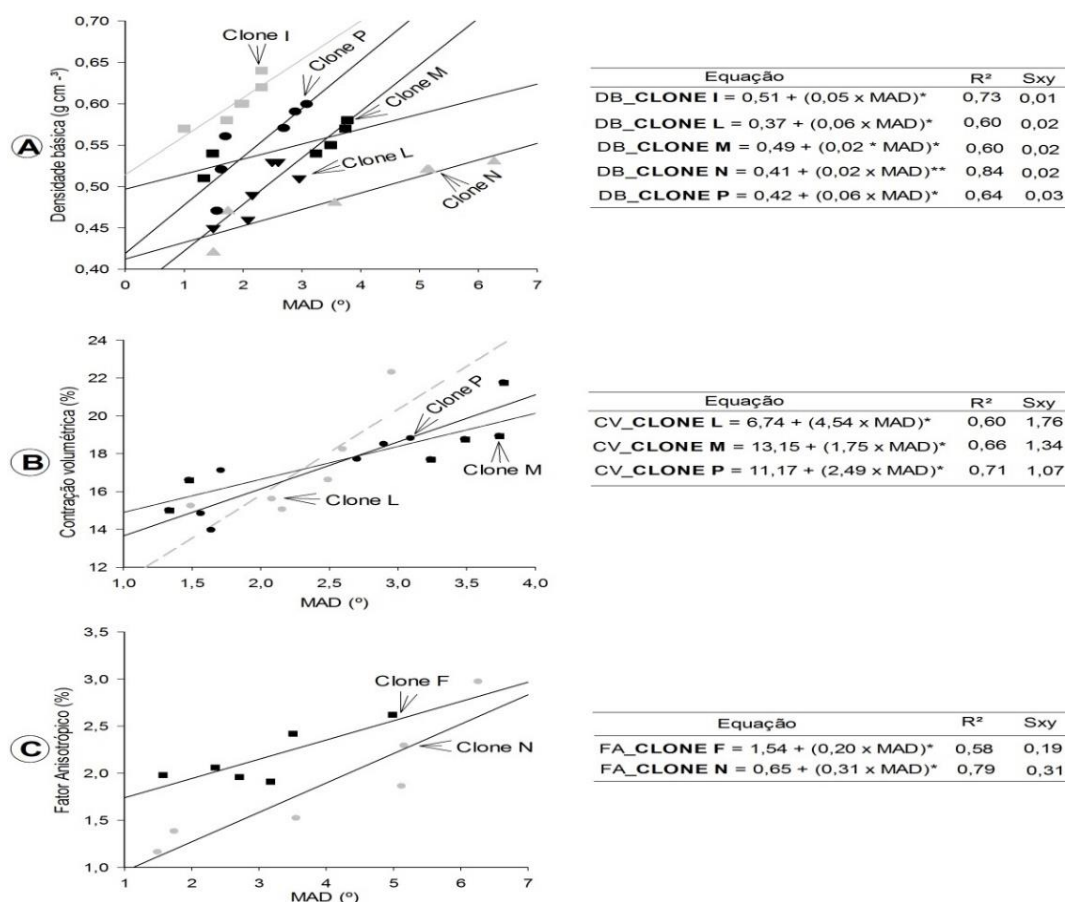


Figura 4 – Relação entre o máximo desvio angular (MAD) e a densidade básica (A), contração volumétrica (B) e fator anisotrópico (C) da madeira de clones de eucalipto aos 7 anos.

A densidade básica, a contração volumétrica e o fator anisotrópico podem ser estimados pelo MAD, com R<sup>2</sup> variando de 0,58 a 0,84 [Figura 4 (A, B e C)], o que indica que o MAD isoladamente explica de 60 a 84% a DB, de 60 a 71% a CV e de 58 a 79% o FA da madeira de alguns clones de eucalipto apresentados na Figura 4.

### 3.4.3 Relação entre o MAD e as propriedades mecânicas da madeira

*Resistência à compressão ( $f_{c0}$ ) e cisalhamento paralelo às fibras ( $f_{v0}$ ):* para todos os clones estudados não houve relação entre o MAD e a resistência a compressão paralela às fibras e, para os clones C, D, H e O, ou seja, em 25% dos materiais genéticos avaliados (Tabela 5), houve correlação significativa e positiva entre o MAD e a resistência ao cisalhamento ( $f_{v0}$ ). Esse comportamento pode ser justificado pela forma em que elementos celulares estão organizados dentro do fuste ou peça serrada, já que, os mesmos se orientam em diferentes sentidos o que dificulta a formação de áreas propensas ao cisalhamento.

Tabela 5 – Coeficiente de correlação de Pearson entre o máximo desvio angular (MAD) e as propriedades mecânicas para a madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, na idade de 7 anos

Clones	$f_{c0}$ (MPa)	$f_{v0}$ (MPa)	MOE <sub>d</sub> (MPa)	Vu (m s <sup>-1</sup> )
A	-0,24 <sup>ns</sup>	-0,08 <sup>ns</sup>	0,93 <sup>**</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>
B	0,50 <sup>ns</sup>	-0,25 <sup>ns</sup>	-0,74 <sup>ns</sup>	-0,27 <sup>ns</sup>
C	-0,35 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>**</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	-0,53 <sup>ns</sup>
D	0,02 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>*</sup>	-0,26 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>
E	0,64 <sup>ns</sup>	-0,46 <sup>ns</sup>	-0,55 <sup>ns</sup>	-0,74 <sup>ns</sup>
F	-0,25 <sup>ns</sup>	-0,40 <sup>ns</sup>	-0,36 <sup>ns</sup>	-0,52 <sup>ns</sup>
G	0,13 <sup>ns</sup>	-0,54 <sup>ns</sup>	-0,68 <sup>ns</sup>	-0,72 <sup>ns</sup>
H	-0,67 <sup>ns</sup>	0,93 <sup>**</sup>	0,96 <sup>**</sup>	-0,15 <sup>ns</sup>
I	0,45 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>
J	-0,39 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>
K	-0,29 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>**</sup>	-0,94 <sup>**</sup>
L	0,33 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	-0,28 <sup>ns</sup>	-0,59 <sup>ns</sup>
M	0,43 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,14 <sup>ns</sup>
N	-0,73 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>
O	-0,001 <sup>ns</sup>	0,86 <sup>*</sup>	0,82 <sup>*</sup>	0,40 <sup>ns</sup>
P	-0,03 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	-0,74 <sup>ns</sup>	-0,85 <sup>*</sup>

Em que:  $f_{c0}$ : resistência à compressão paralela as fibras,  $f_{v0}$ : resistência ao cisalhamento paralelo as fibras, MOE<sub>d</sub>: módulo de elasticidade dinâmico obtido por ultrassom e Vu: velocidade de propagação de ondas ultrassônicas.

Já Hernández e Almeida (2003) observaram que a resistência ao cisalhamento das madeiras das folhosas de *Amburana cearenses*, *Aspidosperma macrocarpon* e *Clarisia racemosa* diminuiu à medida que os desvios da grã aumentaram.

*Módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas (Vu):* correlação significativa e positiva foi observada entre o MAD e o módulo de elasticidade dinâmico apenas para os clones A, H, K e O (Tabela 5), que representam 25% dos clones avaliados.

Entre o MAD e a Vu houve correlações significativas e negativas para os materiais genéticos K e P (Tabela 5). Para a grande maioria dos clones não foi observada a existência de correlações significativas.

As correlações significativas entre o MAD e Vu corrobora com os resultados encontrados por Wang et al. (2007) ao afirmarem que a orientação dos elementos celulares no fuste ou peça serrada exerce influência direta sobre a velocidade de propagação das ondas acústicas. Os ângulos de grã proporcionam uma descontinuidade no desenvolvimento das ondas acústicas, e conseqüentemente, a redução na velocidade ao longo da amostra (ROSS; BRASHAW; PELLERIN, 1998).

Realizou-se análise de regressão para estimar as propriedades mecânicas em função do máximo desvio angular apenas para a madeira dos clones de eucalipto A, C, D, H, O, P, K [Figura 5 (A), (B) e (C)], já que foram esses os materiais genéticos que apresentaram correlações significativas entre o MAD e as propriedades mecânicas.

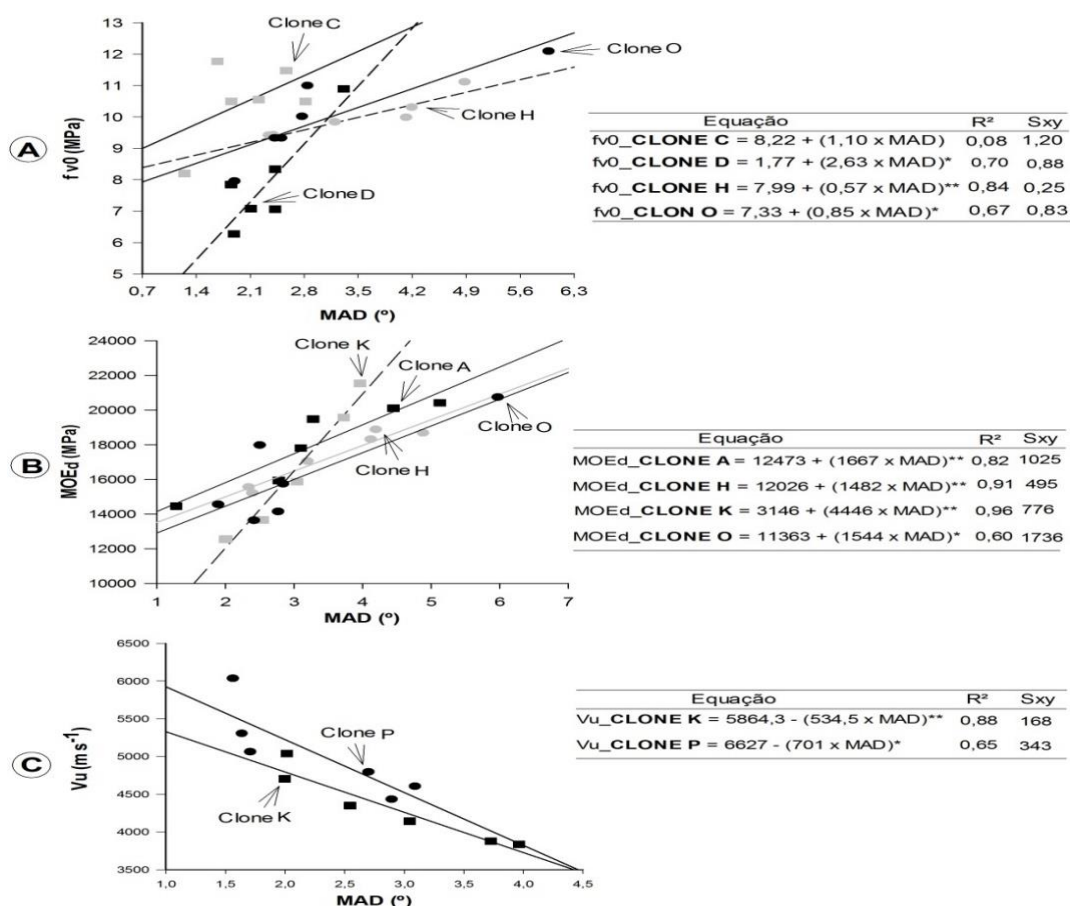


Figura 5 – Relação entre o máximo desvio angular (MAD) e resistência ao cisalhamento ( $f_{v0}$ ) (A), módulo de elasticidade dinâmico obtido por ultrassom ( $MOE_d$ ) (B) e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas ( $V_u$ ) (C), na madeira de eucalipto aos 7 anos.

Na Figura 5 (A) observa-se que o MAD foi eficiente na estimativa da  $f_{v0}$ , exceto para o clone C, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de 0,08, 0,67, 0,70 e 0,84 para os clones C, O, D e H, respectivamente. O comportamento do cisalhamento pode ser explicado em 8 a 84% pela variação dos desvios da grã da madeira destes clones. Considerando que a determinação do MAD é de maior facilidade, em relação a  $f_{v0}$ , pois exige menor aporte tecnológico, os coeficientes de determinação  $R^2$  permitem deduzir que o MAD pode ser uma variável utilizada na estimativa da  $f_{v0}$ .

Para os maiores valores de desvios da grã, observou-se um maior  $MOE_d$  obtido pelo ultrassom, com  $R^2$  variando de 0,60 a 0,96 [Figura 5 (B)]. A variação do módulo



de elasticidade dinâmico pode ser explicada pelo MAD em 60 a 96%. Cabrolhier, Beauchêne e Thibaut (2009) afirmaram que a energia necessária para ocorrência da ruptura da madeira, aumenta por causa da ocorrência do índice de grã intercruzada. Já Weddell (1961) e Thinley et al. (2005) observaram que para a madeira de *Eucalyptus dunnii*, *Entandrophragma utile* e *Ocotea rodiaei*, o MOR e MOE são negativamente afetados pelos desvios da grã.

Diante das correlações significativas e negativas entre o MAD e a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, é possível inferir que o aumento dos desvios da grã proporciona uma redução na Vu na madeira dos clones K e P (Figura 5. C). Observa-se pelo R<sup>2</sup> das equações, que o MAD teve boa precisão na estimativa da velocidade das ondas ultrassônicas, indicando que o MAD isoladamente explica de 65 a 88% do comportamento da Vu. A adição de outras variáveis, como o MOE<sub>d</sub> e f<sub>v0</sub>, poderá aumentar a precisão na estimação da velocidade das ondas.

Os valores de MAD, observados para os clones P e K, demonstram que os desvios a partir de 1,6°, proporcionam uma redução da velocidade das ondas ultrassônicas, e à medida que o valor de MAD aumenta, torna-se mais evidente esse decréscimo. Cabe ressaltar que não foi possível estabelecer o máximo efeito dos desvios da grã na velocidade, diante dos baixos valores da primeira variável, observados na madeira de eucalipto aos sete anos.

#### 4. CONCLUSÃO

A amplitude dos valores do máximo desvio angular entre os 16 clones foi baixa, demonstrando que os fatores genéticos estão intrinsecamente relacionados com o MAD.

As condições de crescimento não tiveram influência no MAD da madeira, porém ocorreu uma leve tendência de maiores desvios da grã na madeira proveniente das árvores que cresceram em local de maior altitude e menor precipitação.

Dos 16 clones avaliados, apenas 37,5% dos materiais genéticos apresentaram efeitos significativos das variáveis dendrométricas nos desvios da grã da madeira de eucalipto. Dentre as variáveis dendrométricas, a altura comercial foi a que menos correlacionou com o MAD.

Madeiras com maiores desvios da grã serão menos estáveis, pois o MAD foi maior nas madeiras com maiores valores de densidade e aumentou de forma significativa à contração volumétrica e o fator anisotrópico. A densidade básica foi a propriedade física da madeira que correlacionou com o MAD em um maior número de clones.

A resistência à compressão paralela às fibras não apresentou nenhuma correlação com o máximo desvio angular e maiores desvios da grã proporcionaram aumento na resistência ao cisalhamento e no módulo de elasticidade dinâmico.

O efeito do MAD na Vu foi evidente apenas para os clones P e K, para os demais não foi observada a existência de correlações significativas.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BASSA, A. G. M. C.; SILVA JUNIOR, F. G.; SACON, V. M. Misturas de madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft através do processo Lo-Solids. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 75, p. 19-29, 2007.

BELTRAME, R.; LAZAROTTO, M.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R.; AGUIAR, A. M. Determinação das deformações residuais longitudinais decorrentes das tensões de crescimento em *Eucalyptus* spp. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 343-351, 2012.

BORGES, L. C.; FERREIRA, D. F. Poder e taxas de erro tipo I dos testes Scott-Knott, Tukey e Student-Newman-Keuls sob distribuições normal e não normais dos resíduos. **Revista de Matemática Estatística**, Jaboticabal, v. 21, n. 1, p. 67-83, 2003.

BOTREL, M. C. G.; SILVA, J. R. M.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. da S.; FERNANDES, B. R. Ganho genético em propriedades físicas e mecânicas de clones de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 76, p. 13-19, 2007.

CABROLIER, P.; BEAUCHÊNE, J.; THIBAUT, B. Is interlocked grain an adaptive trait for tropical tree species in rainforest? In: PLANT BIOMECHANICS CONFERENCE, 6., 2009, Cayenne, 2009. **Anais...** Cayenne: Plant Biomechanics Conference, 2009. p. 279-284.

- CALEGARI, L.; STANGERLIN, M. D.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A.; CARMO, P. I. O. do; SILVA FILHO, L. C. P. Avaliação de alguns fatores influentes na velocidade ultra-sônica na madeira. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 4, p. 607-615, 2008.
- CANDIAN, M.; SALES, A. Aplicação das técnicas não destrutivas de ultra-som, vibração transversal e ondas de tensão para avaliação de madeira. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 83-98, 2009.
- COWN, D. J.; MCCONCHIE, D. L.; YOUNG, G. D. Wood properties of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* grown in Fiji. **New Zealand Journal Forestry Science**, v. 17, p. 54, 1983.
- COWN, D. J.; YOUNG, G. D.; KIMBERLEY, M. O. Spiral grain patterns in plantation-grown *Pinus radiata*. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 21, n. 2/3, p. 206-216, 1991.
- DANBORG, F. Spiral grain in plantation trees of *Picea abies*. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 24, n. 8, p. 1662-1671, 1994.
- EKLUND, L.; SÄLL, H. The influence of wind on spiral grain formation in conifer trees. **Trees**, p. 324-328, 2000.
- FERNANDES, D. E.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; FERREIRA, M. Z. Influência da produtividade de clones híbridos de eucalipto na densidade da madeira e na polpação Kraft. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 90, p. 143-150, 2011.
- FONWEBAN, J.; MAVROU, I.; GARDINER, B.; MCDONALD, E. Modelling the effect of spacing and site exposure on spiral grain angle on Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) in Northern Britain. **Forestry**, v. 86, n. 3, p. 331-342, 2013.
- HARRIS, J. M. **Spiral grain and wave phenomena in wood formation**. Heidelberg: Springer, 215 p. 1989.
- HERNÁNDEZ, R. E. Influence of accessory substances, wood density and interlocked grain on the compressive properties of hardwoods. **Wood Science and Technology**, v. 41, p. 249-265, 2007.
- HERNÁNDEZ, R.; ALMEIDA, G. Effects of wood density and interlocked grain on the shear strength of three Amazonian tropical hardwoods. **Wood and Fiber Science**, v. 35, n. 2, p. 154-166, 2003.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório IBÁ 2016**. Brasília, p. 100, 2016. Disponível em: <[http://www.iba.org/shared/iba\\_2016\\_pt.pdf](http://www.iba.org/shared/iba_2016_pt.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2016.

LIMA, J. T.; TRUGILHO P. F.; ROSADO, S. C. S.; CRUZ, C. R. Deformações residuais longitudinais decorrentes de tensões de crescimento em eucalipto e suas associações com outras propriedades. **Árvore**, v. 28, n. 1, p. 107-116, 2004.

OGATA, Y.; KADOKAWA, T.; FUJITA, M. Experimental conditions for quantitative image analysis of wood cell structure (II): Non-microscopic image sampling over a very wide area using a film scanner. **Journal Japan Wood Research Society**, v. 48, p. 341-347, 2002.

ONCHIEKU, J.; GITHIOMI, J. K.; OBALLA P.; CHAGALLA-ODERA, E. Effect of spiral grain occurrence on strength properties of *Pinus patula* grown in Kenya. **International Journal of Applied Science and Technology**, v. 3, n. 2, p. 36-43, 2013.

PALERMO, G. P. M.; LATORRACA, J. V. F.; CARVALHO, A. M. C.; GARCIA, R. A. Avaliação da superfície da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden tratada termicamente. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 145-152, 2015.

QUEIROZ, S. C. S.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C. Influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa Kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 901-909, 2004.

ROSS, R. J.; BRASHAW, B. K.; PELLERIN, R. F. Nondestructive evaluation of wood. **Forest Products Journal**, v. 48, n. 1, 1998.

THINLEY, C.; PALMER, G.; VANCLAY, J. K.; HENSON, M. Spiral and interlocking grain in *Eucalyptus dunnii*. **European Journal of Wood and Wood Products**. v. 63, n. 5, p. 372-379, 2005.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**: structure, properties and utilization. New York: Van Nostrand Reinold, 1991. 494 p.

WANG, X.; CARTER, P.; ROSS, R. J.; BRASHAW. Acoustic assessment of wood quality of raw forest materials - a path to increased profitability. **Forest Products Journal**, v. 57, n. 5, p. 6-14, 2007.

WATT, M. S.; KIMBERLEY, M. O.; HARRINGTON, J. J.; RIDDELL, M. J. C.; COWN, D. J.; MOORE, J. R. Differences in intra-tree variation in spiral grain angle for radiata pine. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 43, n. 12, p. 12-43, 2013.

WEBB, C. D. Variation of interlocked grain in Sweetgum. **Forest Products Journal**, v. 19, n. 8, 1969.

WEDDELL, E. Influence of interlocked grain on the bending strength of timber, with particular reference to utile and greenheart. **Journal Institute Wood Science**, v. 7, p. 56-72, 1961.

## CAPÍTULO II

### VARIAÇÃO DOS DESVIOS DA GRÃ E A SUA RELAÇÃO COM AS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DA MADEIRA DE EUCALIPTO

#### RESUMO

Teve-se por objetivo avaliar a variação do máximo desvio angular no sentido medula-casca e base-topo das árvores e a relação da grã com as propriedades físico-mecânicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 13 anos. Seis árvores de sete diferentes clones (total de 42 árvores) foram colhidas e seccionadas em toras e discos em três posições ao longo do fuste (0,10; 5 e 12 m). As toras retiradas na altura de 5 a 7 m foram desdobradas em tábuas tangenciais, utilizadas no preparo das amostras para avaliação das propriedades mecânicas. A partir de discos foram preparadas amostras para determinação do máximo desvio angular (MAD) e propriedades físicas. O MAD foi determinado pelo método de divisão radial; a resistência à compressão paralela, o MOR e MOE na flexão estática, a densidade básica e a contração volumétrica pela NBR 7190; e a velocidade de propagação de ondas e o módulo de elasticidade dinâmico, obtidos pelas técnicas não destrutivas de ultrassom, *stress wave* e vibração transversal. Houve decréscimo de 8,99% do máximo desvio angular da base para o topo das árvores e acréscimo igual a 31,28% no sentido medula-casca. Os maiores desvios de grã próximo a casca pode ser atribuído a maior presença de madeira adulta, nesta região, as quais possuem elementos celulares nas dimensões máximas. Observou-se correlação significativa do MAD, com a velocidade de propagação das ondas de tensão e a contração volumétrica da madeira, quando os clones foram avaliados conjuntamente. Não houve correlação entre o MAD e a densidade básica, compressão paralela, MOR e MOE na flexão estática, MOEd determinado pelas técnicas de *stress wave*, vibração transversal e ultrassom, e velocidade ultrassônica da madeira dos clones de *E. grandis* x *E. urophylla*, em conjunto.

**Palavras-chave:** Máximo desvio angular, Técnicas não destrutivas, Qualidade da madeira.

## 1. INTRODUÇÃO

A grã da madeira é a forma como os elementos celulares axiais constituintes do lenho estão orientados em relação ao eixo longitudinal da árvore ou peça de madeira serrada (HARRIS, 1989; TSOUMIS, 1991).

Quando esses elementos estão paralelos ao eixo longitudinal do fuste ou peça, a grã é classificada como reta, contudo, mediante a uma inclinação para a direita ou esquerda do eixo, tem-se a grã espiralada ou inclinada. A grã inter cruzada ocorre quando a organização dos elementos varia sistematicamente entre um desvio a esquerda e a direita (HARRIS, 1989; THINLEY et al., 2005; CABROLIER; BEAUCHÊNE; THIBAUT, 2009).

Vários termos são utilizados para mencionar a grã da madeira, sejam eles, o máximo desvio angular – MAD ou ângulo, inclinação e índices de grã (HARRIS, 1989; COWN; YOUNG, KIMBERLEY, 1991; HERNÁNDEZ E ALMEIDA, 2003; HERNÁNDEZ, 2007; WATT et al., 2013). Neste trabalho optou-se por utilizar os termos MAD e desvio da grã com o desígnio de mencionar à grã da madeira de eucalipto.

O máximo desvio angular da madeira pode apresentar grande variabilidade entre espécies e dentro de árvores de mesma espécie, podendo gerar uma influência de diferentes magnitudes nas propriedades da madeira (HARRIS, 1989). Ainda para o autor citado, não é possível estabelecer um padrão de comportamento dos desvios angulares na árvore, pois podem ocorrer variações dos desvios da grã dentro do fuste.

Os efeitos do MAD nas propriedades da madeira podem ser avaliados utilizando corpos de prova ou peças que apresentem de forma natural a grã inclinada, espiralada ou inter cruzada. A avaliação do MAD permitirá conhecer o efeito real dos desvios da grã nas propriedades da madeira, já que na maioria das peças serradas há evidências da inclinação e variação da grã.

Existem diversas metodologias de mensuração do MAD, podendo ser realizada a partir de uma árvore em pé, em toras, em discos de madeira e em peças serradas com uso de um marcador manual, *softwares* analisadores de imagens, raios-X, laser e divisão radial (WEBB, 1969; HARRIS, 1989; COWN; YOUNG, KIMBERLEY, 1991; EKLUND; SÄLL, 2000; HERNÁNDEZ; ALMEIDA, 2003; SIMONHO, et al., 2004; CABROLIER; BEAUCHÊNE; THIBAUT, 2009; BRÉMAUD et al., 2010; WATT et al.,

2013). O método de divisão radial é de simples execução, rápido e de baixo custo, visto que não há necessidade da utilização de equipamentos sofisticados.

Na avaliação das propriedades da madeira podem ser empregadas técnicas destrutivas e não destrutivas. As técnicas não destrutivas mais utilizadas na avaliação da rigidez da madeira são as ondas de tensão (*stress wave*), as ondas acústicas (ultrassom) e a vibração transversal (DEL MENEZZI et al., 2010). Existem poucas informações a respeito da influência dos desvios da grã na propagação de ondas acústicas e de tensão, o que evidencia a necessidade de melhor compreensão da relação entre o máximo desvio angular e a propagação dessas ondas.

Para Wang et al. (2007), a forma como os elementos celulares estão orientados axialmente exerce influência direta sobre a velocidade de propagação das ondas acústicas. Já que, o desvio de grã gera um campo de deslocamento descontínuo que provocando uma redução na velocidade das ondas.

Os fatores de formação e valores dos desvios da grã dentro do fuste e seus efeitos na qualidade e resistência mecânica para a madeira de coníferas foi abordado em algumas pesquisas (HARRIS, 1989; COWN; YOUNG, KIMBERLEY, 1991; WATT et al., 2013). Todavia, existe uma lacuna a respeito do comportamento dos desvios da grã no fuste, bem como a sua relação com as propriedades físico-mecânicas e a propagação de ondas acústicas e de tensão na madeira de folhosas, como o eucalipto.

O conhecimento das relações entre essas variáveis e o máximo desvio angular poderá ser um importante subsídio para o melhoramento, e principalmente na seleção de materiais genéticos para a produção de serrados, destinados principalmente a construção civil, além de fornecer informações referentes aos efeitos dos desvios da grã, na madeira de eucalipto, sobre as ondas ultrassônicas, de tensão e vibração transversal.

O objetivo desse trabalho foi avaliar a variação do máximo desvio angular no sentido base-topo e medula-casca das árvores e a sua relação com as propriedades físico-mecânicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Informações do plantio, coleta do material no campo e amostragem

O material foi proveniente de um plantio experimental, localizado no município de Alcobaça, sul do estado da Bahia, Brasil (17°33'S e 39°22'O), com altitude média de 50 m, o solo predominante é o Podzóico Amarelo Distrófico e o clima tropical chuvoso e quente (Köppen) com precipitação anual média de 1.378 mm.

Seis árvores de sete clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, plantadas no espaçamento 3 x 3 m e com 13 anos de idade foram seccionadas em toretes de 2 m de comprimento retirados entre 5 e 7 m da altura do fuste comercial e em discos de 50 mm de espessura em três posições (0,10; 5 e 12 m) da altura das árvores. Os toretes de 2 m foram desdobrados em tábuas tangenciais de 0,03 x 0,20 x 2 m (espessura x largura x comprimento), que foram utilizadas para a determinação das propriedades mecânicas da madeira (Figura 1).

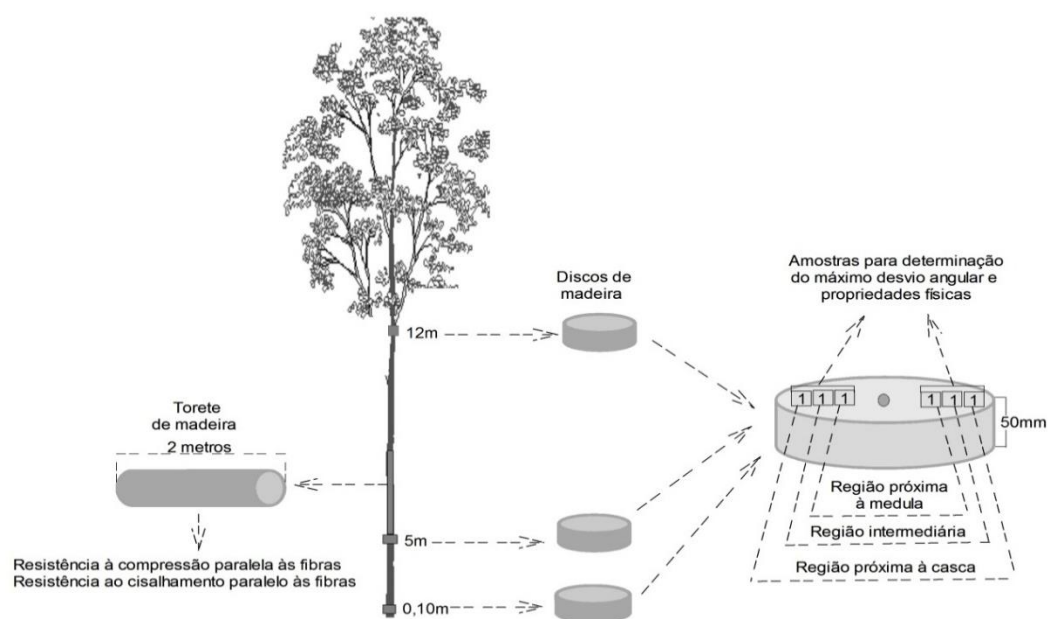


Figura 1 – Locais de retirado do torete e dos discos de madeira para avaliação do máximo desvio angular e propriedades físico-mecânicas

Fonte: O autor.

A partir dos discos foram avaliados o máximo desvio angular e as propriedades físicas. Foram amostradas três posições base-topo e três posições medula-casca de 42 árvores, totalizando 378 amostras para determinação do MAD (Figura 1). Antes da



realização de todas as análises, as amostras foram climatizadas até o teor de umidade de equilíbrio próximo a 12%.

## 2.2 Máximo Desvio Angular (MAD) da madeira

Amostras nas dimensões de 50 x 50 x 50 mm (radial x tangencial x axial) foram utilizadas para a avaliação do MAD de acordo com o procedimento proposto por Webb (1969), que consiste na divisão radial das amostras, com um facão e martelo, e posterior análise de imagem [Figura 2 (A), (B) e (C)].

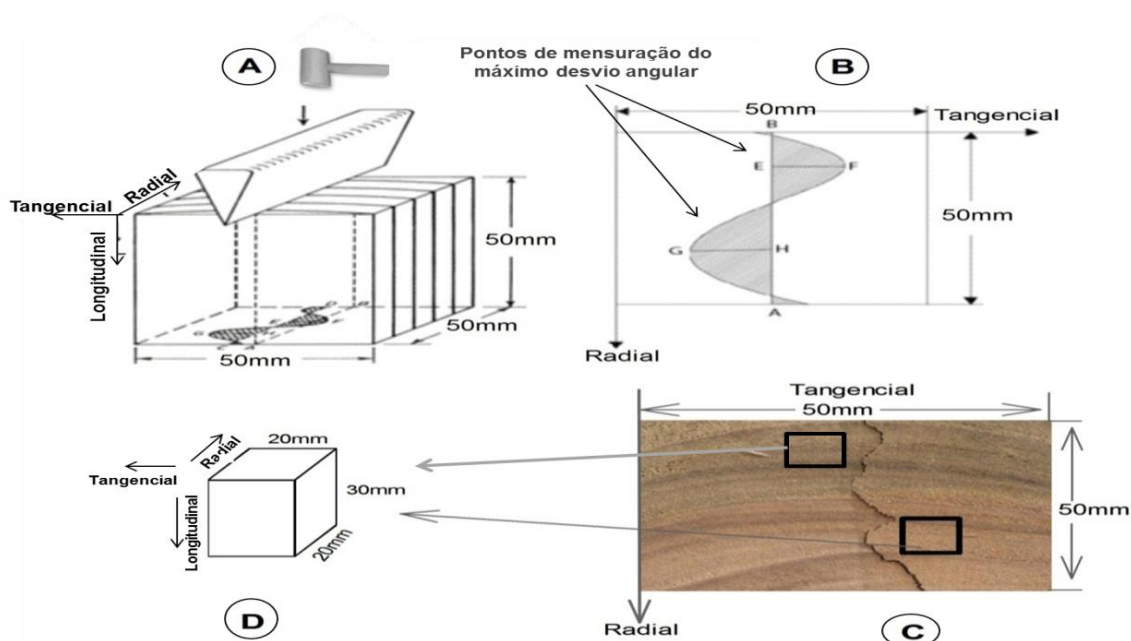


Figura 2 – Local do fendilhamento das amostras (A); pontos de mensuração do MAD (B); Local de obtenção das amostras para avaliação densidade básica e contração volumétrica (C) e dimensões dos corpos de prova para obtenção da densidade básica (DB) e contração volumétrica (CV) (D) da madeira

Fonte: Adaptado de HERNÁNDEZ e Almeida (2003).

As faces das amostras fendilhadas foram digitalizadas em scanner obtendo-se as imagens do comportamento da grã no plano transversal. Com o *software Image-Pro Plus* foram mensurados os desvios para o lado direito e esquerdo e, obteve-se o máximo desvio angular (Equação 1).

$$\text{MAD} = \tan^{-1} \left( \frac{\text{GH}}{\text{L}} \right) + \tan^{-1} \left( \frac{\text{EF}}{\text{L}} \right) \quad (1)$$

Em que: MAD: máximo desvio angular ( $^{\circ}$ ); GH: desvio da grã para o lado esquerdo [cm, Figura 1(B)]; EF: desvio da grã para o lado direito [cm, Figura 2(B)] e L: altura da amostra (cm);  $Tang^{-1}$ : arco tangente.

### 2.3 Propriedades físico-mecânicas da madeira

As propriedades analisadas foram a densidade básica (DB), a contração volumétrica (CV), a resistência à compressão paralela as fibras e o MOR e MOE no ensaio de flexão estática da madeira.

As amostras para determinação da DB e CV foram retiradas na região próxima ao local de mensuração do MAD [Figura 2 (C) com dimensões de 20 x 20 x 30 mm (radial x tangencial x longitudinal), e (D)].

Seis amostras por clone foram utilizadas nos ensaios de resistência à compressão paralela às fibras, com dimensões de 20 x 20 x 30 mm (radial x tangencial x longitudinal) e flexão estática com dimensões de 20 x 20 x 300 mm (radial x tangencial x longitudinal) de acordo com a NBR 7190 (ABNT,1997).

### 2.4 Velocidade de propagação de ondas e módulo de elasticidade dinâmico (MOEd)

A velocidade de propagação de ondas e o MOEd foram determinados pelas técnicas não destrutivas de ondas de tensão (*stress wave*), ondas acústicas (ultrassom) e vibração transversal nas mesmas amostras utilizadas no ensaio de flexão estática. Antes da realização dos ensaios de ultrassom, *stress wave* e vibração transversal foi necessária a climatização das amostras e a determinação da sua densidade aparente a 12% de umidade, de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997), utilizada no cálculo do MOEd.

A velocidade de propagação das ondas ( $m s^{-1}$ ) foi obtida pela relação  $d / t$ , onde,  $d$  é a distância entre os transdutores em metro e,  $t$  o tempo de propagação da onda em segundos. O equipamento *stress wave timer* foi utilizado para a obtenção das ondas de tensão, o qual é dotado de dois transdutores piezo-eletrônicos (um emissor e outro receptor de ondas) e um pêndulo que fornece um impulso aos transdutores. Após a emissão do impulso, o tempo em que a onda de tensão leva para percorrer o comprimento do corpo de prova é visualizado na tela do próprio equipamento.

Já as ondas acústicas foram obtidas pelo equipamento ultrassom Panametrics-NDT da EPOCH com transdutores piezo-eletrônicos, do tipo cubo sensor de faces planas de 10 mm de diâmetro e frequência de 1 MHz. Os dois transdutores foram acoplados nas seções transversais do corpo de prova, aplicando um gel medicinal e em seguida obteve-se o tempo de percurso da onda entre os transdutores (CANDIAN; SALES, 2009).

Para o ensaio de vibração transversal, adotou-se o contorno de barra livre-livre, conhecida internacionalmente como *free-free bar*, que consistiu em apoiar os corpos de prova sobre fios de elastômero ligados a duas hastes de madeira. Os corpos de prova foram apoiados e seus pontos nodais de modo a vibrar na direção transversal, esses pontos são determinados pelo produto da constante 0,224 e o comprimento da amostra. Com o corpo de prova posicionado sobre os elastômeros, foi produzido um impacto com um martelo na direção perpendicular às fibras do corpo de prova, e as vibrações foram capturadas por um microfone posicionado na mesma direção, porém na face oposta ao local do impacto do martelo.

As vibrações captadas foram transformadas em frequências pelo programa *Fast Fourier Vibration Analyzer*, que utiliza a transformada rápida de Fourier (FFT) (CHUI et al.,1999; CARREIRA et al.,2012). Para obtenção do MOEd pelos métodos de ondas de tensão, ondas ultrassônicas e vibração transversal, utilizaram-se as Equações 3, 4 e 5, respectivamente.

$$\text{MOEdsw} = (V^2) \times (\rho_{\text{ap}} \times g) \times 10^{-5} \quad (3)$$

$$\text{MOEdultra} = V^2 \times \rho_{\text{ap}} \quad (4)$$

$$\text{MOEdvt} = \frac{f_r^2 \cdot W \cdot L^3}{2,46 \cdot I \cdot g} \quad (5)$$

Em que: MOEdsw, MOEdultra e MOEdvt: módulo de elasticidade dinâmico (MPa) por *stress wave*, ultrassom e vibração transversal; V: velocidade de propagação de ondas ( $\text{m s}^{-1}$ );  $\rho_{\text{ap}}$ : densidade aparente a 12% de umidade ( $\text{kg m}^{-3}$ ); g: aceleração da gravidade ( $9,8 \text{ m s}^{-2}$ );  $f_r$ : frequência de vibração transversal (Hz); W: massa do corpo de prova (kg); L: comprimento do corpo de prova (m); I: momento de inércia da secção transversal ( $\text{m}^4$ ).

## 2.5 Análise estatística

Para avaliar o comportamento do máximo desvio angular por posição medula-casca e base-topo das árvores dos clones de eucalipto, os dados de MAD, separadamente e em conjunto, foram submetidos à análise de correlação linear de Pearson, observando a sua significância pelo teste de t ( $p < 0,05$ ). Utilizou a correlação de Pearson a fim de verificar existência de relação entre as variáveis posições base-topo e medula-casca com os desvios da grã.

O efeito do MAD, ao considerar cada clone separadamente e conjuntamente, nas propriedades físicas (densidade básica e a contração volumétrica) e mecânicas (módulo de ruptura e de elasticidade no ensaio de flexão estática e, a resistência à compressão paralela às fibras) e na velocidade de propagação de ondas acústicas e de tensão, foi avaliado por uma análise de correlação linear de Pearson.

Para a correlação do MAD com as propriedades mecânicas e velocidade de ondas acústicas e de tensão, utilizou os dados de MAD obtidos nos discos da altura de 5 metros, já que as propriedades mecânicas foram determinadas nas amostras retiradas de toras desta posição.

Com base nas correlações significativas ( $p < 0,05$ ) encontradas, foram ajustados modelos polinomiais de grau p ( $Y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2 + \dots + \beta_px^p + \text{erro}$ ) pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO), e avaliados por meio do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ) e erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ). Os modelos foram ajustados a fim de estimar o MAD em função das posições de amostragem analisadas, bem como, estimar as propriedades da madeira em função do MAD.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Valores médios das propriedades físico-mecânicas da madeira

A densidade básica média da madeira dos sete clones foi de  $0,51 \text{ g cm}^{-3}$  (Tabela 1), e teve baixa variabilidade entre os 7 clones avaliados, com coeficiente de variação variando de 3,80 a 6,41%, o que pode ser atribuído a utilização de materiais de mesma procedência genética e do mesmo local de plantio. Os valores médios de

densidade estão dentro dos valores de densidade normalmente encontrados na literatura para o gênero *Eucalyptus* em idades jovens plantados no Brasil. E, segundo a classificação de Carvalho (1996), a madeira dos clones D e E são classificados como de média contração volumétrica, enquanto, os demais clones são classificados como de alta contração.

Tabela 1 – Valores médios da densidade básica (DB) e contração volumétrica (CV) da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 13 anos de idade

Propriedades	Clones							Média Geral
	A	B	C	D	E	F	G	
<b>Densidade básica (g cm<sup>-3</sup>)</b>	0,55 (6,27)	0,49 (5,12)	0,57 (5,32)	0,50 (6,41)	0,52 (4,78)	0,46 (3,82)	0,47 (3,80)	<b>0,51</b>
<b>Contração volumétrica (%)</b>	17,61 (7,68)	15,78 (4,70)	18,83 (11,15)	14,44 (5,42)	14,31 (8,49)	17,29 (7,77)	16,76 (5,46)	<b>16,43</b>

Valores entre parênteses são os coeficientes de variação (%).

A pequena variação da resistência à compressão paralela às fibras ( $f_{co}$ ) entre todos os clones foi demonstrado pelo baixo valor de coeficiente de variação, sendo a média dos sete clones igual a 63,23 Mpa (Tabela 2). O clone F (56,11 MPa) apresentou a menor resistência a compressão paralela às fibras, o que pode ser um reflexo das propriedades físicas, já que esse clone apresentou menor valor de densidade, o que pode conferir uma menor resistência mecânica à madeira.

Tabela 2 – Valores médios das propriedades mecânicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 13 anos de idade

Clones	MOR (MPa)	MOEst (MPa)	V.ultra (m s <sup>-1</sup> )	V.sw (m s <sup>-1</sup> )	MOEdsw (MPa)	MOEultra (MPa)	MOEdvt (MPa)	$f_{co}$ (MPa)
<b>A</b>	114,19 (6,15)	14955,91 (7,21)	5989,51 (1,47)	4264,32 (3,65)	12657,27 (6,56)	24827,17 (5,35)	20621,67 (10,06)	72,70 (6,24)
<b>B</b>	95,71 (16,08)	17111,10 (51,12)	6098,88 (1,78)	4339,10 (2,98)	12268,43 (13,85)	22463,48 (12,13)	21495,00 (15,55)	61,81 (10,32)
<b>C</b>	122,50 (14,86)	16141,78 (12,22)	5835,37 (2,87)	4286,63 (2,68)	12784,23 (6,03)	23585,40 (9,04)	21890,00 (22,37)	69,97 (7,56)
<b>D</b>	109,13 (13,93)	13704,81 (11,33)	5688,62 (2,90)	4088,89 (1,94)	11918,57 (10,74)	21957,63 (11,80)	18560,00 (12,89)	62,82 (7,32)
<b>E</b>	105,11 (18,73)	17827,88 (54,07)	5878,18 (2,55)	4067,84 (2,85)	10547,60 (6,30)	20597,31 (9,53)	18743,33 (12,90)	59,48 (12,74)
<b>F</b>	90,97 (18,09)	19600,83 (86,82)	6069,03 (2,29)	4233,30 (2,33)	10090,55 (11,28)	20.785,94 (10,57)	17355,00 (10,91)	56,11 (10,58)
<b>G</b>	95,65 (15,84)	12462,71 (8,73)	5927,22 (3,84)	4269,65 (3,56)	10237,37 (18,54)	19541,75 (7,92)	18103,33 (8,83)	59,75 (7,91)
<b>Média Geral</b>	<b>104,75</b>	<b>15972,15</b>	<b>5926,69</b>	<b>4221,39</b>	<b>11500,57</b>	<b>21965,53</b>	<b>19538,33</b>	<b>63,23</b>

Em que: MOR: módulo de ruptura e MOE: módulo de elasticidade estático obtidos pelo ensaio de flexão estática; V.ultra e V.sw: velocidade de propagação das ondas acústicas e de tensão, em ordem; MOEdsw, MOEultra, MOEdvt: módulo de elasticidade dinâmico obtido por *Stress Wave*, ultrassom e vibração transversal, em ordem; e  $f_{co}$ : resistência a compressão paralela as fibras. Valores entre parênteses são os coeficientes de variação (%).

Os valores médios do MOE e MOR na flexão estática para todos os clones foi de 15.972,15 e 104,75 MPa, respectivamente.

A velocidade média de propagação das ondas observadas nos ensaios ultrassônicos ( $5.926,69 \text{ m s}^{-1}$ ) foram maiores do que as obtidas empregando o ensaio de *stress waver timer* ( $4.221,39 \text{ m s}^{-1}$ ) (Tabela 2), que pode está relacionada à maior sensibilidade da técnica de ultrassom. E, a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas e de tensão apresentaram baixa variabilidade entre clones, com maior e menor valor de coeficiente de variação igual a 3,84 e 1,47%, respectivamente.

Dentre as três avaliações do módulo de elasticidade dinâmico por meio das técnicas não destrutivas (*stress wave timer*, ultrassom e vibração transversal) (Tabela 2), os valores mais elevados do MOEd foi obtido com o emprego do ultrassom (21.965,53 MPa) seguido da vibração transversal (19.538,33 MPa) e *stress wave timer* (11.500,57 MPa).


A média geral do MOE obtido por meio das técnicas de ultrassom e vibração transversal foi 37,52 e 22,32%, respectivamente, maior que MOE estático, corroborando com Mochan, Connolly e Moore (2009) que afirmaram que MOE dinâmico apresenta valores maiores ao MOE estático.

### 3.2 Máximo desvio angular (MAD)

A amplitude média dos valores do MAD para os sete clones foi baixa, variando de  $5,27^\circ$  (clone G) a  $7,13^\circ$  (clone E), o que pode ser atribuída à utilização de materiais genéticos provenientes do mesmo híbrido, plantados na mesma época e que cresceram sob as mesmas condições edafoclimáticas. Apesar da baixa amplitude, observou-se que após o fendilhamento das amostras, a superfície transversal das amostras apresentaram distintos padrões de desvios da grã (Tabela 3).

Thinley et al. (2005) mencionaram que a grã da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos 9 anos é uma característica altamente controlada por fatores genéticos [ $h^2 = 0,63$ ]. Diante da dominância do controle genético nos desvios angulares, a seleção clonal é uma estratégia que pode ser viável na obtenção de madeiras com baixo índice de MAD (FONWEBAN et al., 2013).

Tabela 3 – Valores médios do máximo desvio angular (MAD) e padrões de desvios da grã da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 13 anos de idade

Clones	A	B	C	D	E	F	G	Média Geral
<b>MAD (°)</b>	5,74 (12,81)	6,22 (9,91)	6,15 (11,00)	6,52 (5,42)	7,13 (11,19)	5,93 (7,25)	5,27 (5,77)	
<b>Padrão de desvio da grã</b>								<b>6,14</b>

Valores entre parênteses são os coeficientes de variação (cvar (%))

Os valores médios dos MAD dos sete clones de eucalipto foram maiores que os observados para as madeiras de folhosas como *Eucalyptus dunnii* aos 9 anos (3,4° e desvio padrão = 1,5), *Swietenia* sp.(3°), e menores que os observados para a *Dipteryx odorata* (11,9° e cvar = 24%), *Amburana cearensis* (16,4° e cvar = 39%), *Aspidosperma macrocarpon* (16,0° e cvar = 33%) e *Clarisia racemosa* (12,4° e cvar = 30%) (HERNÁNDEZ; ALMEIDA, 2003; THINLEY et al., 2005; HERNÁNDEZ, 2007; CABROLIER; BEAUCHÊNE; THIBAUT, 2009). O coeficiente de variação (cvar) entre essas espécies florestais variou de 24 a 39%, maiores que a média geral do MAD nos sete clones, demonstrando a dificuldade de mensuração e a heterogeneidade dos desvios angulares entre as espécies.

O desvio da grã influencia a trabalhabilidade da madeira, e assim o comportamento e qualidade das peças serradas. Segundo Onchieku (2013) a madeira serrada de coníferas com desvios da grã superiores a 6°, não devem ser empregadas para fins estruturais devido a menor resistência mecânica e menor estabilidade dimensional.

Ainda não são claras as razões para a variação do MAD entre e dentro das espécies florestais, no entanto, o MAD possui relação com as condições ambientais, os fatores genéticos, as características do solo, o espaçamento de plantio, a taxa de crescimento, os tratamentos silviculturais, a forma da copa (HARRIS 1989; DANBORG 1994; THINLEY et al., 2005; WATT et al., 2013; ONCHIEKU, 2013; FONWEBAN et al., 2013) e a idade das árvores (COWN; YOUNG, KIMBERLEY, 1991).

O método de mensuração empregado também pode ser uma fonte de variação, pois diferentes literaturas utilizam metodologias e amostragens distintas (CONW et al., 1991; ONCHIEKU, 2013), e até mesmo pela dificuldade de medição do MAD, ao

considerar que o desvio da grã é obtido em um único plano, quando na verdade a grã é tridimensional.

### 3.3 Variação do MAD no sentido base-topo do fuste

Correlação significativa entre o MAD e as três alturas do fuste foi observada apenas para um clone dos sete avaliados [clone F ( $r = -0,52$ ,  $p < 0,05$ )], quando avaliados separadamente. Desta forma, analisaram-se os dados do clone F por meio de regressão linear (Figura 3), em que houve um decréscimo do MAD no sentido base-topo do fuste. O baixo valor de  $R^2$  (0,22) demonstra que apenas essas posições não foram capazes de explicar a variação do MAD ao longo do tronco das árvores.

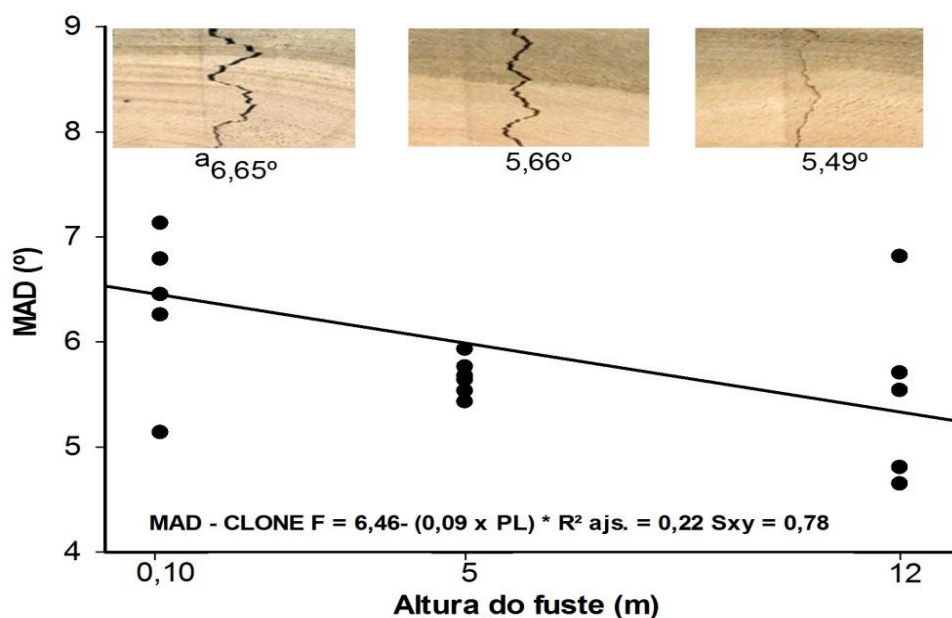


Figura 3 – Dispersão dos valores do máximo desvio angular (MAD) entre as três posições no sentido base – topo do fuste para o clone F de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 13 anos. <sup>a</sup> valor médio por posição e \* significativo a 5%.

Houve uma redução dos valores médios do MAD conforme aumentou a altura das árvores quando os clones foram avaliados conjuntamente, uma vez que a média geral do MAD na região próxima a base ( $6,44^\circ$ ) foi maior que as médias encontradas à 5 m ( $6,16^\circ$ ) e a 12 m ( $5,77^\circ$ ) de altura do fuste (Figura 4).



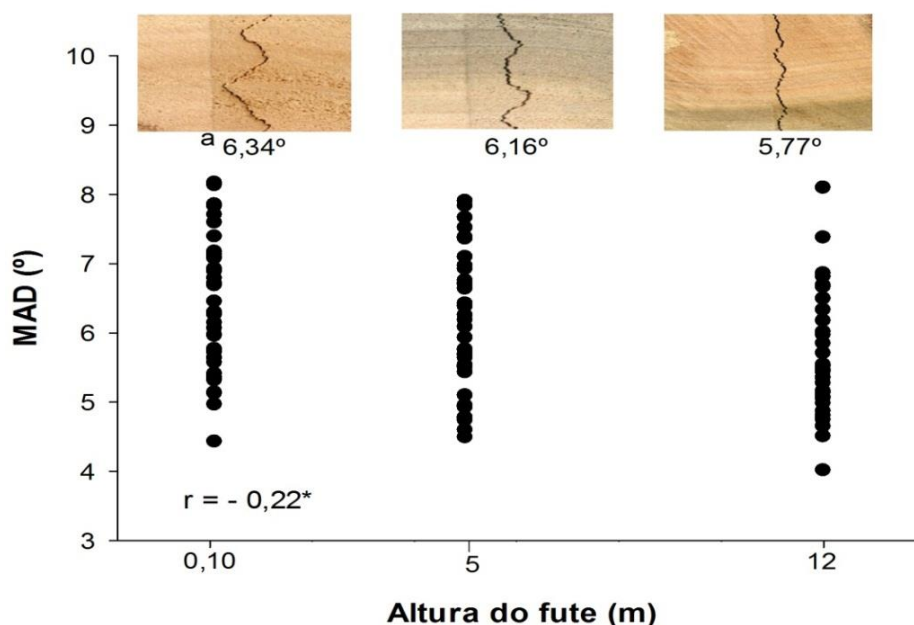


Figura 4 – Correlação linear ( $r$ ) entre o máximo desvio angular (MAD) e as três posições no sentido base – topo do fuste de sete clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 13 anos de idade. <sup>a</sup> valor médio por posição e \* significativo a 5%.

O desvio de grã diminuiu 8,99% no sentido base-topo das árvores e a correlação entre o MAD e as três alturas do fuste foi baixa, negativa e significativa, quando os clones foram avaliados conjuntamente (Figura 4). Na base das árvores há uma maior proporção de madeira adulta, onde as dimensões das fibras (espessura, largura e comprimento) e vasos podem influenciar os desvios da grã. Na madeira adulta, as células já estão nas dimensões máximas, tamanho constante e comportamento físico mais estável (JANKOWSKY, 1979; ZOBEL; BUIJTENEN, 1989; LARSON, et al., 2001). Fonweban et al. (2013) afirmaram que os desvios da grã da madeira de *Picea sitchensis* foram mais pronunciados na madeira juvenil do que na madeira adulta.

São descritos na literatura valores crescentes e decrescentes do MAD no sentido base-topo das árvores em diferentes espécies florestais, com a necessidade de mais estudos do comportamento do MAD ao longo do tronco das folhosas, e, principalmente, daquelas destinadas a produção de produtos sólidos.

Cown, Young e Kimberley (1991) para a madeira de *Pinus radiata* com 25 anos, observaram o aumento significativo dos desvios da grã (5° a 8°) ao longo do fuste.

O coeficiente de variação do MAD foi de 14,99 a 18,18% da base aos 12 metros de altura, respectivamente, sendo ambos os valores superiores ao coeficiente de variação geral (12,62%), independentemente da posição e do material genético avaliado.

Ao considerar o MAD como critério de seleção de material genético para produção de madeira serrada, o seu decréscimo no sentido base-topo do fuste é um fator relevante, pois dependendo da posição de obtenção das tábuas, a madeira apresentará um comportamento heterogêneo no desdobro, secagem, beneficiamento e utilização final.

### 3.4 Variação do MAD no sentido medula-casca

Ao contrário da tendência de redução dos valores de MAD no sentido base-topo do fuste, houve uma tendência crescente de 21,28% dos valores dessa variável no sentido medula a casca (Figura 5), com correlação positiva e significativa ( $r = 0,494$ ,  $p < 0,01$ ). Na região próxima à casca algumas amostras apresentaram valor de MAD maior que  $14^\circ$  o que contribuiu para elevar a média geral dessa posição (Figura 5).

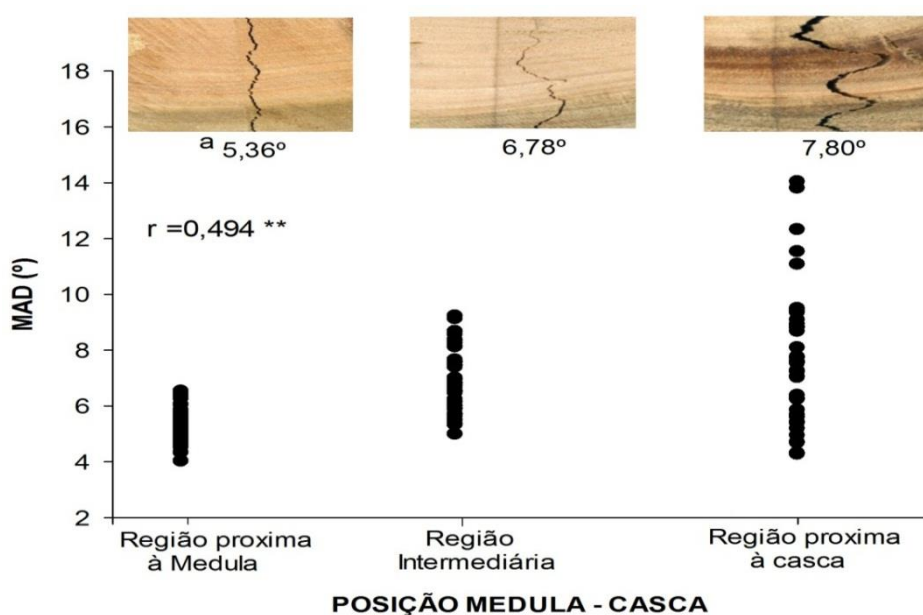


Figura 5 – Correlação linear ( $r$ ) entre o máximo desvio angular (MAD) e as posições medula – casca do fuste de sete clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 13 anos. \*\* significativo a 1%, a: valor médio por posição

O coeficiente de variação seguiu o mesmo comportamento das médias de MAD no sentido base-topo do fuste, com menor coeficiente de variação nas amostras da posição da medula (11,60%), seguido da posição intermediária (17,38%) e a casca (35,53%) (Figura 5).

O comportamento do MAD na posição medula-casca pode ser reflexo das estruturas anatômicas do lenho, taxa de crescimento, presença de madeira adulta e

lenho de reação nas proximidades da casca. Os elementos do câmbio vascular realizam constantes divisões celulares e a alta frequência desses fenômenos provoca modificações periódicas no arranjo dos elementos celulares o que pode refletir nos valores do MAD (HARRIS, 1989; LARSON, 1994; EKLUND; SÄLL; LINDER, 2002; KOJS; LOCH; RUSIN, 2004). Os menores desvios da grã na região próxima a medula pode está relacionadas às maiores taxas de crescimento em altura durante o crescimento inicial do fuste.

Fonweban et al. (2013) observaram que os desvios da grã na madeira de *Picea sitchensis* apresentou comportamento crescente da medula até a região intermediária e decrescente até a região próxima à casca, com valores médios de 2,17°, 3,71° e 0,71°, respectivamente. Já Cown, Young e Kimberley (1991) verificaram um decréscimo dos desvios da grã no sentido medula-casca na madeira de *Pinus radiata* aos 25 anos, com valores de grã variando de 5 a 1,5°.

O comportamento dos desvios da grã da região próxima à medula até a região próxima à casca ocasionará maiores dificuldades de beneficiamento e uso da madeira. Possivelmente, peças obtidas na região próximas à casca terão maior desvio de grã, e conseqüentemente menor estabilidade da madeira.

### **3.5 Efeito da grã da madeira nas propriedades físico-mecânicas**

Os dados de MAD e de todas as propriedades avaliadas foram submetidos à análise de correlação de Pearson considerando cada clone separadamente (Tabela 4), e também todos os clones conjuntamente.

De modo geral, as propriedades físico-mecânicas apresentaram poucas correlações com os desvios da grã da madeira de clones de eucalipto avaliados conjuntamente. Na avaliação de cada clone separadamente, as correlações entre as propriedades e o MAD foram mais evidentes, com destaque para as correlações significativas entre o MAD e o MOR, MOEd por *stress wave timer*, MOEd por ultrassom, MOEd por vibração transversal para os clones A, E e F (Tabela 4).

Tabela 4 – Coeficientes de correlação de Pearson do máximo desvio angular (MAD) com as propriedades físico-mecânicas e velocidade de propagação de ondas de tensão e acústica para os sete clones de eucalipto aos 13 anos, avaliados separadamente.

Clones	DB	CV	MOR	MOE	MOEd <sub>sw</sub>	MOEd <sub>ultra</sub>	MOEd <sub>vt</sub>	f <sub>co</sub>	Vu	Vsw
<b>A</b>	0,16 (0,76)	0,01 (0,99)	<b>-0,88</b> (0,02)	-0,01 (0,99)	-0,34 (0,51)	-0,33 (0,52)	-0,47 (0,35)	0,42 (0,40)	0,18 (0,73)	0,09 (0,86)
<b>B</b>	-0,59 (0,22)	0,18 (0,74)	-0,15 (0,77)	0,47 (0,34)	-0,72 (0,10)	-0,39 (0,44)	-0,79 (0,06)	-0,16 (0,76)	-0,63 (0,18)	-0,48 (0,34)
<b>C</b>	-0,31 (0,55)	-0,01 (0,98)	-0,22 (0,68)	-0,04 (0,95)	-0,09 (0,87)	0,29 (0,58)	-0,15 (0,78)	-0,36 (0,48)	0,74 (0,09)	-0,63 (0,18)
<b>D</b>	0,67 (0,14)	0,52 (0,29)	0,11 (0,83)	0,12 (0,83)	0,01 (0,98)	0,33 (0,53)	-0,19 (0,72)	0,44 (0,39)	-0,67 (0,15)	0,23 (0,66)
<b>E</b>	0,048 (0,93)	-0,08 (0,88)	-0,01 (0,99)	0,19 (0,73)	<b>0,96</b> (0,002)	<b>0,88</b> (0,02)	-0,25 (0,64)	0,36 (0,48)	0,01 (0,98)	-0,34 (0,51)
<b>F</b>	0,13 (0,81)	-0,19 (0,73)	0,49 (0,33)	-0,56 (0,25)	0,37 (0,47)	-0,19 (0,71)	<b>-0,85</b> (0,03)	-0,19 (0,72)	0,44 (0,39)	-0,12 (0,83)
<b>G</b>	0,31 (0,55)	-0,24 (0,64)	0,57 (0,24)	0,90 (0,71)	0,31 (0,56)	0,10 (0,85)	0,40 (0,44)	0,32 (0,53)	0,46 (0,35)	0,33 (0,53)

Em que: MAD: máximo desvio angular, DB: densidade básica, CV: contração volumétrica, MOR: modulo de ruptura e MOE: modulo de elasticidade obtidos na resistência à flexão estática, MOEd<sub>sw</sub>, MOEd<sub>ultra</sub>, MOEd<sub>vt</sub>: modulo de elasticidade dinâmico obtido por Stress Wave, ultrassom e vibração transversal, f<sub>co</sub>: compressão paralela as fibras, Vu e Vsw: velocidade de propagação de ondas obtida por ultrassom e stress waver, valores entre parêntesis se referem ao valor de p.

O efeito do MAD nos valores do MOR (Tabela 4) está de acordo com o encontrado por Weddell (1961) e Thinley et al. (2005) para a madeira de *Eucalyptus dunnii* aos 9 anos, *Entandrophragma utile* e *Ocotea rodiaei*. Os autores reportaram que o MOR e MOE são negativamente afetados pelos desvios da grã.

Na avaliação conjunta dos sete materiais genéticos não houve correlação do MAD com a densidade básica, o MOR, MOEd por *stress wave timer*, MOEd por ultrassom, MOEd por vibração transversal, compressão paralela, flexão estática e velocidade ultrassônica. A análise conjunta dos clones, tanto dos que apresentaram correlações significativas quanto dos que não apresentaram correlações, fez com que as relações existentes entre as variáveis não fossem detectadas.

No trabalho de Hernández e Almeida (2003) houve tendência de que madeiras de maior densidade apresentassem valores de desvios da grã mais baixos, já madeiras com menores densidades apresentam MAD mais altos.

A ausência de correlação não permite afirmar conclusivamente que entre o MAD e todas as propriedades avaliadas nas madeiras dos sete clones de eucalipto aos 13 anos não exista correlação, pois os valores de MAD encontrados neste trabalho não foram muito elevados, sendo a média geral igual a 6,14°.

Já, quando os clones foram avaliados conjuntamente houve correlações significativas entre o MAD e a velocidade de propagação de ondas de tensão e contração volumétrica. Diante deste comportamento, realizou-se uma análise de regressão para estimar o efeito do MAD na velocidade [Figura 6 (A)] e contração volumétrica da madeira de eucalipto [Figura 6 (B)].

Apesar de significativa e inversamente proporcional a análise de regressão entre o MAD e a  $V_{sw}$ , o MAD teve uma baixa precisão na estimação da velocidade de propagação de ondas obtidas por *stress wave*, indicando que o comportamento da grã isoladamente explica apenas 15% da variação da  $V_{sw}$  nas amostras.

Outros fatores como densidade, módulo de elasticidade e presença de defeitos internos da madeira podem contribuir de forma significativa com a redução da velocidade das ondas de tensão. Destaca-se que o baixo valor de MAD observado foi um fator determinante para a baixa interferência na  $V_{sw}$ , e é possível que maiores desvios da grã possam influenciar de forma mais expressiva no comportamento das ondas obtidas por *stress wave*.

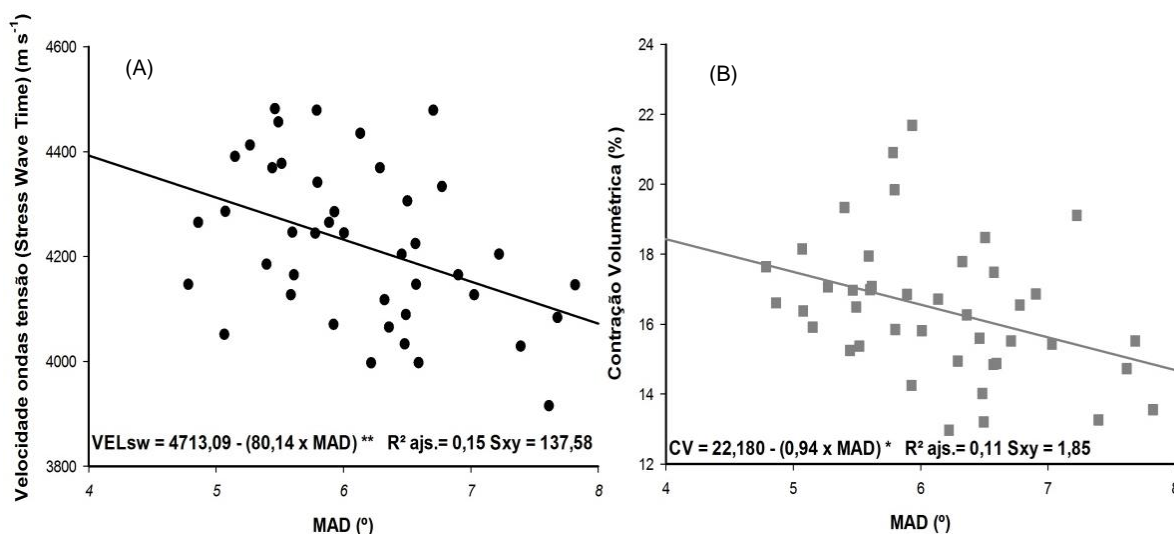


Figura 6 – Dispersão dos valores de velocidade de propagação de ondas obtidas por *Stress Wave* ( $V_{sw}$ ) (A) e contração volumétrica (B) em função do MAD da madeira de eucalipto aos 13 anos, avaliados conjuntamente

A contração volumétrica foi inversamente proporcional ao MAD [Figura 6 (B)], ou seja, com o aumento dos desvios da grã ocorreu um aumento na estabilidade volumétrica da madeira dos clones de eucalipto. Todavia, o baixo valor do  $R^2$  indica que o MAD isoladamente explica pouco a variação da contração volumétrica da madeira.

Um dos fatores que podem justificar essa relação com a contração, seja o tipo de arranjo da grã, já que segundo Thinley et al. (2005) a presença de grã intercruzada é uma característica desejável pois aumenta a estabilidade da madeira e contribui para a formação de figuras nas peças serradas. Cabrolier; Beauchêne; Thibaut (2009) afirmaram que a energia necessária para a ocorrência da ruptura da madeira, aumenta em decorrência do índice de grã intercruzada.

De forma geral, quanto maiores os desvios da grã, menor a contração volumétrica da madeira de clones do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* aos 13 anos, o que ocasiona maior resistência ao surgimento de rachaduras, empenamentos e torções. Este comportamento pode ser justificado pelo arranjo dos elementos celulares dentro do fuste ou peça de madeira, já que, os mesmos se organizam em diferentes sentidos o que dificulta a movimentação da madeira.

#### 4. CONCLUSÃO

As características genéticas dos clones foram fatores importantes na baixa variabilidade do máximo desvio angular na madeira de clones *E. grandis* x *E. urophylla*, aos 13 anos.

O máximo desvio angular reduziu 8,99% no sentido base-topo das árvores e aumentou no sentido medula-casca em 31,28%. Os valores médios de MAD foram maiores no sentido medula-casca do que no sentido base-topo.

A densidade básica da madeira e as propriedades mecânicas avaliadas, tanto de forma destrutiva, quanto não destrutiva, não apresentaram correlações com o máximo desvio angular dos clones avaliados em conjunto.

A contração volumétrica da madeira e a velocidade de propagação das ondas de tensão reduziu com o aumento do máximo desvio angular, na avaliação conjunta dos clones.

Maiores desvios da grã proporcionaram redução no módulo de ruptura e de elasticidade dinâmico por vibração transversal, e aumento do módulo de elasticidade dinâmico por stress wave e ultrassom.

As técnicas não destrutivas de ondas de tensão, ondas ultrassônicas e vibração transversal podem ser utilizadas na análise dos desvios angulares, já que as mesmas

apresentaram-se eficientes na avaliação da relação existentes entre o MAD e o MOEd.

O método de divisão radial mostrou-se eficiente na determinação do MAD da madeira, no entanto, o comportamento tridimensional dos desvios da grã gera maiores dificuldades na obtenção do comportamento real do MAD no fuste ou peça serrada.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BREMAUD, I.; CABROLIER, P.; GRIL, J.; CLAIR, B.; GERARD, J.; MINATO, K.; THIBAUT, B. Identification of anisotropic vibrational properties of Padauk wood with interlocked grain. **Wood Science and Technology**, v. 44, p. 355–367, 2010.

CABROLIER, P.; BEAUCHÊNE, J.; THIBAUT, B. Is interlocked grain an adaptive trait for tropical tree species in rainforest? In: PLANT BIOMECHANICS CONFERENCE, 6., 2009, Cayenne, 2009. **Anais...** Cayenne: Plant Biomechanics Conference, 2009. p. 279-284.

CANDIAN, M.; SALES A. Aplicação das técnicas não destrutivas de ultra-som, vibração transversal e ondas de tensão para avaliação de madeira. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 4, p. 83-98, 2009.

CARVALHO, A. **Madeiras Portuguesas: estrutura anatômica, propriedades, utilizações**. Lisboa: Instituto Florestal, v. 1, 1996.

CARREIRA, M. R. et al. Bending Stiffness Evaluation of Teca and Guajará Lumber Through Tests of Transverse and Longitudinal Vibration. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 34, n. 1, p. 27-32, jan./mar. 2012.

COWN, D. J.; YOUNG, G. D.; KIMBERLEY, M. O. Spiral grain patterns in plantation-grown *Pinus radiata*. **New Zealand Journal of Forestry Science**, p. 206-216, 1991.

CHUI, Y. H.; BARCLAY, D. W.; COOPER, P. A. Evaluation of wood poles using a free vibration technique. **Journal of Testing and Evaluation**, Philadelphia, v.27, n.3, p. 191- 195, 1999.

DANBORG, F. Spiral grain in plantation trees of *Picea abies*. **Canadian Journal of Forest Research**, p. 1662-1671, 1994.

DEL MENEZZI, C. H. S.; SILVEIRA, R. R.; SOUZA, M. R. Estimativas das propriedades de flexão estática de seis espécies de madeiras amazônicas por meio da técnica não-destrutiva de ondas de tensão. **Acta Amazônica**, v. 40, n. 2, p. 325-332, 2010.

EKLUND, L.; SALL, H.; LINDER, S. Enhanced growth and ethylene increases spiral grain formation in *Picea abies* and *Abies balsamea* trees. **Trees**, p. 81–86, 2003. DOI 10.1007/s00468-002-0210-6.

EKLUND, L.; SÄLL, H. The influence of wind on spiral grain formation in conifer trees. **Trees**, p. 324-328, 2000.

FONWEBAN, J.; MAVROU, I.; GARDINER, B.; MCDONALD, E. Modelling the effect of spacing and site exposure on spiral grain angle on sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) in Northern Britain. **Forestry**, p.1–12, 2013.

HARRIS, J. M. **Spiral grain and wave phenomena in wood formation**. Heidelberg: Springer, 1989, p. 215

HERNÁNDEZ, R.; ALMEIDA, G. Effects of wood density and interlocked grain on the shear strength of three Amazonian tropical hardwoods. **Wood and Fiber Science**, v. 35, n. 2, p. 154-166, 2003.

HERNÁNDEZ, R. E. Influence of accessory substances, wood density and interlocked grain on the compressive properties of hardwoods. **Wood Science and Technology**, p. 249-265, 2007.

JANKOWSKY, I. P. Madeira juvenil formação e aproveitamento industrial. **Institutos de Pesquisas e Estudos Florestais-IPEF**, circular Técnica, n. 81, 1979. ISSN 0100-3453.

LARSON, P. R. The vascular cambium—development and structure. **Springer**, Berlin, Heidelberg, New York, p. 279-283, 1994.

LARSON, P.R. et al. **Formation and properties of juvenile wood in southern pines**: a synopsis. Madison: USDA Forest Service, 2001, p. 42.

MOCHAN, S.; CONNOLLY, T.; MOORE, J. **Using acoustic tools in forestry and the wood supply chain**. Edinburgh: Forestry Commission, 2009. p. 6. (Technical Note).

ONCHIEKU, J.; GITHIOMI, J. K.; OBALLA P.; CHAGALLA–ODERA, E. Effect of spiral grain occurrence on strength properties of *Pinus patula* grown in Kenya. **International Journal of Applied Science and Technology**, V. 3, n. 2, 2013.

KOJS, P.; WLOCH, W.; RUSIN, A. Rearrangement of cells in storied cambium of *Lonchocarpus sericeus* (Poir.) DC. Connected with formation of interlocked grain in the xylem. **Trees**, v.18, p. 136–144, 2004



SIMANAHO, S.; PALVIAINEN, J.; TOLONEN, Y.; SILVENNOINEM, R. Determination of wood grain direction from laser light scattering pattern. **Optics and Lasers in Engineering**, p. 95–103, 2004.

TSOUMIS, G. Science and technology of wood: structure, properties and utilization. New York: Van Nostrand Reinold; 1991. 494 p.

THINLEY, C.; PALMER, G.; VANCLAY, J. K.; HENSON, M. Spiral and interlocking grain in *Eucalyptus dunnii*. **European Journal of Wood and Wood Products**. v. 63, n. 5, p. 372-379, 2005.

WANG, X.; CARTER, P.; ROSS, R. J.; BRASHAW. Acoustic assessment of wood quality of raw forest materials - a path to increased profitability. **Forest Products Journal**, v. 57, n. 5, p. 6-14, 2007.

WATT, M. S.; KIMBERLEY, M. O.; HARRINGTON, J. J.; RIDDELL, M. J. C; COWN, D. J; MOORE, J. R. Differences in intra-tree variation in spiral grain angle for radiata pine. **New Zealand Journal of Forestry Science**, 43:12, 2013. Disponível em: <<http://www.nzjforestryscience.com/content/43/1/12>> Acesso em: 20/02/2016.

WEDDELL, E. Influence of interlocked grain on the bending strength of timber, with particular reference to utile and greenheart. **Journal Institute Wood Science**, p. 56-72, 1961.

WEBB, C. D. Variation of interlocked grain in Sweetgum. **Forest Products Journal**, v. 19, n. 8, 1969.

ZOBEL, B. J.; Van BUIJTENEN, J. P. **Wood variation: its causes and control**. Berlin: Springer-Verlag, 1989, p. 361.

### 3. CONCLUSÃO GERAL

No geral, os materiais genéticos da idade de 13 anos, apresentaram baixa variação do máximo desvio angular dentro do clone. Alta variação do MAD foi observada dentro dos clones com idade de 7 anos.

As duas condições de crescimento, Nova Almeida (ES) e Montezuma (MG) não tiveram efeito sobre os desvios da grã da madeira de *E. grandis* x *E. urophylla*, na idade de sete anos. Já dentro do fuste comercial, observou-se uma tendência crescente de 31,28% dos desvios da grã no sentido medula-casca e decrescente de 8,99% da base para o topo.

As características de crescimento correlacionaram positiva e negativamente e foram eficientes na estimação do máximo desvio angular para 6 clones na idade de 7 anos.

A determinação dos desvios angulares do fuste é uma forma eficiente na predição da qualidade da madeira serrada, uma vez que a resistência mecânica e estabilidade dimensional da madeira de 68,75% dos clones da idade de 7 anos foram positivamente afetadas pelo máximo desvio angular. Já para os clones da idade de 13 anos, não foram observadas relações das propriedades mecânicas com o MAD.

A densidade da madeira não teve relação com o MAD da madeira dos clones na idade de 13 anos, porém, houve um aumento da DB em função do aumento dos desvios da grã para 31,25% dos materiais genéticos com idade de 7 anos.

A velocidade de propagação das ondas acústicas e de tensão decresceram a medida que os desvios da grã aumentam, dependendo do material genético observado.

As técnicas não destrutivas de *stress wave* e ultrassom também podem ser utilizadas para estimar os desvios angulares na madeira de eucalipto. Visto que, a velocidade das ondas reduz com o aumento do MAD, permitindo um melhor ajuste dos equipamentos não destrutivos para estimação das propriedades da madeira.