

**LENHO DE TRACÇÃO EM *Eucalyptus* spp
CULTIVADO EM DIFERENTES TOPOGRAFIAS**

SÉRGIO FERREIRA

2007

SÉRGIO FERREIRA

**LENHO DE TRAÇÃO EM *Eucalyptus* spp CULTIVADO EM
DIFERENTES TOPOGRAFIAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, Área de Concentração A Madeira como Matéria-Prima, para a obtenção do título de “Doutor”.

Orientador

Prof. Dr. José Tarcísio Lima

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2007

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Ferreira, Sérgio.

Lenho de tração em *Eucalyptus* spp cultivado em diferentes topografias / Sérgio
Ferreira. -- Lavras: UFLA, 2007.

169 p. : il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2007.

Orientador: José Tarcísio Lima.

Bibliografia.

1. *Eucalyptus*. 2. Lenho de Tração. 3. Topografia. 4. Fibra. 5. Resistência. 6.
Qualidade. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 674.12

SÉRGIO FERREIRA

**LENHO DE TRAÇÃO EM *Eucalyptus* spp CULTIVADO EM
DIFERENTES TOPOGRAFIAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, Área de Concentração A Madeira como Matéria-Prima, para a obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 21 de dezembro de 2007

Prof. Dr. Paulo Fernando Trugilho

UFLA

Prof. Dr. José Reinaldo Moreira da Silva

UFLA

Prof. Dr. José Tarcísio Lima
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

Ao Deus supremo, pela vida, saúde e oportunidade; à Universidade Federal de Lavras, ao Departamento de Ciência e Tecnologia da Madeira e à CENIBRA S.A. (Celulose Nipo – Brasileira S.A.) – Belo Oriente MG, pelo apoio logístico e fornecimento do material; à Rossana, pelo gerenciamento da Madeireira Corrêa Barros Ltda. durante todo o período do doutorado; aos meus pais, ao sr. Roberto e dona Terezinha, pelo incentivo e aos amigos que contribuíram para concretizar mais este sonho na minha vida,

AGRADEÇO

Ao professor José Tarcísio Lima, pela orientação e atenção; aos professores Paulo Fernando Trugilho, José Reinaldo Moreira da Silva, Fábio Akira Mori, Eduardo Alves, Clair Rogério da Cruz e Natalino Calegario, pelo apoio; aos colegas Thiago, Thiza, Kalienny, Edy e Renato; aos funcionários Claret, José Francisco, Carlos, Álvaro Bernardo, Hernane e Gilson, pela ajuda e pelos incentivos que recebi,

OFEREÇO

À minha esposa Rossana e a meus filhos, Bruno e Flávia, dos quais recebi muito amor e compreensão, e de onde tirei forças e incentivos fundamentais para alcançar este objetivo,

DEDICO

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT	ii
CAPÍTULO 1: LENHO DE TRAÇÃO EM <i>Eucalyptus</i>	001
1 Resumo	001
2 Abstract	002
3 Introdução.....	003
4 Referencial teórico.....	005
4.1 Formação da madeira	005
4.2 Lenho de reação.....	010
5 Material e métodos.....	012
6 Referências bibliográficas.....	016
CAPÍTULO 2: EXCENTRICIDADE DA MEDULA EM CAULES DE CLONES DE <i>Eucalyptus</i> CULTIVADOS EM DIFERENTES TOPOGRAFIAS	018
1 Resumo	018
2 Abstract	019
3 Introdução.....	020
4 Referencial teórico.....	020
5 Material e métodos.....	022
6 Resultados e discussão.....	024
7 Conclusões	032
8 Referências bibliográficas	033
CAPÍTULO 3: PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO LENHO DE TRAÇÃO DE CLONES DE <i>Eucalyptus</i> CULTIVADOS EM DIFERENTES TOPOGRAFIAS	035
1 Resumo	035
2 Abstract	036
3 Introdução.....	037
4 Referencial teórico.....	038
5 Material e métodos.....	042

5.1 Propriedades físicas da madeira	043
5.2 Propriedades mecânicas da madeira	044
6 Resultados e discussão.....	044
6.1 Densidade básica	044
6.2 Contração volumétrica	048
6.3 Módulo de elasticidade em flexão estática	052
6.4 Módulo de ruptura	056
7 Conclusões	060
8 Referências bibliográficas	062
CAPÍTULO 4: DIMENSÕES DAS FIBRAS DO LENHO DE TRAÇÃO DE CLONES DE <i>Eucalyptus</i> CULTIVADOS EM DIFERENTES TOPOGRAFIAS	066
1 Resumo	066
2 Abstract	067
3 Introdução.....	068
4 Referencial teórico.....	068
4.1 Comprimento das fibras.....	069
4.2 Espessura da parede das fibras.....	070
4.3 Diâmetro do lume.....	072
5 Material e métodos.....	072
6 Resultados e discussão.....	073
6.1 Comprimento das fibras	073
6.2 Diâmetro do lume	077
6.3 Espessura da parede das fibras.....	081
7 Conclusões	086
8 Referências bibliográficas	088
CAPÍTULO 5: ÂNGULO MICROFIBRILAR DE FIBRAS DO LENHO DE TRAÇÃO DE CLONES DE <i>Eucalyptus</i> CULTIVADOS EM DIFERENTES TOPOGRAFIAS	090
1 Resumo	090
2 Abstract	091
3 Introdução.....	092
4 Referencial teórico.....	093

5 Material e métodos.....	095
6 Resultados e discussão.....	096
7 Conclusões	101
8 Referências bibliográficas	102
CAPÍTULO 6: TEOR DE LIGNINA DO LENHO DE TRAÇÃO DE CLONES DE <i>Eucalyptus</i> CULTIVADOS EM DIFERENTES TOPOGRAFIAS	104
1 Resumo	104
2 Abstract	105
3 Introdução.....	106
4 Referencial teórico.....	107
5 Material e métodos.....	108
6 Resultados e discussão	110
6.1 Teor de lignina insolúvel	110
6.2 Teor de lignina solúvel	112
6.3 Teor de lignina da madeira estimada pela espectrofotometria de infravermelho próximo (NIR).....	116
7 Conclusões	121
8 Referências bibliográficas	123
CAPÍTULO 7: RESISTÊNCIA MECÂNICA DE ÁRVORES DE CLONES DE <i>Eucalyptus</i> CULTIVADAS EM DIFERENTES TOPOGRAFIAS EM RELAÇÃO ÀS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA	125
1 Resumo	125
2 Abstract	126
3 Introdução.....	127
4 Referencial teórico.....	128
5 Material e métodos.....	129
6 Resultados e discussão	133
7 Conclusões	143
8 Referências bibliográficas	144
ANEXOS	146

RESUMO

FERREIRA, Sérgio. **Lenho de tração em *Eucalyptus* spp cultivado em diferentes topografias**, 2007. 169 p. Tese (Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras MG.

Plantações clonais de *Eucalyptus* estabelecidas na região do Vale do Rio Doce (MG) vêm sofrendo a ação de tempestades de verão que causam danos e prejudicam o seu desenvolvimento. Esses danos são mais evidentes quando as plantações atingem dois anos de idade. A topografia da região, onde os eucaliptais são implantados, compreende áreas de baixadas e de encostas. Diferentes níveis de tolerâncias dessas plantações às tempestades evidenciam a formação do lenho de tração. Entretanto, ainda não existem estudos que abordem a relação entre o comportamento dos clones frente às tempestades e a ocorrência de lenho de tração nas árvores. Assim, o objetivo deste trabalho foi investigar se assimetrias nos caules de árvores de clones de *Eucalyptus*, com dois anos de idade, que crescem em diferentes topografias, apresentam características distintas, conduzindo à identificação de lenho de tração. Para isso, foram amostradas quatro árvores de cada um de quatro clones que forneceram amostras para determinar várias características da madeira. Todos os quatro clones eram plantados em áreas de baixada, encosta leve e encosta forte. Para simular o efeito das tempestades foram avaliadas as resistências mecânicas de duas árvores dos clones. Pôde-se concluir que: *i*) a excentricidade da medula indica a existência de lenho de tração em todos os clones e topografias estudadas; *ii*) a densidade básica, a contração volumétrica, o módulo de elasticidade em flexão estática e o ângulo de microfibrilas foram maiores no lenho de tração do que no lenho oposto; *iii*) o comprimento das fibras e o teor de lignina parecem não serem características mais adequadas para diferenciar o lenho de tração do lenho oposto, uma vez que os valores foram muito próximos tanto entre topografias como entre clones; *iv*) várias associações entre módulo na ruptura das árvores e as características da madeira foram identificadas. As mais evidentes foram que a contração volumétrica e o diâmetro do lume se relacionam inversamente com o módulo na ruptura.

Comitê de Orientação: José Tarcísio Lima (Orientador) - UFLA, Paulo Fernando Trugilho - UFLA e José Reinaldo Moreira da Silva - UFLA

TENSION WOOD IN *Eucalyptus* CULTIVATED ON DIFFERENT TOPOGRAPHIES

2 ABSTRACT

Ferreira, Sérgio. **Tension wood in *Eucalyptus* cultivated on different topographies**, 2007. 169 p. Thesis (Doctorate in Wood Science and Technology) Federal University of Lavras, Lavras, MG.

Clonal plantations of *Eucalyptus* established at the region of Rio Doce valley, Minas Gerais State, Brazil, have jeopardized their own development under the action of summer storms. The damages have been more evident when the plantations are two-years-old. The topography of the region, where the *Eucalyptus* clones are cultivated, comprises flat and slopped lands. Different levels of tolerance of these plantations to the storms give support for the occurrence of the tension wood. However, there are not yet available studies which relate the relationship between the behavior of the clones face to the storms and the occurrence of tension wood in the trees. Thus, the objective of this thesis was to investigate if asymmetries in the stems of four-years-old *Eucalyptus* clones, growing on different topographies present special characteristics, conducting to the identification of tension wood. For this, four trees were sampled in each one of four clones, supplying samples to determine several characteristics. All clones were planted in flat, slighty and heavy slopped lands. To simulate the effect of the storms over the trees, the mechanical resistance of two of them were assessed. From the results it can be concluded that: *i*) the eccentricity of the pith indicates the occurrence of tension wood in all the clones and topographies studied; *ii*) the basic density, volumetric shrinkage, modulus of elasticity in static bending, and the microfibril angle were higher in the tension wood than in the opposite wood; *iii*) it seems that the fiber length and the lignin content are not the more adequate characteristics to differentiate tension wood from opposite wood, since the values of these properties in the two tissues were similar, both among topographies and clones; *iv*) several associations between modulus in the rupture of the trees and wood characteristics were identified. The more evident were the volumetric shrinkage and the lumen diameter, which are related inversely with the modulus in the rupture.

Guidance Committee: José Tarcísio Lima (Adviser) - UFLA, Paulo Fernando Trugilho - UFLA and José Reinaldo Moreira da Silva – UFLA.

CAPÍTULO 1

LENHO DE TRAÇÃO EM *Eucalyptus*

1 RESUMO

FERREIRA, Sérgio. **Lenho de tração em *Eucalyptus***. In: _____: Lenho de tração em clones de *Eucalyptus* cultivado em diferentes topografias. 2007. Cap. 1, p. 1–17. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras MG.

Tempestades que causam danos aos *Eucalyptus* plantados na região do Vale do Rio Doce (MG) vêm prejudicando o desenvolvimento de clones, principalmente quando atingem a idade de dois anos. O conhecimento das características dos lenhos dessas árvores é fundamental para a compreensão do comportamento desses materiais genéticos. Características anatômicas, químicas, físicas e mecânicas das madeiras e das árvores de quatro clones plantados nessa região em terreno plano e em encostas serão descritas nos próximos capítulos. O objetivo da realização deste trabalho foi abordar os temas relacionados com a formação do lenho de tração, além de discorrer sobre o material e a metodologia nele empregados.

Comitê de Orientação: José Tarcísio Lima (Orientador) - UFLA, Paulo Fernando Trugilho - UFLA e José Reinaldo Moreira da Silva – UFLA.

TENSION WOOD IN *Eucalyptus*

2 ABSTRACT

Ferreira, Sérgio. **Tension wood in *Eucalyptus***. In: ____: Tension wood in *Eucalyptus* clones cultivated on different topographies. 2007. Chap. 1 p. 1-17. Thesis (Doctorate in Wood Science and Technology) Federal University of Lavras, Lavras, MG

Storms which cause damages to the *Eucalyptus* trees cultivated at the Vale do Rio Doce region, Minas Gerais State, jeopardizes the development of the clones, mainly when they are approximately two-years-old. The knowledge of the wood characteristics of these trees is important for the comprehension of the behavior of these genetic materials. Thus, anatomical, chemical, physical and mechanical characteristics of the wood from four clones cultivated at this region in flat and sloped lands will be related in the next chapters. The objective of this chapter was to discuss about the subjects related to the formation of the tension wood, beyond to describe about the material and the methodology applied in this thesis.

Guidance Committee: José Tarcísio Lima (Adviser) - UFLA, Paulo Fernando Trugilho - UFLA and José Reinaldo Moreira da Silva – UFLA.

3 INTRODUÇÃO

A qualidade das árvores de uma floresta é o resultado da combinação do genótipo com o ambiente adicionado à interação desses dois fatores. Esta combinação culminará com a constituição das árvores em termos das dimensões alcançadas, formas adquiridas, capacidades de sobrevivência e qualidade da madeira produzida. Por sua vez, a madeira possui diferentes tipos de células que se adaptam para desempenhar funções específicas, alterando-se química, física e anatomicamente.

As árvores reagem às forças que atuam no tronco e nos galhos, deslocando-os da posição de equilíbrio. Esforços contínuos, como ventos predominantes, crescimento geotrópico, peso dos galhos, efeito de bordadura, posição descentralizada da copa das árvores e terrenos inclinados são exemplos destas forças.

Forma-se, então, um tipo especial de lenho, denominado lenho de reação que, em folhosas, ocorre no lado superior dos ramos e troncos tortuosos e inclinados, sendo denominado lenho de tração. As fibras deste lenho encontram-se tracionadas, funcionando como “cabos” de sustentação da árvore. O lenho formado no lado inferior, na posição oposta ao lenho de tração, é denominado lenho oposto, que pode apresentar fibras, com efeito de compressão ou características que se aproximam de um lenho normal. O lenho de árvores que não sofrem a atuação contínua destas forças, se apresentando em posição ereta, é denominado lenho normal. Entretanto, é comum, na literatura, a expressão lenho normal ser usada para caracterizar o lenho oposto ao de tração.

A madeira de tração possui um mecanismo que corrige curvaturas e inclinações em troncos mantendo o ângulo do ramo. Em espécies tropicais, pode ocorrer a formação da madeira de tração em árvores eretas, como um artifício da

copa para se movimentar no espaço para obter luz suficiente em florestas densas (Timell, 1986). Foi identificado lenho de tração em madeira de *Acacia* sp., de 30 anos de idade, crescendo verticalmente e sem estímulo aparente para a formação de lenho de tração (Hillis et al., 2004). O lenho de tração se forma como uma resposta a uma força de flexão, como a da gravidade ou de ventos, ou para manter ou corrigir o alinhamento do caule (Boyd, 1977; Kubler, 1988).

Árvores de *Eucalyptus* têm sido severamente danificadas em plantações estabelecidas na região do Vale do Rio Doce, Minas Gerais, causando prejuízos, além de gerar insegurança no momento da escolha do material genético a ser plantado. Plantios realizados em regiões de terrenos inclinados sujeitos à ação de ventos dominantes favorecem a formação do lenho de tração, conforme evidências apresentadas por Melo (2004). Entretanto, esse trabalho não visou à caracterização dos lenhos separadamente. Existem relatos de que a suscetibilidade das árvores às tempestades aumentou quando novos tratamentos culturais que visam aumentar a produtividade dos plantios, como a adubação, passaram a ser aplicados. A influência do desbaste e da fertilização sobre a formação de lenho de tração em *Eucalyptus globulus*, de 13 anos de idade, que apresentavam caules retos e verticais, foi investigada por Washusen et al. (2005). Os resultados demonstraram que o desbaste pode contribuir para a formação do lenho de tração. Entretanto, a produção desse lenho pode ser significativamente reduzida onde um fertilizante é aplicado.

A presença do lenho de tração pode alterar o comportamento da madeira frente a diversos processos industriais, diminuindo seu aproveitamento e sua qualidade. Árvores com lenho de tração apresentam madeiras com características anatômicas, químicas, físicas e mecânicas distintas.

Um dos grandes desafios para os pesquisadores é esclarecer as questões relacionadas à qualidade da madeira. O estudo das características do lenho de tração pode contribuir para estas respostas.

Além deste capítulo introdutório, esta tese tem mais cinco capítulos que tratam da avaliação do lenho de tração e oposto de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias. No Capítulo 2, aborda-se a avaliação da excentricidade da medula dos troncos; no Capítulo 3, tratam-se das propriedades físico-mecânicas da madeira; no Capítulo 4 discorre-se sobre a morfologia das fibras; no Capítulo 5, faz-se uma abordagem sobre o ângulo microfibrilar; no Capítulo 6 aborda-se o teor de lignina e no Capítulo 7, avalia-se o colapso das árvores no campo, quando submetidas a uma força externa.

O objetivo da realização deste trabalho foi avaliar se as assimetrias nos caules de árvores de quatro clones de *Eucalyptus* que crescem em diferentes inclinações de terrenos apresentam características de madeiras distintas, caracterizando-as como próprias de lenho de reação.

Para buscar essa resposta foram:

- avaliadas as excentricidades das medulas dos caules;
- determinadas as características químicas, anatômicas (incluindo o ângulo das microfibrilas), físicas e mecânicas da madeira, tanto no lenho de tração como no lenho oposto, na região central e na região externa do caule;
- determinadas as forças necessárias para causar o colapso das árvores e relacioná-las com as propriedades das madeiras.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Formação da madeira

O crescimento e o desenvolvimento das plantas superiores são determinados pela divisão e multiplicação celular dos meristemas apical e

lateral. O meristema apical está diretamente relacionado com o crescimento do tronco em altura, enquanto o meristema lateral, também denominado câmbio vascular, é responsável pelo aumento de diâmetro do tronco (Cutter, 2002).

4.1.1 Iniciais cambiais

Higuchi (1997) afirma que as iniciais cambiais são compostas de células iniciais fusiformes e iniciais radiais. As fusiformes são longas e finas e dividem-se tanto na direção radial quanto na tangencial. Na divisão radial das células mãe do xilema e do floema, uma das células divididas sempre permanece como inicial fusiforme. A inicial radial é transformada em uma célula mãe do xilema ou do floema. As células mãe do xilema e do floema dividem-se a seguir para originar o xilema para o lado interno e o floema para o lado externo, respectivamente. Segundo Higuchi (1997), na divisão tangencial, as iniciais fusiformes dividem-se longitudinalmente e, em seguida, as células iniciais formadas dividem-se radialmente para originar tecidos de xilema.

Os dois planos de divisão das células cambiais podem ser na direção tangencial ou na radial. A tangencial dá origem a uma fileira de células radiais de xilema e floema, denominada de periclinal. A radial dá origem às células ao longo da circunferência do tronco e é denominada divisão anticlinal (Esau, 1974). Em um diferente tipo de divisão, a célula inicial primeiro divide-se acima e abaixo em uma superfície com o formato ligeiramente na forma de S (divisão pseudotransversal) e as duas células formadas crescem contiguamente em uma direção tangencial, após o quê, ambas as células dividem-se continuamente (divisão lateral) na direção radial como iniciais fusiformes (Higuchi, 1974).

4.1.2 Ampliação do círculo cambial

A ampliação do círculo cambial ocorre principalmente pelo aumento no número de iniciais fusiformes, contudo, as iniciais radiais também aumentam,

acompanhadas pela ampliação do câmbio. O aumento das iniciais radiais ocorre por um processo de divisões tangenciais repetidas de iniciais fusiformes curtas, formadas por divisões pseudolaterais e laterais de iniciais fusiformes. Nesse processo, iniciais fusiformes curtas são rapidamente contraídas para formar iniciais radiais simples. Além disso, iniciais fusiformes curtas são geralmente divididas em superfícies transversais, para originar iniciais radiais (Shimaji, 1976 citado por Higuchi, 1997).

Adicionalmente, a ponta de uma inicial fusiforme longa pode ser dividida para formar iniciais radiais e, por crescimento intensivo de uma inicial fusiforme, um grande grupo de iniciais radiais é dividido em dois grupos de iniciais que crescem por divisão. Recentemente formadas, células constituintes nos grupos e iniciais radiais crescem por divisões laterais repetidas. As iniciais radiais e fusiformes são entrelaçadas e contribuem para a resistência do tecido cambial completo e também dos tecidos vasculares com seus sistemas horizontal e vertical. A taxa relativa entre os dois tipos de iniciais é, portanto, mantida em toda a vida da árvore (Higuchi, 1997).

A produção de novos raios por divisões transversais das iniciais fusiformes e, então, se dividindo e se unindo de raios pré-existentes, surge em resposta aos fluxos complexos radial e tangencial de desenvolvimento, tais como o fluxo de auxina (Catesson, 1994 citado por Higuchi, 1997).

4.1.3 Influência climática na atividade cambial

Em zonas temperadas e mornas temperadas, a atividade cambial tem certa periodicidade. Neste caso, ocorre ativação das divisões celulares e o crescimento ocorre da primavera ao verão. O xilema produzido no início do período vegetativo é chamado lenho inicial. Este período é caracterizado por grande atividade vegetativa, sendo composto de xilema relativamente largo com paredes finas. O xilema produzido no final do período vegetativo é chamado

lenho tardio. Este período caracteriza-se por apresentar atividade vegetativa baixa e as células formadas são relativamente pequenas, com paredes celulares mais espessas que aquelas do lenho inicial. O xilema composto de lenho inicial e lenho tardio em zonas temperadas e zonas morna-temperadas aparece como anéis anuais de crescimento sobre a seção transversal de um caule (Higuchi, 1997).

As variações no comprimento das células com a estação, a idade e a posição sistemática influenciam as propriedades da madeira. Ocasionalmente, falsos anéis anuais são formados em árvores desfolhadas por doença, ataque de insetos ou injúrias mecânicas (Higuchi, 1997).

Madeiras formadas em regiões tropicais, geralmente, não têm anéis anuais, mas, algumas vezes, contêm falsos anéis de crescimento produzidos sob diferentes condições de crescimento em estações úmidas e secas. As folhosas apresentam maior complexidade e variação na formação das camadas de crescimento do que as coníferas (Tomazello et al., 2002). Segundo Worbes (1995), a formação de anéis anuais em madeiras tropicais pode ocorrer quando houver condições variadas durante um ano.

A formação das camadas de crescimento ocorre em função da constituição genética, das fases fenológicas das espécies e das condições ambientais (Tomazello et al., 2002).

4.1.4 Cerne e alburno

Após certo número de anos, a posição central do caule é inativada. Ela torna-se preenchida com materiais resinosos e fenólicos específicos e desenvolve, na maioria das vezes, cor escura (Esau, 1974). Essa parte é chamada cerne e apresenta todas as células mortas. Segundo Higuchi (1997), em algumas espécies de *Picea*, *Abies*, *Tsuga* e *Populus*, a cor do cerne fica semelhante à do alburno, dificultando sua identificação. O xilema mais externo, chamado

alburno, contém células vivas, principalmente do parênquima. O conteúdo de água no alburno é, normalmente, maior que no cerne. O cerne, geralmente, contém uma considerável quantidade de extrativos e, em algumas folhosas, desenvolvem-se tiloses nos vasos.

4.1.5 Controle hormonal da atividade cambial

O termo hormônio é definido como uma combinação orgânica produzida por um tecido em um organismo e transportado a outro tecido, onde induz uma resposta fisiológica específica (Lawrence, 1995).

O início da atividade cambial e a proporção entre células do xilema e floema podem ser afetados, entre outros fatores, pelo controle hormonal (Morey, 1980). De acordo com esse autor, a auxina está principalmente envolvida na diferenciação das derivadas do câmbio, enquanto a giberelina estimula a divisão celular, levando à produção das derivadas do câmbio. As células que constituem a madeira irão se diferenciar conforme a função que irão desempenhar na árvore. Após esta diferenciação, as células serão denominadas elementos anatômicos.

Trabalhando com *Populus tremula* (L) e *Pinus sylvestris* L., na Suécia, Hellgren (2003) analisou o controle do etileno e da auxina na formação da madeira. A autora verificou que, durante formação do lenho de tração, um gene que codifica o ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) oxidase, como também ACC oxidase ativo precursor do etileno, era encontrado em alta concentração no lado do lenho de tração, considerando que níveis altos de ACC acumularam também no lado oposto. Isso conduziu à conclusão de que ACC oxidase regula a taxa de produção de etileno durante a formação de lenho de tração e que o nível de ACC, neste caso, não reflete diretamente a produção de etileno. Também foram feitas medições de ácido indol acético (IAA) precursor da auxina nos tecidos da região cambial do lenho de tração e do lenho normal, onde foram reveladas concentrações semelhantes de IAA. O estímulo de

crescimento associado com formação de lenho de tração ocorre sem mudanças na concentração de IAA, mas, a inibição de crescimento no lado oposto é associada com uma diminuição em IAA.

4.2 Lenho de reação

O lenho que apresenta características anatômicas mais ou menos diferenciadas, que se forma nas partes do caule e de ramos apoiados ou tortuosos e, aparentemente, tendendo a restaurar a posição original, denomina-se lenho de reação. Árvores que se desenvolvem sofrendo esforços externos contínuos, como a incidência de ventos predominantes, inclinação do terreno e proximidade de outras árvores, formam lenho de reação (Prohaska et al., 1998). Isso ocorre, provavelmente, devido a um estímulo assimétrico de hormônios de crescimento, visando compensar o esforço imposto. Vários experimentos demonstraram que a força de gravidade e a auxina desempenham papéis importantes no esclarecimento da formação do lenho de reação e do funcionamento do câmbio vascular (Cutter, 1986).

O lenho de reação está normalmente ausente em caules mantidos na posição ereta, mas forma-se prontamente se o eixo for desviado, mesmo de apenas um ou dois graus, da posição vertical (Morey, 1980).

O lenho de reação nas folhosas é formado no lado superior dos ramos e troncos tortuosos e inclinado, ocorrendo uma contração que puxa a árvore inclinada para a posição ereta e é denominado de lenho de tração (Mattheck & Kubler, 1995). Nas coníferas, ele se desenvolve no lado inferior dos ramos e troncos tortuosos e inclinados, sendo denominado lenho de compressão.

As características anatômicas, químicas e físicas do lenho de tração e do lenho de compressão são diferentes das do lenho oposto (lado oposto da mesma seção transversal) e do lenho normal (Plomion et al., 2003).

A madeira sofre alterações no comportamento com a presença do lenho de tração. O lenho de tração representa um problema para indústrias de celulose, por apresentar alterações na qualidade da polpa. O lenho de tração apresenta maiores rendimentos de polpa química do que no lenho normal e pode ser desfibrado com maior facilidade. A desvantagem é que o papel produzido com fibras de lenho de tração apresenta resistência menor do que as fibras de madeira normal (Panshin & De Zeeuw, 1980).

Para madeira sólida, ocorre aumento da contração longitudinal, radial e tangencial, durante o processo de secagem (Boyd, 1977). A contração excessiva do lenho de tração está associada ao colapso na maioria das espécies de madeira (Panshin & De Zeeuw, 1980).

Os troncos inclinados quase sempre apresentam medulas excêntricas, com o raio maior na parte superior da inclinação do que na parte inferior (Kollmann & Cote, 1968).

Higuchi (1997) afirma que o lenho de tração em *Eucalyptus* apresenta uma coloração mais escura que o lenho oposto. O lenho de tração pode ser reconhecido anatomicamente também pela presença de fibras especiais, conhecidas como fibras gelatinosas, que contêm um espessamento anormal da parede interna da célula (Mattheck & Kubler, 1995). As paredes dessas fibras podem ter duas ou três camadas e a gelatinosa é sempre a mais interna (Esau, 1974). Na maioria das vezes, a ocorrência de um grande número de fibras gelatinosas concentradas em uma área da seção transversal da madeira constitui clara evidência da presença do lenho de tração.

O teor de lignina na parede celular de fibras de madeiras de tração geralmente é menor ou ausente nas camadas da parede secundária e ausente na camada gelatinosa. Essa deficiência geral de lignina nas paredes secundárias das fibras é uma das características principais do desenvolvimento de madeira de tração nas folhosas (Panshin & De Zeeuw, 1980).

A forma do caule pode também ser um indicativo da ocorrência de lenho de tração. Washusen (2000) relatou que o índice de contração da madeira foi significativamente correlacionado com o fator de forma do caule de *Eucalyptus globulus* que ocorre entre a base e 5% e 10% da altura da árvore, indicando um maior grau de espessamento basal nas árvores com lenho de tração abundante. Neste caso, o fator de forma da árvore foi definido como a relação entre o volume do caule e o volume de um cilindro com o mesmo diâmetro da base e altura da árvore.

5 MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho, foram utilizados os clones 57, 129, 386 e 1274 de *Eucalyptus*, com dois anos de idade, de propriedade da Cenibra S.A., provenientes da região de Belo Oriente, no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. Esta região apresenta locais de baixada, encosta leve e encosta forte, altitude de 230 a 500 m, latitude de 19°17' e longitude de 42°23'. O tipo de clima, segundo a classificação de Köppen, é Aw, Tropical Chuvoso de Savana, com precipitação média anual de 1.240 mm, temperatura média de 24,7°C e com umidade relativa média anual de 70,1%.

Os clones 57 e 1274 são híbridos de *E. grandis* × *E. urophylla* da Florestas Rio Doce; o clone 386 também é um híbrido *E. grandis* × *E. urophylla* mas de origem da Florestal Acesita e o clone 129 é *Eucalyptus grandis* proveniente da Cenibra.

As baixadas são áreas de solos aluviais com alta fertilidade natural, que ocorrem ao longo dos cursos d'água e também áreas de fundos de vales que são solos de origem colúvio-aluvial. Estes locais, geralmente, apresentam uma

declividade menor que 4%. Nas áreas de encosta, os solos predominantes são Latossolos ou Cambissolos com baixa fertilidade e possuem declividade entre 10% e 30% na encosta leve e maior que 30% na encosta forte.

A distribuição mensal de ventos na região estudada baseia-se em dados registrados na estação meteorológica da fábrica de celulose da Cenibra, em Belo Oriente, compreendendo o período entre janeiro de 2000 (01/2000) e abril de 2007 (04/2007). A origem predominante da direção dos ventos é norte-nordeste (NNE), com ventos entre 0,5 a 1,5 m/s, seguida da direção noroeste (NO), com ventos abaixo de 0,5 m/s. A origem dos ventos mais fortes é da direção sul-sudoeste (SSO), atingindo velocidades entre 2,5 a 5,5 m/s, representando 0,9% das ocorrências de ventos registradas.

Foram amostradas quatro árvores por clone, plantadas nos três tipos de topografia (baixada, encosta leve e encosta forte). As árvores foram selecionadas entre as eretas, sadias, sem bifurcação, fora da bordadura e que possuíam DAP igual ou próximo à média de 20 árvores do talhão. Nas árvores selecionadas, foram anotados o número seqüencial que representava as árvores amostradas, as posições cardeais (N, S, L e O) do tronco e a direção da declividade (seta) do terreno, quando em encosta. Nas árvores de encosta foram marcados os dois pontos de direcionamento da declividade, como mostrado na Figura 1.1. Nas árvores de baixada, ficou convencionado que a marca seria nas faces norte e sul. Estas anotações foram feitas no tronco ao nível do DAP.



FIGURA 1.1 Marcações na árvore

Antes da derrubada da árvore, mediu-se o diâmetro com casca e sem casca, utilizando-se uma suta. Depois de derrubada, foi medida, com uma trena, a altura total da árvore e retirou-se um torete com 2,20 metros de comprimento, medidos a partir de 1,10 metro da base da árvore, conforme destacado na Figura 1.2. Esses toretes foram transportados para a Universidade Federal de Lavras, no Departamento de Ciências Florestais, onde foram retirados os corpos-de-prova e demais amostras para análises das propriedades das madeiras.



FIGURA 1.2 Retirada de toretes

Além das quatro árvores, outras duas foram selecionadas e quebradas pelo procedimento descrito no Capítulo 7, analisando-se a força necessária para atingir a deformação permanente e calculando-se, também, o momento na ruptura.

A análise estatística foi feita pelo software Sisvar, utilizando-se o modelo estatístico de delineamento em blocos ao acaso, em que a topografia representa o efeito de bloco. Este critério foi utilizado para a análise estatística das características estudadas nos capítulos que se seguem. Como nos capítulos que tratam da excentricidade da medula dos caules (Capítulo 2) e da resistência mecânica das árvores (Capítulo 7), não ocorrem amostragens dentro do caule, a topografia não foi fixada como bloco.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOYD, J. D. Relationship between fibre morphology and shrinkage of wood. **Wood Science and Technology**, New York, v. 11, n. 1, p. 3-22, 1977.
- CUTTER, E. G. **Anatomia vegetal**: Parte I – Células e tecidos. 2.ed. Tradução de Gabriella Vera Maria Caruso Catena. São Paulo: Roca, 1986. 304 p.
- CUTTER, E. G. **Anatomia vegetal**: Parte II – Órgãos. 2.ed. Tradução de Gabriella Vera Maria Caruso Catena. São Paulo: Roca, 2002. 336 p.
- ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes**. Tradução de Berta Lange de Morretes. São Paulo: E. Blücher, 1974. 293 p.
- HELLGREN, J. M. **Ethylene and Auxin en the control of wood formation**. 2003. 40 p. Thesis. (Doctoral) - Swedish University of Agricultural Sciences, Umea, Sweden.
- HIGUCHI, T. **Biochemistry and molecular biology of wood**. New York: Springer – Verlag, 1997. 362 p.
- HILLIS, W. E.; EVANS, R.; WASHUSEN, R. Na unusual formation of tension wood in a natural forest *Acacia* sp. **Holzforschung**, v. 58, p. 241-245, 2004.
- KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ, W. A. **Principles of wood science and technology**. New York: Springer-Verlag, 1968. v. 1. 592 p.
- KUBLER, H. Silviculture control of mechanical stresses in trees. **Canadian Journal of Forestry Research**, Ottawa, v. 18, n. 10, p. 1215-1225, Oct. 1988.
- LAWRENCE, E. **Henderson's dictionary of biological terms**. 11thed. Essex, England: Longman Scientific & Technical, 1995.
- MATTHECK, C.; KUBLER, H. **Wood – the internal optimization of trees**. Berlin: Springer, 1995. 129 p.
- MELO, V.M. **Variações nas propriedades da Madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades**. 2004. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, MG.

MOREY, P. R. **O crescimento das árvores.** Tradução de Maria de Fátima Domingos A. Pereira. São Paulo: EPU/USP, 1980. 72 p. (Temas de Biologia, 19).

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

PLOMION, C.; PIONNEAU, C.; BAILLÈRES, H. Analysis of protein expression along the normal to tension wood gradient in *Eucalyptus dunnii*. **Holzforschung**. Berlin, v. 57, n. 4, p. 353-358, 2003.

PROHASKA, T.; STADLBAUER, C.; WIMMER, R.; STINGEDER, G.; LATKOCZY, Ch.; HOFFMANN, E.; STEPHANOWITZ, H. Investigation of element variability in tree rings of young Norway spruce by laser-ablation-ICPMS. **The Science of the Total Environment**, v. 219, p. 29-39, 1998.

TIMELL, T. E. **Compression wood in gymnosperms.** New York: Springer Verlag, 1986. v.1, 706.

TOMAZELLO, F. M.; BOTOSSO, P. C.; LISI, S. C. Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia. **Indicadores Ambientais**, São Paulo, EDUC p. 117-143, 2002.

WASHUSEN, R. Tension wood occurrence in *Eucalyptus globulus* Labill. II. The spatial distribution of tension wood and its association with stem form. **Australian Forestry**, v. 65, n. 2, p. 127-134, 2000.

WASHUSEN, R.; BAKER, T.; MENZ, D.; MORROW, A. Effect of thinning and fertilizer on the cellulose crystallite width of *Eucalyptus globulus*. **Wood Science and Technology**, v. 39, p. 569-578, 2005.

WORBES, M. How to measure growth dynamics in tropical trees: a review. **IAWA Journal**, n. 16, p. 337-351, 1995.

CAPÍTULO 2

EXCENTRICIDADE DA MEDULA EM CAULES DE CLONES DE *Eucalyptus* CULTIVADOS EM DIFERENTES TOPOGRAFIAS

1 RESUMO

FERREIRA, Sérgio. **Excentricidade da medula em caules de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias.** In: _____: Lenho de tração em *Eucalyptus* cultivado em diferentes topografias. 2007. Cap. 2, p. 18–34. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Realizou-se este trabalho com o objetivo de avaliar a excentricidade da medula de caules de árvores de quatro clones de *Eucalyptus*, com dois anos de idade, cultivados em baixada, encosta leve e encosta forte. De cada caule foi retirado um disco de 5 cm de espessura a 1,10 metro de altura do solo. Com um gabarito colocado sobre o disco de madeira, localizou-se o centro geométrico e sua distância até a medula (excentricidade). A excentricidade da medula foi determinada pela relação entre a distância do centro geométrico à medula e o diâmetro médio do disco. Os resultados mostraram que: *i*) a excentricidade da medula ocorreu em todos os clones, variando de 2,53% a 4,55%; *ii*) árvores eretas plantadas em baixada, encosta leve e encosta forte apresentaram medula excêntrica; *iii*) para as árvores plantadas em encosta, houve uma tendência de as medulas se posicionarem no lado do disco oposto ao da declividade do terreno e *iv*) a ocorrência de medulas excêntricas nos caules de todos os clones e topografias estudadas evidencia a formação de lenho de tração.

Comitê de Orientação: José Tarcísio Lima (Orientador) - UFLA, Paulo Fernando Trugilho - UFLA e José Reinaldo Moreira da Silva - UFLA

**PITH ECCENTRICITY IN *Eucalyptus* CLONES STEMS CULTIVATED
ON DIFFERENT TOPOGRAPHIES**

2 ABSTRACT

Ferreira, Sérgio. **Pith eccentricity in *Eucalyptus* clones stems cultivated on different topographies.** In: ____: Tension wood in *Eucalyptus* cultivated on different topographies. 2007. Chap. 2 p. 18-34. Thesis (Doctorate in Wood Science and Technology) Federal University of Lavras, Lavras, MG

The objective of this chapter was to evaluate the pith eccentricity in stems of four two-years-old *Eucalyptus* clones, cultivated on flat land, slight and heavy sloped terrains. From each stem, a 5 cm disc was cut at 1.10 m of height over the soil. With a transparent plastic standard placed on the wood disc, it was marked its geometrical centre and, consequently, the distance from the pith (D). The eccentricity of the pith was determined by the relationship between D and the average diameter of the disc. The results showed that: *i*) the eccentricity of the pith occurred in all clones, changing from 2.53% to 4.55%; *ii*) upright trees, planted on flat land, slight and heavy sloped terrains presented eccentric pith; *iii*) for the trees planted on sloped terrains it was observed a tendency of the piths to be positioned at the side of the discs opposite to the slope of the terrain; *iv*) the occurrence of the eccentric piths into the stems of all clones and topographies studied was an evidence of the tension wood formation.

Guidance Committee: José Tarcísio Lima (Adviser) - UFLA, Paulo Fernando Trugilho - UFLA and José Reinaldo Moreira da Silva – UFLA.

3 INTRODUÇÃO

A medula é um tecido primário em forma de um cilindro parenquimático central, macio, encontrado nos caules, nos ramos e nas raízes das árvores. Sua função é armazenar substâncias nutritivas e, nas plantas jovens, a medula participa também da condução ascendente de líquidos.

Em folhosas, como os *Eucalyptus*, o deslocamento da medula de sua posição central evidencia a ocorrência de lenho de tração. Espera-se que árvores que crescem em terrenos planos produzam caules simétricos com medulas mais centralizadas que aquelas que crescem em terrenos inclinados. Entretanto, mesmo árvores que crescem em terrenos planos podem produzir medulas excêntricas, tendo sua formação estimulada pelo encurvamento do caule, causado pela ação de ventos climatológicos predominantes. Washusen et al. (2002) descrevem a ocorrência de lenho de tração em árvores eretas de *Eucalyptus globulus*. Ferreira et al. (2006) identificaram medulas excêntricas em caules de clones *Eucalyptus*, com sete anos de idade, plantados tanto em terrenos inclinados como em terrenos planos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a ocorrência de excentricidade da medula das árvores de quatro clones de *Eucalyptus*, cultivados em diferentes inclinações do terreno, como uma evidência da formação do lenho de tração.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

A excentricidade da medula é o deslocamento sofrido pela medula do centro geométrico da tora. Ela pode ser avaliada pela distância de sua posição ao centro geométrico em relação ao diâmetro médio da tora.

Segundo Costa (2001), a medula excêntrica produz uma forma elíptica no caule, resultando em tábuas de estrutura desuniforme, podendo causar resultados inesperados no processo industrial.

A ocorrência de medula excêntrica está intimamente relacionada com a formação de lenho de reação nas árvores (Kollmann & Côté Jr., 1968). Troncos com medula excêntrica são mais propensos ao empenamento e à formação de fendas circulares entre os anéis de crescimento, além de serem problemáticos para o processamento mecânico porque exigem posicionamento adequado das toras na serra (Grosser, 1980). O achatamento do caule está associado com a formação de medula excêntrica.

Uma das evidências da formação de lenho de compressão nas coníferas e lenho de tração nas folhosas é a presença de excentricidade da medula, devido ao alargamento dos anéis de crescimento na zona comprimida das coníferas ou tracionadas das folhosas. Ocorre, então, um estímulo ao crescimento radial, resultando em acréscimo nas frequências das divisões anticlinais e periclinais das iniciais fusiformes. Devido a essa aceleração do crescimento, o lenho de tração apresenta fibras ou traqueídeos mais curtos que os do lenho normal (Panshin & De Zeeuw, 1980; Wardrop, 1965).

Ferreira et al. (2006), trabalhando com dois clones de *Eucalyptus* com idade de sete anos, notaram que houve desvio da medula tanto nas árvores plantadas em baixada como nas de encosta, nos dois clones estudados. As árvores plantadas na encosta apresentaram desvio maior que as da baixada.

Trabalhando com *Eucalyptus grandis*, com 21 anos de idade, Lima et al. (2007) avaliaram o deslocamento da medula e concluíram que ele não foi influenciado pelo desbaste e ou pela adubação e não variou segundo a classe de diâmetro e a posição da tora na altura da árvore.

5 MATERIAL E MÉTODOS

Para a medição da excentricidade da medula foi utilizado um disco com 5 cm de espessura, retirado da base dos toretes provenientes das árvores selecionadas, conforme descrito no Capítulo 1.

Uma das superfícies do disco foi lixada para evidenciar a posição da medula e os anéis de crescimento. Marcaram-se também os pontos cardeais em volta do disco e, com uma seta, a direção da declividade do terreno.

Para a marcação do centro geométrico dos discos, foi utilizado um gabarito, com círculos concêntricos desenhados sobre uma transparência. Colocada e centralizada essa transparência sobre a superfície do disco, conforme a Figura 2.1, o centro geométrico era marcado.

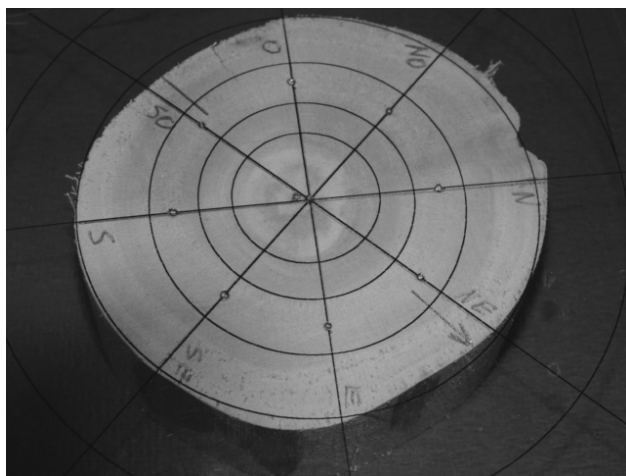


FIGURA 2.1 Gabarito com círculos concêntricos para a determinação do centro geométrico no disco de madeira.

Em seguida, utilizando-se um paquímetro, foi medido o raio em cada ponto cardinal, para a confecção da representação dos discos amostrados (Figura

2.2). Mediram-se também a distância entre a medula e o centro geométrico, conforme a Figura 2.2, e a circunferência do disco, utilizando-se uma fita métrica.

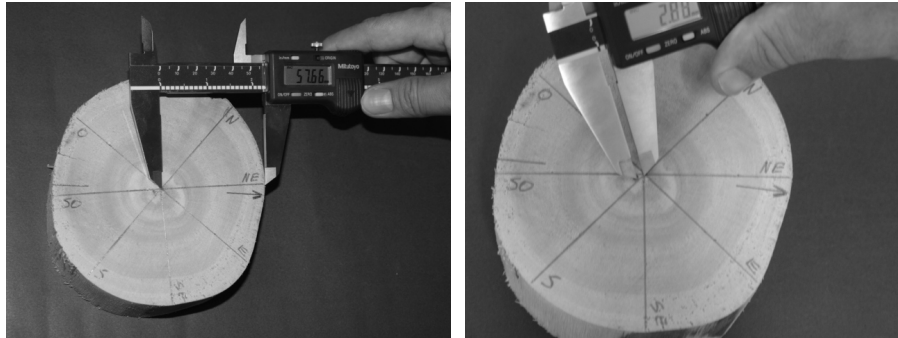


FIGURA 2.2 Medições do raio e da distância da medula ao centro geométrico.

A excentricidade da medula foi avaliada conforme a Equação 1:

$$EM = \frac{Lc}{dm} * 100 \quad (1)$$

Em que:

EM = excentricidade da medula,

Lc = distância entre o centro geométrico e a posição real da medula (mm) e

dm = diâmetro médio do disco (mm).

Após a coleta de dados, foi feita a análise estatística, conforme descrito no Capítulo 1.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da análise de variância entre os clones e as topografias para excentricidade da medula dos discos de madeira está apresentado na Tabela 2.1.

TABELA 2.1 Resumo dos resultados da análise de variância da excentricidade da medula (EM) entre clones (C) de *Eucalyptus* e topografias (T) [(g.l. topografia = 2; g.l. clone = 3; g.l. topografia × clone = 6; g.l. erro = 36)].

Característica	Fontes de variação		
	Topografia	Clone	T × C
EM	ns	*	**

** - significância a 1%; * - significância a 5%; ns – não significativo.

Observa-se que as excentricidades das medulas das árvores plantadas nos três tipos de inclinação do terreno não diferem entre si. Entretanto, observa-se efeito significativo de clone e da interação clone × topografia sobre a excentricidade (Tabela 2.1).

Como o resultado da análise da interação topografia × clone apresentado na Tabela 2.1 foi significativo, optou-se por avaliar o efeito de topografia dentro de clone (Tabela 2.2).

Na Tabela 2.2 e na Figura 2.1 B, verifica-se a excentricidade da medula dos quatro clones de *Eucalyptus* plantados em baixada, encosta leve e encosta forte.

A média geral da excentricidade da medula entre os clones e topografias foi de 3,71%, tendo a maior média sido observada no clone 1274 e a menor, no clone 57 (Tabela 2.2). Esses valores podem ser considerados baixos, de acordo com a classificação de Zenid (1990), em que uma tora com até 5% de excentricidade da medula é considerada como sendo de classe superior.

TABELA 2.2 Comparação múltipla das médias da excentricidade da medula (%) de quatro clones de *Eucalyptus* para topografia dentro de clone [(g.l. topografia/clone = 1; erro = 36)] cultivados em diferentes inclinações de terreno.

Clones	Inclinação do terreno						
	Baixada		Encosta leve		Encosta forte		Média
57	3,94	b	1,19	a	2,47	a b	2,53
129	6,65	b	3,19	a	2,65	a	4,16
386	2,64	a	6,01	b	2,08	a	3,58
1274	4,75	a b	2,37	a	6,53	b	4,55
Média	4,50		3,19		3,43		3,71
Cv	32,4		55,7		52,4		20,5

Em que: g.l. = graus de liberdade; cv = coeficiente de variação (%).

No clone 57, as médias diferiram estatisticamente entre as topografias, uma vez que, na linha do clone 57, as médias são acompanhadas por letras diferentes (Tabela 2.2). Neste clone, a maior média da excentricidade foi obtida para as árvores de baixada e a menor para aquelas de encosta leve, com 1,19%. No clone 129, as médias da excentricidade das árvores de baixada diferiram daquelas das outras topografias, que foram iguais entre si. Neste clone, a maior média foi obtida na baixada, com 6,65%, enquanto as médias das encostas não diferiram entre si. No clone 386, as médias de excentricidade da medula diferiram estatisticamente entre as topografias. A maior média foi obtida na encosta leve, diferindo-a estatisticamente daquelas observadas para árvores plantadas na baixada e na encosta forte. Para estas duas topografias, as médias foram consideradas iguais estatisticamente. No clone 1274, a excentricidade também diferiu estatisticamente. A maior média foi obtida na encosta forte, com 6,53% e a menor na encosta leve com 2,37%.

Comparando-se os clones plantados em uma mesma topografia, não foi observado um comportamento comum aos diferentes tipos de terreno por um mesmo clone. Na baixada, o clone 386 apresentou a menor excentricidade e o clone 129, a maior. Na encosta leve, o clone 57 apresentou a menor excentricidade, enquanto o clone 386 apresentou a maior. Na encosta forte, o clone 1274 apresentou a maior média, destacando-se dos demais.

Ferreira et al. (2006), trabalhando com os clones 57 e 129, mas com idade de sete anos, notaram que o desvio da medula no clone 57 foi de 4,0% na baixada e 5,0% na encosta e, no clone 129, foi de 6,7% na baixada e 7,1% na encosta. Neste caso, o clone 129 também apresentou excentricidade da medula maior que o clone 57. Ferreira et al. (2004), estudando dez clones com idades de 7 a 10 anos, encontraram excentricidade média da medula de 5,58%.

A posição da medula em relação ao centro geométrico e ao sentido da declividade do terreno, identificado por uma seta, pode ser vista nas Figuras 2.3 a 2.5. Na baixada, as setas estão ausentes, pois o terreno é considerado plano.

Na Figura 2.3, para o clone 57, observa-se que, nas árvores de baixada, não houve um posicionamento da medula comum às quatro árvores. Nas árvores de encosta leve, as medulas foram posicionadas próximo ao centro geométrico, talvez devido ao pequeno deslocamento observado (1,19%). Para as árvores plantadas em encosta forte, observa-se ligeira tendência de a medula se posicionar à esquerda da linha norte-sul. Mesmo neste caso, o deslocamento da medula do centro geométrico da tora foi pequeno (2,47%). Assim, parece não haver influência direta dos ventos dominantes (noroeste e norte-nordeste) no posicionamento da medula. Na encosta leve, parece que o efeito da declividade não foi decisivo para definir o posicionamento da medula, uma vez que era esperado que a mesma estivesse no lado do caule voltado para o lado de baixo do terreno, o que não ocorreu.

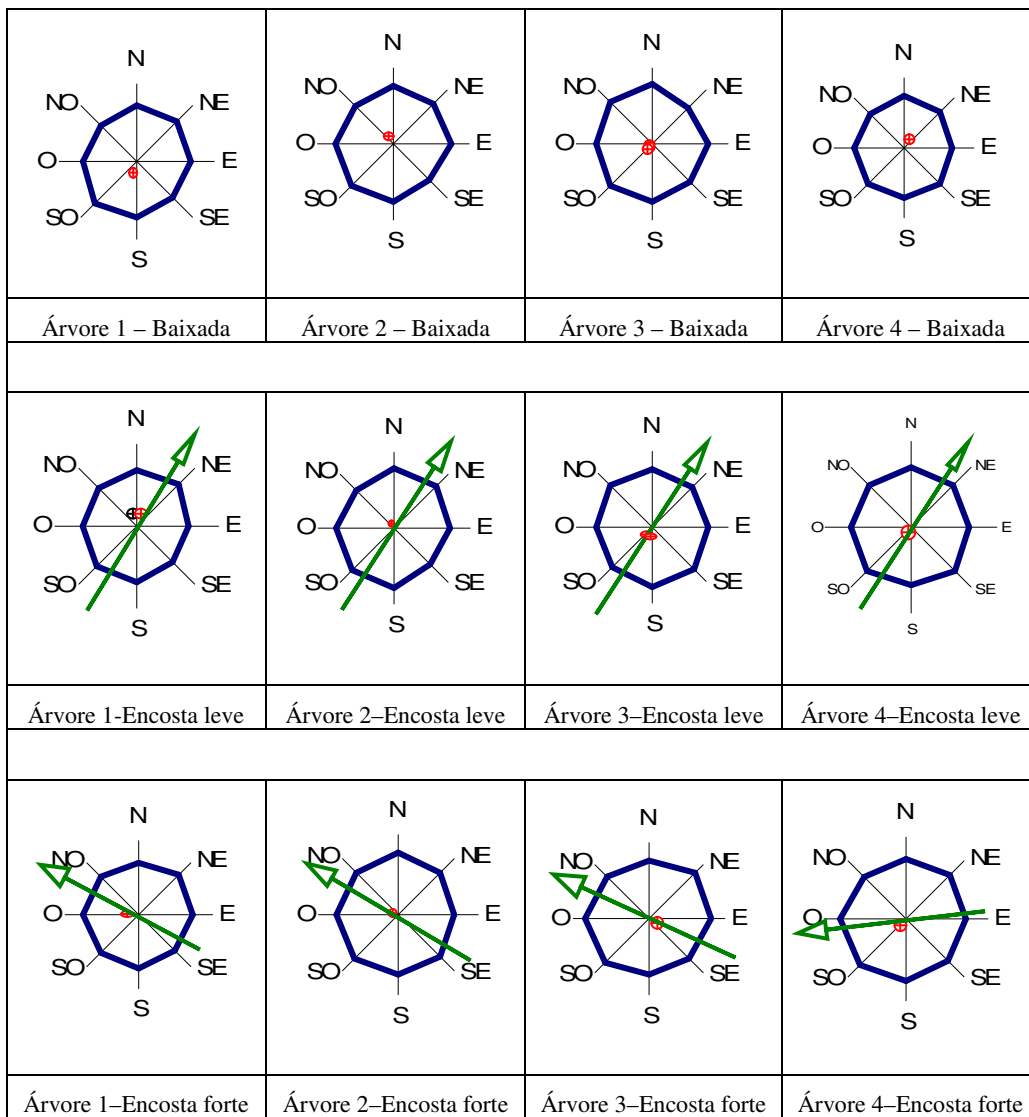


FIGURA 2.3 Representação dos discos amostrados a 1,30 m de altura dos caules das árvores do clone 57, mostrando a posição da medula e o sentido da declividade do terreno.

Para o clone 129, na Figura 2.4 observa-se que a excentricidade da medula variou em todos os tipos de inclinação de terreno. Na baixada, as medulas de três árvores estão posicionadas à direita da linha norte-sul. Na

encosta leve e na encosta forte, não foi observada tendência quanto ao posicionamento geográfico das medulas. Da mesma forma que para o clone 57, parece não haver influência direta dos ventos dominantes no posicionamento da medula. Também para o clone 129, não se observou tendência no posicionamento da medula em função da declividade do terreno, conforme relatado na literatura.

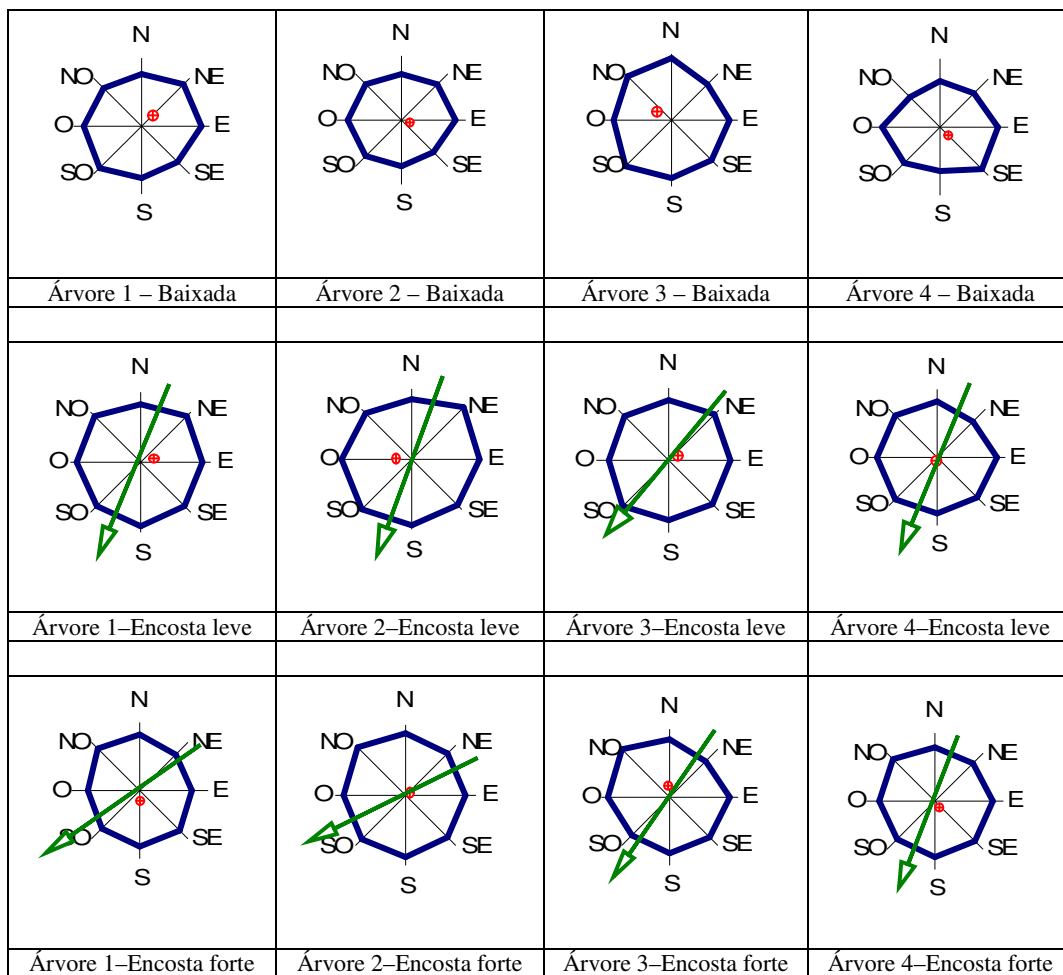


FIGURA 2.4 Representação dos discos amostrados a 1,30 m de altura dos caules das árvores do clone 129, mostrando a posição da medula e o sentido da declividade do terreno.

Para o clone 386 (Figura 2.5), em baixada e em encosta leve, pode-se notar que a excentricidade da medula apresentou tendência de se posicionar à esquerda da linha norte-sul; na baixada, a oeste e, na encosta leve, a noroeste.

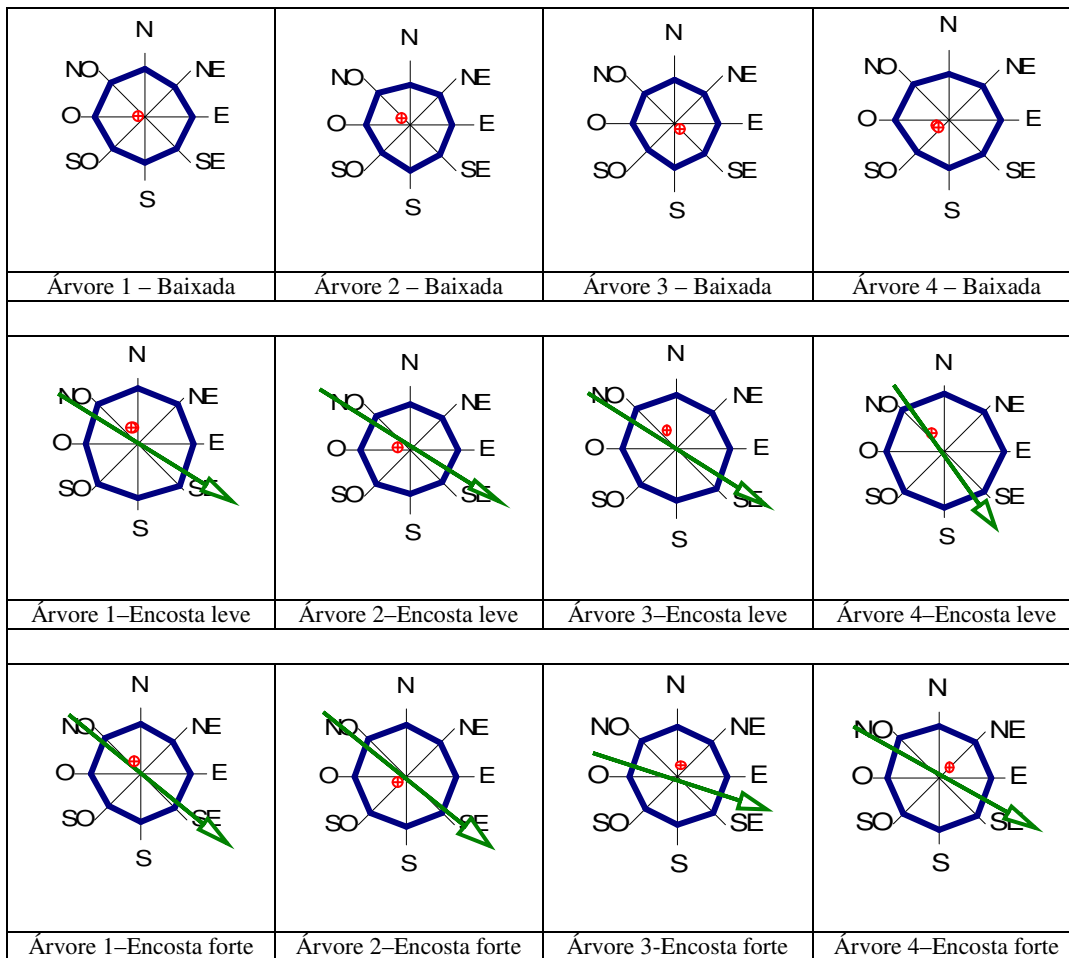


FIGURA 2.5 Representação dos discos amostrados a 1,30 m de altura dos caules das árvores do clone 386, mostrando a posição da medula e o sentido da declividade do terreno.

Para as árvores da encosta forte, foi observada tendência de a medula se posicionar no hemisfério norte do disco. Assim, da mesma forma que nos clones 57 e 129, para o clone 386 não houve influência dos ventos dominantes no

posicionamento da medula. Quanto à inclinação do terreno, observa-se que, para as árvores plantadas em encosta leve, as medulas das quatro árvores se deslocaram em sentido contrário à declividade, o que é diferente do esperado. Já em encosta forte não foi observada tendência de posicionamento da medula quanto à declividade do terreno.

Para o clone 1274 (Figura 2.6), a excentricidade das medulas das árvores plantadas em baixada, encosta leve e encosta forte tende para oeste dos discos.

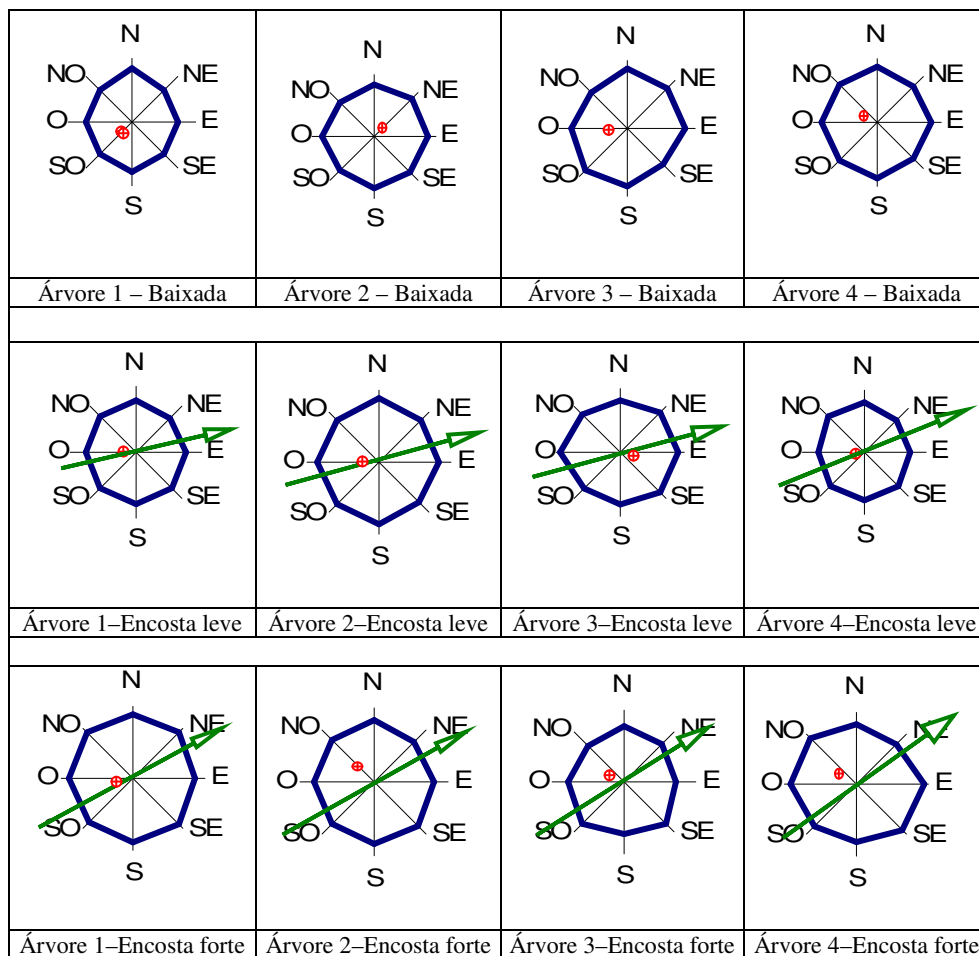


FIGURA 2.6 Representação dos discos amostrados a 1,30 m de altura dos caules das árvores do clone 1274, mostrando a posição relativa da medula e o sentido da declividade do terreno.

Assim, parece não haver influência direta dos ventos dominantes (noroeste e norte-nordeste) no posicionamento da medula. Da mesma forma que já observado para outros clones, o posicionamento das medulas quanto à declividade do terreno em encosta leve e, em menor intensidade, em encosta forte, tende a ocorrer na face contrária à declividade do terreno.

É possível que fatores não controlados neste trabalho, como a direção dos ventos ou o fototropismo, em âmbito local, tenham desempenhado papel mais importante para a inclinação das árvores e o conseqüente deslocamento da medula do que a inclinação do terreno. A pequena idade das árvores também pode ter limitado uma maior definição da posição da medula. A origem predominante dos ventos na região, entre noroeste e norte-nordeste, parece não ter influenciado diretamente no posicionamento da medula e, conseqüentemente, na formação de lenho de tração.

Diante dessas observações, pode-se salientar que a excentricidade da medula das árvores dos quatro clones estudados foi de pequena magnitude, ocorrendo tanto em árvores de baixada como em árvores de encosta e seu posicionamento foi relativamente independente da declividade do terreno e da posição geográfica. Vale também destacar que, apesar de não ter sido avaliada a inclinação das árvores, visualmente elas se mostravam eretas, tanto nas encostas como na baixada. Nos três locais foram observadas excentricidades da medula, o que indica que os clones de *Eucalyptus* usados neste trabalho se comportam como o *Eucalyptus globulus* estudado por Washusen (2000), formando lenho de tração. Para melhor elucidação sobre o deslocamento da medula, é aconselhável o desenvolvimento de estudos que envolvam maior controle ambiental sobre o crescimento das árvores, tanto em laboratório como no campo.

7 CONCLUSÕES

Analisando-se os resultados obtidos, para árvores dos clones 57, 129, 386 e 1274, de *Eucalyptus* com dois anos de idade, pôde-se concluir que:

- a excentricidade da medula ocorreu em todos os clones, variando de 2,53% a 4,55%;
- árvores eretas plantadas em baixada, encosta leve e encosta forte apresentaram medula excêntrica;
- as medulas das árvores plantadas nos três tipos de topografia apresentaram tendência de não se deslocar para o lado que está voltado para a região de origem dos ventos predominantes;
- para as árvores plantadas em encosta, houve tendência de as medulas se posicionarem no lado do disco oposto ao da declividade do terreno;
- a ocorrência de medulas excêntricas nos caules de todos os clones e topografias estudadas evidencia a formação de lenho de tração.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COSTA, A. **Anatomia da madeira**. Joinville, SC: Universidade do Estado de Santa Catarina, 2001. 42 p.

FERREIRA, S.; LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. S.; TRUGILHO, P. F. Influência de métodos de desdobro tangenciais no rendimento e na qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. **Revista Cerne**, Lavras, MG, v. 10, n. 1, p. 10-21, jan./jun. 2004.

FERREIRA, S.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M.; LEITE, F. P.; ALTOÉ, T. F. Comparação entre o lenho de tração e lenho oposto em *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006, São Pedro. **Anais...** São Pedro, SP: IBRAMEM, 2006. 278 p.

GROSSER, D. **Defeitos de madeira**. Curitiba: Fupef, 1980. 62 p.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ, W. A. **Principles of wood science and technology**. New York: Springer-Verlag, 1968. v. 1, 592 p.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N.; STAPE, J. L. Influência do desbaste e da fertilização no deslocamento da medula e rachaduras de extremidade de tora de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 170-177, abr./jun. 2007.

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

WARDROP, A. B. Cellular differentiation in xylem. In: CÔTÉ, W. A. (Ed.). **Cellular ultrastructure of woody plants**. Syracuse, New York: Syracuse University, 1965. p. 61-97.

WASHUSEN, R. Tension wood occurrence in *Eucalyptus globulus* Labill. II. The spatial distribution of tension wood and its association with stem form. **Australian Forestry**, v. 65, n. 2, p. 127-134, 2000.

WASHUSEN, R.; ADES, P.; VINDEN, P. Tension wood occurrence in *Eucalyptus globulus* Labill. In. The spatial distribution of tension wood in one 11 – year – old tree. **Australian Forestry**, v. 65, n. 2, p. 120-126, 2002.

ZENID, G. J. **Noções de classificação de toras e de madeiras serradas**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1990. 62 p.

CAPÍTULO 3

PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO LENHO DE TRAÇÃO DE CLONES DE *Eucalyptus* CULTIVADOS EM DIFERENTES TOPOGRAFIAS

1 RESUMO

FERREIRA, Sérgio. **Propriedades físicas e mecânicas do lenho de tração de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias.** In: _____: Lenho de tração em *Eucalyptus* cultivado em diferentes topografias. 2007. Cap. 3, p. 35-65. Tese (Doutorado em Ciência e tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

O conhecimento da densidade, da retratibilidade e das propriedades mecânicas da madeira é essencial para identificar as causas das alterações ocorridas na madeira. Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a densidade básica, a contração volumétrica, o módulo de elasticidade em flexão estática e o módulo de ruptura das madeiras de quatro clones de *Eucalyptus*, com dois anos de idade, comparando o lenho de tração com o lenho oposto em diferentes inclinações do terreno. Dos toretes das árvores foram confeccionados corpos-de-prova retirados em duas posições radiais, tanto no lenho de tração como no lenho oposto. Os resultados mostraram que: *i*) a densidade básica do lenho de tração foi maior que a do lenho oposto na baixada, mas, nas encostas, não diferiram entre si; *ii*) na maioria dos clones, a densidade básica foi maior em madeiras coletadas na encosta e na posição externa do caule; *iii*) houve tendência de a contração volumétrica do lenho tração ser maior do que a do lenho oposto e *iv*) o módulo de elasticidade em flexão estática e o módulo de ruptura do lenho de tração foram maiores que do lenho oposto.

Comitê de Orientação: José Tarcísio Lima (Orientador) - UFLA, Paulo Fernando Trugilho - UFLA e José Reinaldo Moreira da Silva - UFLA

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE TENSION WOOD OF *Eucalyptus* CLONES CULTIVATED ON DIFFERENT TOPOGRAPHIES

2 ABSTRACT

Ferreira, Sérgio. **Physical and mechanical properties of the tension wood of *Eucalyptus* clones cultivated on different topographies.** In: ____: Tension wood in *Eucalyptus* cultivated on different topographies. 2007. Chap. 3 p. 35-65. Thesis (Doctorate in Wood Science and Technology) Federal University of Lavras , Lavras, MG.

The knowledge of density, dimensional stability and mechanical properties is essential to identify the causes of alteration occurring in wood. Thus, the objective of this chapter was to evaluate the basic density, the volumetric shrinkage, the modulus of elasticity in static bending and the modulus of rupture of the woods from four two-years-old *Eucalyptus* clones cultivated on three different topographies, comparing the tension wood with the opposite wood. From the bolts of the trees, specimens were removed from two radial positions, both in the tension side and opposite side of the stem. The results showed that: *i*) the basic density of the tension wood was higher than the opposite wood from the flat land, but wood from the slopes terrains did not differed amongst themselves; *ii*) in most of the clones the basic density was higher for wood collected in the slopes and in the external position of the stem; *iii*) there was a tendency of the volumetric shrinkage to increase from the opposite side to the tension side of the stem; *iv*) the modulus of elasticity in static bending and modulus of rupture were higher in the tension wood than in the opposite wood.

Comitê de Orientação: José Tarcísio Lima (Orientador) - UFLA, Paulo Fernando Trugilho - UFLA e José Reinaldo Moreira da Silva - UFLA

3 INTRODUÇÃO

A identificação dos fatores ambientais que afetam as propriedades físicas e mecânicas da madeira tem sido objeto de muitos estudos com *Eucalyptus*. Sabe-se que o lenho de tração altera o comportamento da madeira quanto às características físicas e mecânicas.

As propriedades mecânicas são definidas como sendo a expressão do comportamento da madeira quando sujeita à atuação de forças externas. Elas são de grande importância, tanto na sobrevivência das árvores como na indústria de construção civil. Segundo Kollmann & Cote (1968), o módulo de elasticidade e o módulo de ruptura são menores no lenho de tração do que no lenho oposto. A diminuição do teor de lignina no lenho de tração indica uma queda no apoio lateral entre as microfibrilas de celulose na parede celular, afetando a flexibilidade e a resistência.

A densidade básica, definida como a massa de madeira absolutamente seca em relação ao seu volume verde, foi a característica que mais influenciou as propriedades mecânicas da madeira de 26 clones de *Eucalyptus* (Lima, 1999). Para Washusen et al. (2001), a densidade, por si só, pode não ser bom indicador na identificação de lenho de tração, pois ela varia rapidamente com a idade da árvore, sendo difícil identificar o limite no qual o lenho de tração começa a se formar.

Hillis & Brown (1988) afirmam que no lenho de tração a contração longitudinal é alta na madeira seca, sugerindo a sua relação com a queda do teor de lignina da parede celular, levando ao colapso da fibra. Washusen & Evans (2001), trabalhando com *Eucalyptus globulus* Labill com idade de 11 anos,

verificaram que o SilviScan-2 pode ser utilizado na predição de contração tangencial em árvores com lenho de tração.

Na região do Vale do Rio Doce, em Minas Gerais, ocorrem tempestades típicas de verão que, segundo relatos, causam danos como tombamentos e quebras das árvores de *Eucalyptus*, prejudicando o desenvolvimento da plantação (Melo, 2004). Também tem sido observado que existem diferenças na tolerância à ação de tempestades entre clones de mesma idade e que árvores do mesmo clone, quando plantadas em áreas de baixadas, são mais susceptíveis aos danos do que quando plantadas em encosta. É possível que a ação de ventos, associados ou não com a inclinação dos terrenos, favoreça a formação do lenho de tração que, por sua vez, pode interferir no comportamento das árvores frente às tempestades.

O objetivo deste trabalho foi determinar a densidade básica, a contração volumétrica, o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade em flexão estática do lenho de tração e do lenho oposto de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes topografias.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

Em geral, as causas de variação nas características da madeira são consideradas como sendo o resultado de fatores ambientais específicos ou fatores genéticos controlados internamente, embora exista sempre uma interação desses fatores para produzir certo tipo de madeira (Zobel & Jett, 1995). Segundo eles, qualquer coisa que leve uma árvore a alterar seus padrões de crescimento irá, provavelmente, ter algum efeito sobre a madeira produzida.

A densidade também pode variar com a idade da árvore, com seu vigor, local de plantio, taxa de crescimento e na mesma árvore no sentido base-topo e no sentido medula-casca (Ferreira, 1972; Souza et al., 1979; Lima et al., 2005).

A densidade é definida, por Panshin & De Zeeuw (1980), como sendo a medida da quantidade de material da parede celular presente em uma unidade de volume. A densidade é importante porque se correlaciona fortemente com outras propriedades físicas e com as propriedades mecânicas da madeira (Evans et al., 2000), além de ser facilmente determinada. Tomazello Filho (1985) e Lima (1999) indicaram que, mesmo entre árvores de um mesmo clone, no mesmo sítio, existem variações nas propriedades físico-mecânicas.

Lobão et al. (2004), analisando madeira comercial, provavelmente de *E. grandis*, concluíram que a densidade influencia intensamente a resistência mecânica da madeira. Por meio da medição dessa propriedade, foi possível inferir a existência de, pelo menos, duas populações de tábuas no lote analisado, concluindo que se tratavam de dois lotes de espécies diferentes.

Lima et al. (1992), estudando a variação de densidade básica ao longo dos troncos de três espécies de *Eucalyptus*, verificaram que, em *E. tereticornis* e em *E. camaldulensis*, a densidade básica cresce no sentido base-topo, enquanto que, em *E. grandis*, ela decresce da base até 25% da altura total da árvore e, a partir daí, cresce até o topo. Conforme Foelkel et al. (1983), a densidade básica geralmente é crescente no sentido medula-casca. Latorraca & Albuquerque (2000) observaram que a massa específica e a espessura da parede celular aumentam no sentido medula-casca.

Tomazello Filho (1985), avaliando *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, verificou que a região central do tronco apresentava densidades mais baixas próximo da medula, com tendência à formação de anéis de crescimento mais largos próximo à periferia.

Segundo Panshin & De Zeeuw (1980), a densidade, normalmente, aumenta rapidamente no período juvenil. Depois este aumento se torna mais lento até atingir a maturidade, permanecendo mais ou menos constante. Esses mesmos autores afirmam que as propriedades de resistência à flexão estática estão correlacionadas com a densidade. A presença de extrativos na madeira pode alterar a relação entre densidade e as propriedades mecânicas, provocando aumento, principalmente na resistência à compressão axial da madeira. Segundo Washusen et al. (2001), o lenho de tração de *Eucalyptus globulus* apresenta densidade mais alta que o lenho normal.

O estudo das variações dimensionais da madeira é essencial para a sua utilização industrial e sua relação com a densidade e a umidade é de grande importância para um maior aproveitamento da madeira. Panshin & De Zeuw (1980) afirmaram que a maior alteração dimensional da madeira ocorre no sentido tangencial aos anéis de crescimento, seguido pelo sentido radial e o sentido longitudinal é considerado praticamente desprezível. De acordo com Desch & Dinwoodie (1993), diferenças nas contrações tangencial e radial têm sido explicadas por vários fatores; entre os mais importantes estão: primeiro, o efeito restritivo do raio sobre o plano radial; segundo, a diferença em graus de lignificação entre as paredes radial e tangencial; terceiro, pequenas diferenças no ângulo microfibrilar entre as duas paredes e quarto, a grande espessura da lamela média na direção tangencial. quando comparada com aquela na direção radial.

Silva (2002), trabalhando com *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, com 24 anos de idade, verificou que a contração volumétrica na região central do caule apresenta o mais baixo valor e que este se diferencia das regiões intermediária e externa. A contração volumétrica é utilizada para classificação de madeira para uso em serraria. Caixeta (2000), estudando 44 genótipos superiores, com idades entre 13 a 17 anos, obtidos em povoamentos de *Eucalyptus*, concluiu que, pela alta contração volumétrica de quatro dos onze

grupos analisados, eles possuíam madeira com alta tensão residual de crescimento, podendo levar a seu descarte na utilização para serraria.

Lenho de tração tem sido associado com defeitos de secagem em *Eucalyptus globulus* e ele pode ser suficientemente comum em caules retos, verticais e bem desenvolvidos de árvores jovens (Wahusen et al., 2000; Washusen & Ilic, 2001).

Segundo Kollmann & Cote (1968), o lenho de tração apresenta contração longitudinal próxima a 1% em madeira verde. Este mesmo autor afirma que a madeira de tração difere do lenho oposto em menor proporção do que a madeira de compressão difere do lenho oposto nas coníferas.

O módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) são de grande importância na caracterização tecnológica da madeira. Essas duas propriedades dão uma boa aproximação da resistência do material. Tsoumis (1991) afirma que a massa específica, a retratibilidade e a resistência aos esforços de flexão estática (MOE e MOR) são consideradas os mais importantes, para a madeira sólida, dentre os parâmetros físico-mecânicos utilizados. Os seus valores expressam a combinação de diversos fatores, incluindo a constituição morfológica, anatômica e química da madeira. Lima (1999) considera o módulo de elasticidade em flexão estática e o módulo de ruptura como propriedades de grande importância para utilização da madeira na fabricação de móveis.

Oliveira (2005), trabalhando com 20 clones de *Eucalyptus* com dez anos de idade, utilizou, dentre outras características, o módulo de elasticidade a flexão estática e o módulo de ruptura, na classificação de clones para serem reflorestados visando à produção de sólidos. Padilha (2005), estudando sete clones de *Eucalyptus grandis*, com idade de oito anos, verificou que o módulo de elasticidade em flexão estática foi menor no centro do que na parte externa do lenho. Lima et al. (2000) verificaram que o módulo de elasticidade e o módulo de ruptura da madeira de *Eucalyptus* aumentaram seus valores no sentido

medula-casca e que essas duas propriedades mecânicas evidenciam a relação com ângulo da grã, das microfibrilas e com defeitos microscopicamente imperceptíveis.

Segundo Panshin & De Zeeuw (1980), o módulo de elasticidade em flexão estática é menor no lenho de tração do que no lenho oposto na madeira verde como também na madeira seca. O mesmo comportamento foi observado para o módulo de ruptura. Na madeira a 10% de umidade, o módulo de elasticidade e o módulo de ruptura apresentam valores maiores quando comparados com a madeira verde.

5 MATERIAL E MÉTODOS

Os toretes retirados das quatro árvores dos quatro clones, conforme citado no Capítulo 1, foram utilizados na produção de corpos-de-prova para análise das propriedades físico-mecânicas da madeira. Utilizando-se uma serra de fita, foi cortado um pranchão central na direção da declividade do terreno, quando o torete provinha de árvores das encostas e na direção da medula, quando o torete era de árvores da baixada. Retirou-se um corpo-de-prova externo e um interno do lado do suposto lenho de tração e também do lado do lenho oposto, conforme Figura 3.1.



FIGURA 3.1 Produção de corpos-de-prova

A identificação utilizada nos corpos-de-prova foi realizada conforme a posição no torete, separando-se lenho oposto externo, lenho oposto interno, lenho de tração interno e lenho de tração externo.

5.1 Propriedades físicas da madeira

Os corpos-de-prova foram retirados nas posições já indicadas, com dimensões aproximadas de $1,7 \times 1,7 \times 1,7$ cm. As dimensões dos corpos-de-prova foram definidas em função do diâmetro dos toretes que, em média geral, foi de 12,0 cm. As propriedades físicas foram determinadas de acordo com a norma ASTM D – 2395 (1997). Os corpos-de-prova foram saturados em água e, em seguida, obteve-se o volume verde por imersão em mercúrio e peso verde em balança digital. Foram, então, deixados à temperatura ambiente por 42 horas e, em seguida, foram colocados na estufa, a 50°C , por 24 horas e, depois, a temperatura foi elevada para $103 \pm 3^{\circ}\text{C}$, por 24 horas. Os corpos-de-prova foram retirados da estufa e pesados imediatamente, obtendo-se o peso seco. Em seguida, foram obtidos os volumes pela imersão em mercúrio. De posse desses dados, calcularam-se a densidade básica e a contração volumétrica.

5.2 Propriedades mecânicas da madeira

Os ensaios mecânicos determinados neste trabalho foram os de flexão estática. As propriedades determinadas foram módulo de elasticidade em flexão estática (MOEf) e módulo de ruptura (MOR)

Os testes foram realizados na Máquina Universal de Ensaio, modelo Emic DL –30.000, seguindo as determinações da norma alemã DIN 52185 e 52186, citada por Kollmann & Cote (1968).

Os corpos-de-prova foram preparados de acordo com as especificações da norma. Para o teste de flexão estática, as dimensões foram de 300 × 17 × 17 (mm). As amostras foram acondicionadas na sala de climatização sob temperatura de 20±3°C e umidade relativa de 65%, por cinco meses, atingindo peso constante.

Após a coleta de dados, foi feita a análise estatística, conforme descrito no Capítulo 1.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Densidade básica

Na Tabela 3.1 e na Figura 3.1 B, verificam-se os valores da densidade básica das madeiras dos clones para os lenhos de tração e oposto, nas posições externas e internas dos discos, cultivados em três terrenos de diferentes inclinações. O resumo da análise de variância da densidade básica das madeiras encontra-se na Tabela 3.1 A e a comparação entre médias na Tabela 3.2 A.

A densidade básica da madeira do clone 57, aos sete anos de idade, foi igual a 0,470 g/cm³ (Ferreira et al., 2006), o que é cerca de 12% maior do que a densidade aos dois anos. Para o clone 129, comparando-o com os dados dos

mesmos autores, o aumento da densidade básica com o envelhecimento da árvore de dois anos para sete anos de idade foi igual a 18,5%.

De acordo com Melo (2004), o clone 129 é considerado, pela empresa Cenibra, que o cultiva intensivamente, em comparação com outros, como material genético de alta tolerância a tempestades, enquanto o clone 57, também cultivado pela empresa, é considerado como de tolerância entre média e baixa.

TABELA 3.1 Densidade básica (g.cm^{-3}) dos lenhos de tração e oposto de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e posições da tora.

Topografia	Clone	LTE	LTI	LT	LOE	LOI	LO	Média
Baixada	57	0,408	0,356	0,382	0,379	0,362	0,370	0,376
	129	0,434	0,407	0,420	0,429	0,412	0,420	0,420
	386	0,425	0,401	0,413	0,398	0,395	0,397	0,405
	1274	0,429	0,430	0,430	0,416	0,406	0,411	0,420
	Média	0,424	0,398	0,411	0,405	0,394	0,400	0,405
Encosta Leve	57	0,466	0,435	0,450	0,467	0,447	0,457	0,454
	129	0,362	0,339	0,350	0,358	0,343	0,351	0,350
	386	0,401	0,386	0,394	0,368	0,371	0,370	0,382
	1274	0,475	0,446	0,461	0,432	0,441	0,437	0,449
	Média	0,426	0,401	0,414	0,406	0,401	0,403	0,409
Encosta Forte	57	0,449	0,413	0,431	0,437	0,417	0,427	0,429
	129	0,356	0,348	0,352	0,363	0,333	0,348	0,350
	386	0,470	0,409	0,440	0,468	0,397	0,432	0,436
	1274	0,457	0,438	0,448	0,428	0,415	0,421	0,435
	Média	0,433	0,402	0,418	0,424	0,391	0,407	0,412

LTE = lenho de tração externo; LTI = lenho de tração interno; LT = Lenho de tração; LOE = lenho oposto externo; LOI = lenho oposto interno; LO = lenho oposto.

Variação entre topografias

Nota-se, pelos dados da Tabela 3.1, que, na baixada, o clone 129 apresentou a maior densidade e o clone 57 a menor; para a encosta leve, o clone 57 apresentou a maior densidade e o clone 129 a menor e para a encosta forte, o clone 386 apresentou o maior valor e o clone 129, o menor. Para os clones 57, 386 e 1274 houve tendência de a densidade básica ser maior nas encostas do que na baixada. Este mesmo resultado foi encontrado por Melo (2004), e isso contribui também para explicar a maior tolerância das árvores de encosta aos danos causados pelas tempestades, uma vez que é esperado que as árvores com maior densidade sejam mais resistentes a esforços mecânicos. O clone 129, contrariando esta tendência, apresentou densidade maior na baixada que nas encostas.

Os resultados obtidos neste trabalho, em comparação com aqueles obtidos para os clones 57 e 129, avaliados na idade de corte (Ferreira et al., 2006), são confirmados resultados, pois que o clone 57, aos sete anos, apresentou densidade em encosta ligeiramente superior do que em baixada, enquanto o clone 129 apresentou densidade maior para a madeira em encosta.

De acordo com Melo (2004), repetindo relatos de técnicos da empresa Cenibra, os clones quando plantados em encosta, são mais tolerantes à ação das tempestades de verão do que quando plantados em baixada.

Variação entre lenhos

Em geral, a densidade básica foi maior no lenho de tração do que no lenho oposto, para os quatro clones e três topografias estudadas (Tabela 3.1). A maior diferença entre lenhos foi observada para o clone 1274, na encosta forte, em que a densidade básica foi maior no lenho de tração ($0,448 \text{ g.cm}^{-3}$) do que no lenho oposto ($0,421 \text{ g.cm}^{-3}$), o que equivale a 6,4% de diferença.

O lenho de tração apresentou maior densidade básica do que o lenho oposto, para as madeiras dos clones plantados em baixada, encosta leve e encosta forte (Tabela 3.1).

Variação entre posições

As madeiras da posição externa dos discos apresentaram maior densidade básica que a da posição interna, em praticamente todos os clones e topografias estudados (Tabela 3.1). Tanto nos lenhos de tração como nos lenhos opostos as maiores densidades foram observadas na posição externa de amostragem. A maior diferença na densidade básica entre a posição interna e a externa foi observada no lenho de tração do clone 386, plantado em encosta forte. Neste caso, a densidade básica foi igual a $0,470 \text{ g.cm}^{-3}$, na posição externa e a $0,409 \text{ g.cm}^{-3}$, na posição interna, equivalendo a 13% de diferença.

O resumo dos resultados da análise de variância da densidade básica entre clones, topografias, lenhos e posições no disco está apresentado na Tabela 3.2.

TABELA 3.2 Resumo dos resultados da análise de variância da densidade básica entre clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes topografias, lenhos e posições de amostragem nos discos [g.l. clone = 3; g.l. lenho = 1; g.l. posição = 1; g.l. clone \times lenho (C \times L) = 3; g.l. clone \times posição (C \times P) = 3; g.l. lenho \times posição (L \times P) = 1; g.l. clone \times lenho \times posição (C \times L \times P) = 3; g.l. erro = 48].

Topografia	Fontes de variação						
	Clone	Lenho	Posição	C \times L	C \times P	L \times P	C \times L \times P
Baixada	*	ns	*	ns	ns	ns	ns
Encosta leve	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Encosta forte	**	ns	**	ns	*	ns	ns

Em que: g.l. = grau de liberdade; ** - significância a 1% de probabilidade; * - significância a 5% de probabilidade; ns – não significativo.

Pelos dados da Tabela 3.2, observa-se que a densidade básica dos clones varia significativamente nas diferentes topografias, mas não foi detectada diferença significativa para esse atributo entre lenho oposto e lenho de tração, em todas as topografias. Entre posições dentro do disco, a densidade básica é considerada diferente, a 5% e 1% de probabilidade, na baixada e na encosta forte, respectivamente. Apenas na encosta forte a interação clone × posição foi significativa, optando-se por avaliar o efeito de posição dentro de clone (Tabela 3.3).

TABELA 3.3 Comparação múltipla das médias de densidade básica de clones de *Eucalyptus* da interação de posição × clone na encosta forte [(g.l. posição/clone = 1; g.l. erro = 48)].

Posição	Clones			
	57	129	386	1274
Externa	0,443 b	0,360 a	0,469 b	0,442 a
Interna	0,415 a	0,340 a	0,403 a	0,427 a

Os clones 57 e 386 apresentaram densidade básica diferente entre as posições interna e externa na encosta forte. Já nos clones 129 e 1274, esta diferença não ocorreu.

6.2 Contração volumétrica

Na Tabela 3.4 e na Figura 3.2 B, observam-se os valores da contração volumétrica das madeiras dos clones de *Eucalyptus* em função do tipo de lenho, da posição de amostragem no disco e do tipo de inclinação do terreno. O resumo dos resultados da análise de variância da contração volumétrica da madeira encontra-se na Tabela 3.3 A e a comparação das médias, na Tabela 3.4 A.

Variação entre clones

A contração volumétrica média geral entre clones e topografias foi igual a 12,7%. As médias dos clones 57, 129, 386 e 1274 foram, respectivamente, de 14,1%, 11,1%, 12,6% e 13,0%.

As contrações volumétricas apresentadas estão próximas ou ligeiramente menores das encontradas por Souza (2002), que trabalhou com 11 clones de *Eucalyptus* com seis anos de idade, encontrando contração volumétrica média de 14,2%. Washusen et al. (2002) usaram a contração tangencial elevada observada em uma árvore de *Eucalyptus globulus* de 11 anos de idade como indicativo de ocorrência de lenho de tração.

TABELA 3.4 Contração volumétrica (%) dos lenhos de tração e oposto de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e posições da tora.

Topografia	Clone	LTE	LTI	LT	LOE	LOI	LO	Média
Baixada	57	13,0	18,1	15,5	12,0	18,8	15,4	15,5
	129	10,5	13,3	11,9	11,1	13,1	12,1	12,0
	386	12,2	14,7	13,5	10,2	11,2	10,7	11,9
	1274	12,7	14,7	13,7	12,1	13,0	12,5	13,1
	Média	12,1	15,2	13,7	11,4	14,0	12,7	13,1
Encosta Leve	57	13,4	14,5	13,9	13,1	14,6	13,9	13,9
	129	8,9	10,2	9,5	9,0	10,5	9,8	9,7
	386	13,0	12,5	12,8	11,4	12,2	11,8	12,3
	1274	13,7	14,2	13,9	11,9	13,9	12,9	13,4
	Média	12,2	12,8	12,5	11,4	12,8	12,1	12,3
Encosta Forte	57	13,2	13,4	13,3	11,6	13,0	12,3	12,8
	129	11,5	13,6	12,5	9,7	11,5	10,6	11,7
	386	13,8	13,9	13,8	13,7	13,0	13,4	13,6
	1274	12,9	14,2	13,5	10,3	13,0	11,7	12,6
	Média	12,9	13,8	13,3	11,4	12,6	12,0	12,7

LTE = lenho de tração externo; LTI = lenho de tração interno; LT = lenho de tração; LOE = lenho oposto externo; LOI = lenho oposto interno; LO = lenho oposto.

Varição entre topografias

Na baixada, o clone 57 se sobressai com média de contração volumétrica igual a 15,5%, enquanto as contrações dos outros clones estão em torno de 12% (Tabela 3.4). Para a encosta leve, o clone 57 apresentou o maior valor e o clone 129 o menor. Nesta topografia, o clone 129 se destacou dos demais, com uma contração média em encosta leve igual a 9,7%. Na encosta forte, o clone 386 apresentou o maior valor de contração volumétrica e o menor valor foi do clone 129.

Na Tabela 3.4 nota-se que a contração volumétrica foi maior na baixada e menor na encosta leve.

Varição entre lenhos

De maneira geral, a contração volumétrica foi maior no lenho de tração que no lenho oposto (Tabela 3.4). Entretanto, na encosta leve, a diferença não foi muito marcante. A maior diferença entre lenhos foi observada para o clone 386 na baixada, em que a contração volumétrica foi maior no lenho de tração (13,5%) do que no lenho oposto (10,7%), equivalendo a 20,7% de diferença.

O lenho de tração dos caules apresentou contração volumétrica maior que o lenho oposto na encosta forte, mas, na baixada e na encosta leve, os lenhos não diferiram estatisticamente. Mesmo assim, observa-se que o lenho de tração apresentou maior contração volumétrica do que o lenho oposto, para as madeiras dos clones plantados em baixada, encosta leve. A única exceção ocorreu no clone 129, que apresentou maior valor de contração volumétrica no lenho oposto.

Varição entre posições

As madeiras da posição interna dos discos apresentaram maior contração volumétrica que as da posição externa, em todos os clones, topografias e lenhos

estudados, exceto para o clone 386 nas encostas (Tabela 3.4). Esses resultados são diferentes dos encontrados por Silva (2002) que, trabalhando com *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden com 24 anos de idade, observou a tendência crescente no sentido medula–casca para contração volumétrica. Silva et al. (2006), trabalhando com *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden de 10, 14 20 e 25 anos de idade, encontraram valor médio de contração volumétrica, entre idades, de 18,11% e verificou que a retratibilidade cresce positivamente com a idade.

Na Tabela 3.5, observa-se o resumo da análise de variância da contração volumétrica entre clones, tipos de lenhos e posições radiais nos discos.

TABELA 3.5 Resumo dos resultados da análise de variância da contração volumétrica entre clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes topografias, lenhos e posições de amostragem nos discos [g.l. clone = 3; g.l. lenho = 1; g.l. posição = 1; g.l. clone × lenho (C × L) = 3; g.l. clone × posição (C × P) = 3; g.l. lenho × posição (L × P) = 1; g.l. clone × lenho × posição (C × L × P) = 3; g.l. erro = 48].

Topografia	Fontes de variação						
	Clone	Lenho	Posição	C × L	C × P	L × P	CxLxP
Baixada	**	ns	**	ns	**	ns	ns
Encosta leve	**	ns	**	ns	ns	ns	ns
Encosta forte	**	**	**	ns	ns	ns	ns

Em que: ** - significância a 1% de probabilidade; ns – não significativo.

Observa-se, pelos dados da Tabela 3.5, que a contração volumétrica dos clones e das posições dentro do disco varia significativamente nas diferentes topografias. Entre lenho de tração e lenho oposto, a contração volumétrica é considerada diferente, a 5% de probabilidade, na encosta forte, mas, na baixada e na encosta leve, não houve diferença significativa. Apenas na baixada a interação clone × posição foi significativa, optando-se por avaliar o efeito de posição dentro de clone (Tabela 3.6).

Os clones 57 e 129 apresentaram contração volumétrica diferente entre as posições interna e externa na baixada. Já nos clones 386 e 1274 não ocorreu esta diferença.

TABELA 3.6 Comparação múltipla das médias de contração volumétrica de clones de *Eucalyptus* da interação de posição × clone na baixada (g.l. posição/clone = 1).

Posição	Clones			
	57	129	386	1274
Externa	12,5 a	10,8 a	11,2 a	12,4 a
Interna	18,4 b	13,2 b	13,0 a	14,0 a

Foram realizadas determinações de contração tangencial e radial, mas não fizeram parte deste trabalho. Observou-se que, na baixada, o maior valor médio de contração tangencial e radial no lenho de tração foi do clone 57 e o menor foi do clone 1274. O clone 57 também apresentou o maior valor no lenho oposto e o menor valor médio de contração tangencial e radial na baixada foi do clone 386 no lenho oposto, repetindo os mesmos clones da contração volumétrica.

Na encosta leve, o maior valor médio de contração tangencial e radial no lenho de tração foi do clone 57 e o clone 129 apresentou o menor valor. No lenho oposto, o maior valor médio foi do clone 57 e o menor valor foi do clone 129, repetindo os mesmos clones da contração volumétrica.

6.3 Módulo de elasticidade em flexão estática

Os dados da Tabela 3.7 e da Figura 3.3 B mostram o módulo de elasticidade em flexão estática dos clones para os lenhos de tração e oposto, nas posições externas e internas dos discos, cultivados em três diferentes inclinações

de terreno. O resumo da análise de variância do módulo de elasticidade em flexão estática encontra-se na Tabela 3.5 A e a comparação de médias na Tabela 3.6 A.

TABELA 3.7 Módulo de elasticidade (MPa) em flexão estática dos lenhos de tração e oposto de clones de *Eucalyptus* cultivados em terrenos de diferentes topografias e posições da tora.

Topografia	Clone	LTE	LTI	LT	LOE	LOI	LO	Média
Baixada	57	4498	3226	3862	3707	2780	3243	3552
	129	4109	3242	3675	4306	3266	3786	3731
	386	3525	2451	2988	3200	2133	2667	2827
	1274	4638	4293	4465	4613	3696	4155	4310
	Média	4192	3303	3748	3956	2969	3463	3605
Encosta Leve	57	4644	3413	4029	4861	3878	4369	4199
	129	4626	3627	4126	4462	3509	3986	4056
	386	4657	3972	4315	3922	3624	3773	4044
	1274	4941	4048	4494	4596	3854	4225	4359
	Média	4717	3765	4241	4460	3716	4088	4165
Encosta Forte	57	4790	3963	4376	4263	3740	4002	4189
	129	4368	3501	3935	4192	3342	3767	3851
	386	4452	3481	3966	4360	3282	3821	3894
	1274	5168	3959	4563	4403	3666	4035	4299
	Média	4695	3726	4210	4305	3507	3906	4058

LTE = lenho de tração externo; LTI = lenho de tração interno; LT = lenho de tração; LOE = lenho oposto externo; LOI = lenho oposto interno; LO = lenho oposto.

Variações entre clones

O módulo de elasticidade em flexão estática médio geral entre clones e topografias foi igual a 3943 MPa. As médias dos clones 57, 129, 386 e 1274 foram, respectivamente, de 3980 MPa, 3879 MPa, 3588 MPa e 4323 MPa. Esses valores são menores que os apresentados por Melo (2004), os quais variaram de

5434 MPa a 6918 MPa, em clones de 2 anos de idade. Também são menores do que os valores obtidos por Lima (1999), que variaram de 7660 MPa a 8338 MPa.

Ferreira et al. (2006), trabalhando com os clones 57 e 129 aos sete anos de idade, encontraram valor de módulo de elasticidade em flexão estática do clone 57, aos sete anos de idade, igual a 5664 MPa, sendo cerca de 30% maior que o módulo de elasticidade em flexão estática aos 2 anos. Para o clone 129, esta mesma comparação mostra o aumento dessa característica, com o envelhecimento das árvores de dois para sete anos, de 24%

Variações entre topografias

Os módulos de elasticidade em flexão estática dos clones são diferentes entre si na baixada, mas não diferiram estatisticamente nas encostas.

Na baixada, na encosta leve e na encosta forte, o clone 1274 apresentou o maior módulo de elasticidade em flexão estática. O clone 386 apresentou valores baixos de MOE nos três tipos de terrenos (Tabela 3.7), sendo que, na encosta leve, o MOE do clone 129 é um pouco maior. Os valores encontrados por Melo (2004) foram de 5908 MPa na baixada e 6386 MPa na encosta.

Variações entre lenhos

Houve tendência do módulo de elasticidade em flexão estática ser maior no lenho de tração que no lenho oposto (Tabela 3.7) para madeiras de baixada, de encosta leve e de encosta forte. A maior diferença entre clones foi observada para o clone 57 na baixada, igual a 3862 MPa no lenho de tração e igual 3243 MPa no lenho oposto, equivalendo a 16% de diferença. Apenas no clone 1229 plantado em baixada, e no clone 57 plantado em encosta leve, os MOEs do lenho oposto foram maiores.

Variações entre posições

O módulo de elasticidade em flexão estática aumentou da posição interna para a externa em todos os quatro clones, nas três topografias e nos dois tipos de lenho. Esses resultados confirmam os encontrados por autores como Lima et al. (2000) e Padilha (2005).

Na Tabela 3.8 encontra-se o resumo dos resultados da análise de variância do módulo de elasticidade em flexão estática entre clones, topografias, lenhos e posições no disco.

TABELA 3.8 Resumo dos resultados da análise de variância do módulo de elasticidade em flexão estática entre clones de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes topografias, lenhos e posições de amostragem nos discos [g.l. clone = 3; g.l. lenho = 1; g.l. posição = 1; g.l. clone × lenho (C × L) = 3; g.l. clone × posição (C × P) = 3; g.l. lenho × posição (L × P) = 1; g.l. clone × lenho × posição (C × L × P) = 3; g.l. do erro = 48].

Topografia	Fontes de variação						
	Clone	Lenho	Posição	C × L	C × P	L × P	C × L × P
Baixada	**	*	**	ns	ns	ns	ns
Encosta leve	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns
Encosta forte	ns	*	**	ns	ns	ns	ns

Em que: ** - significância a 1%; * - significância a 5%; ns – não significativo.

Pelos dados da Tabela 3.8 observa-se que o módulo de elasticidade em flexão estática entre posições varia significativamente em todas as topografias avaliadas. Não houve diferença significativa no módulo de elasticidade em flexão estática entre clones na encosta leve e encosta forte, mas, na baixada, variou significativamente. Entre lenhos, o módulo de elasticidade em flexão estática é considerado diferente, a 5% de probabilidade, na baixada e na encosta forte. Nas interações, não houve diferença significativa nas diferentes topografias.

6.4 Módulo de ruptura

Pelos dados da Tabela 3.9 e Figura 3.4 B observa-se o módulo de ruptura (MPa) da madeira dos clones de *Eucalyptus*, para os lenhos de tração e oposto e nas posições externas e internas das toras, colhidas em terrenos com diferentes inclinações. Em geral, o comportamento das madeiras em relação à resistência à flexão repete o comportamento delas em elasticidade. O resumo dos resultados da análise de variância do módulo de ruptura encontra-se na Tabela 3.7 A e a comparação de médias na Tabela 3.8 A.

TABELA 3.9 Módulo de ruptura (MPa) das madeiras de clones de *Eucalyptus* em função de clones, tipo de lenho, posição de amostragem na tora e topografia.

Topografia	Clone	LTE	LTI	LT	LOE	LOI	LO	Média
Baixada	57	73,0	62,5	67,7	68,5	61,0	64,7	66,2
	129	78,3	71,0	74,7	76,8	69,9	73,3	74,0
	386	70,3	67,1	68,7	67,5	58,6	63,0	65,9
	1274	84,0	73,8	78,9	79,5	69,1	74,3	76,6
	Média	76,4	68,6	72,5	73,1	64,6	68,9	70,7
Encosta Leve	57	88,7	70,2	79,5	84,7	73,9	79,3	79,4
	129	64,8	57,9	61,3	61,8	55,6	58,7	60,0
	386	74,5	65,9	70,2	68,3	60,1	64,2	67,2
	1274	83,8	81,6	82,7	84,8	81,7	83,3	83,0
	Média	77,9	68,9	73,4	74,9	67,8	71,4	72,4
Encosta Forte	57	83,8	71,0	77,4	79,6	72,9	76,2	76,8
	129	70,2	62,9	66,6	66,1	57,3	61,7	64,1
	386	82,2	63,7	73,0	83,0	61,2	72,1	72,5
	1274	88,6	75,4	82,0	81,1	69,6	75,3	78,7
	Média	81,2	68,3	74,7	77,4	65,2	71,3	73,0

LTE = lenho de tração externo; LTI = lenho de tração interno; LT = lenho de tração; LOE = lenho oposto externo; LOI = lenho oposto interno; LO = lenho oposto.

Varição entre clones

O módulo de ruptura entre clones e topografias foi igual a 72,0 MPa. As médias dos clones 57, 129, 386 e 1274 foram, respectivamente, de 74,1 MPa, 66,1 MPa, 68,5 MPa e 79,4 MPa. Esses valores são menores que os apresentados por Melo (2004), que variaram de 83 MPa a 105 MPa em clones de *Eucalyptus* de dois anos de idade. Os valores obtidos por Lima (1999) variaram de 66,6 MPa a 66,9 MPa. Ferreira et al. (2006), trabalhando com os clones 57 e 129, com sete anos de idade, encontraram módulo de ruptura igual a 80,7 MPa.

Variações entre topografias

Na baixada, o clone 1274 apresentou o maior módulo de ruptura e o clone 386 o menor (Tabela 3.9). Para encosta leve e encosta forte, o clone 1274 apresentou o maior valor e o clone 129 o menor.

Observa-se, pelos dados da Tabela 3.9, que os clones 57, 386 e 1274 apresentaram módulo de ruptura menor na baixada e maior nas encostas. Este mesmo comportamento foi observado por Melo (2004) e Ferreira et al. (2006). O clone 129 apresentou a menor média na encosta leve e a maior média na baixada.

Variações entre lenhos

Em geral, o módulo de ruptura foi maior no lenho de tração do que no lenho oposto, para os quatro clones e as três topografias estudadas (Tabela 3.9). A maior diferença entre lenhos foi observada para o clone 1274, na encosta forte, em que o módulo de ruptura foi maior no lenho de tração (82,0 MPa) do que no lenho oposto (75,3 MPa), o que equivale a 8,1% de diferença.

O lenho de tração apresentou maior módulo de ruptura do que o lenho oposto para as madeiras dos clones nos três tipos de topografia (Tabela 3.9).

Variações entre posições

O módulo de ruptura aumentou da posição externa para a interna nos quatro clones, nas três topografias e nos dois tipos de lenho (Tabela 3.9).

O resumo dos resultados da análise de variância do módulo de ruptura entre clones, topografias, lenhos e posições no disco encontra-se na Tabela 3.10.

TABELA 3.10 Resumo dos resultados da análise de variância do módulo de ruptura entre clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes topografias, lenhos e posições de amostragem nos discos [g.l. clone = 3; g.l. lenho = 1; g.l. posição = 1; g.l. clone × lenho (C × L) = 3; g.l. clone × posição (C × P) = 3; g.l. lenho × posição (L × P) = 1; g.l. clone × lenho × posição (CxLxP) = 3; g.l. erro = 48].

Topografia	Fontes de variação						
	Clone	Lenho	Posição	C × L	C × P	L × P	CxLxP
Baixada	**	*	**	ns	ns	ns	ns
Enc. Leve	**	ns	**	ns	*	ns	ns
Enc.forte	**	*	**	ns	*	ns	ns

Em que: ** - significância a 1%; * - significância a 5%; ns – não significativo.

Pelos dados da Tabela 3.10 observa-se que o módulo de ruptura entre clones e entre posições varia significativamente nas diferentes topografias (Tabela 3.10). Entre lenhos, o módulo de ruptura é considerado diferente, a 5% de probabilidade, na baixada e na encosta forte. Na encosta leve e na encosta forte, a interação clone × posição foi significativa, optando-se por avaliar o efeito de posição dentro de clone (Tabela 3.11 e 3.12).

TABELA 3.11 Comparação múltipla das médias do módulo de ruptura de clones de *Eucalyptus* da interação de posição × clone na encosta leve (g.l. posição/clone = 1; g.l. erro = 48).

Posição	Clones			
	57	129	386	1274
Externa	86,7 b	63,3 b	71,4 b	84,3 a
Interna	72,1 a	56,7 a	62,9 a	81,7 a

Os clones 57, 129 e 386 apresentaram módulo de ruptura diferente entre a posição interna e a externa na encosta leve. No clone 1274, os módulos de ruptura entre as posições não diferiram entre si.

TABELA 3.12 Comparação múltipla das médias do módulo de ruptura de clones de *Eucalyptus* da interação de posição × clone na encosta forte (g.l. posição/clone = 1; g.l. erro = 48).

Posição	Clones			
	57	129	386	1274
Externa	86,7 b	63,3 b	71,4 b	84,3 a
Interna	72,1 a	56,7 a	62,9 a	81,7 a

Todos os clones apresentaram módulo de ruptura diferente entre a posição interna e a externa, na encosta forte.

7 CONCLUSÕES

Analisando-se os resultados obtidos, pôde-se concluir que para:

. densidade básica:

- a densidade básica média entre clones e topografias foi igual a $0,409 \text{ g.cm}^{-3}$;
- os clones 57, 386 e 1274 apresentaram densidade maior na encosta do que na baixada e, no clone 129, a densidade foi maior na baixada;
- houve tendência de o lenho de tração ser maior que o lenho oposto;
- a posição externa do caule apresentou densidade básica maior que a posição interna na baixada, encosta leve e encosta forte;

. contração volumétrica:

- a contração volumétrica média entre clones e topografias foi igual a 12,7%;
- a contração volumétrica variou de acordo com os tipos de inclinação do terreno;
- o clone 57 apresentou a maior média geral de contração volumétrica e a menor foi a do clone 129;
- o lenho de tração dos caules apresentou contração volumétrica maior que o lenho oposto na encosta forte, mas, na baixada e na encosta leve, os lenhos não diferiram estatisticamente;
- em geral, a posição interna dos caules apresentou contração volumétrica maior que a posição externa, em todos os clones e topografias estudadas;
- na baixada, o clone 57 se destacou com a maior diferença entre a posição interna e externa;

. módulo de elasticidade em flexão estática (MOEf):

- o módulo de elasticidade em flexão estática médio entre clones e topografias foi igual 3943 MPa;
- os módulos de elasticidade em flexão estática dos clones são diferentes entre si na baixada, mas não diferiram estatisticamente nas encostas;
- o clone 1274 apresentou maior módulo de elasticidade em flexão estática entre clones nas três topografias estudadas;
- em geral, o lenho de tração apresentou módulo de elasticidade em flexão estática maior que o lenho oposto nas três topografias estudadas;
- o módulo de elasticidade em flexão estática foi maior na posição externa, independente da inclinação do terreno;

. módulo de ruptura:

- o módulo de ruptura apresentou média entre os clones igual a 72,0 MPa;
- o módulo de ruptura mostrou uma tendência em apresentar maiores valores nas encostas do que na baixada, exceto para o clone 129;
- em geral, o lenho de tração apresentou média de módulo de ruptura maior que o lenho oposto, nas três topografias estudadas;
- a madeira da posição externa apresentou médias de módulo de ruptura maiores que a posição interna nas diferentes topografias;

. entre características:

- na encosta forte, o lenho de tração apresentou valores maiores que o lenho oposto na contração volumétrica, no módulo de elasticidade em flexão estática e no módulo de ruptura.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAIXETA, R. P. **Propriedades da madeira de *Eucalyptus***: classificação e seleção de genótipos utilizando marcador molecular e análise multivariada. 2000. 89 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- DESCH, H. E.; DINWOODIE, J. M. **Timber its structure, properties and utilization**. 6.ed. London: Mc Millan, 1993. 410 p.
- EVANS, J. L. W.; SENFT, J. F.; GREEN, D. W. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. **Forest Products Journal**, v. 50, n. 7/8, p. 75-87, 2000.
- FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de povoamentos comerciais de *Eucalyptus grandis* W. Hill *ex-Maiden* nas idades de 11,12, 13, 14 e 16 anos. **IPEF**, Piracicaba, n. 4, p. 65-89, 1972.
- FERREIRA, S.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M.; LEITE, F. P.; ALTOÉ, T. F. Comparação entre o lenho de tração e lenho oposto em *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006. São Pedro. **Anais...** São Pedro, SP: IBRAMEM, 2006. 278 p.
- FOELKEL, C. E. B.; BUSNARDO, C. A.; DIAS, C.; SCHMIDT, C.; SILVA, R. M. R.; VESZ, J. B. V. Variabilidade radial da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Silvicultura**, São Paulo, p. 726-731, fev. 1983. (Anais do 4º Congresso Florestal Brasileiro, São Paulo).
- HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. ***Eucalyptus* for wood production**. Australia: CSIRO, 1988. 434 p.
- KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ, W. A. **Principles of wood science and technology**. New York: Springer-Verlag, 1968. v. 1, 592 p.
- LATORRACA, J. V.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeito de rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 7, n. 1, p. 279-291, 2000.
- LIMA, J. T. The wood density of 3 *Eucalyptus saligna* Smith clones in relation to age. **Annales des Sciences Forestieres**, Paris, v. 52, n. 4, p. 347-352, 1995.

- LIMA, J. T. **Clonal variation in the solid wood properties of *Eucalyptus***. 1999. 276 p. Tese (Doctor in wood science) - University of Wales, Bangor.
- LIMA, J. T.; BREESE, M. C.; CALAHAN, C. M. Variation in wood density and mechanical properties en *Eucalyptus* clones. In: _____. **The future of *Eucalyptus* for wood products**. Launceston: IUFRO, 2000. p. 282-291.
- LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. da S.; OLIVEIRA, A. D. de. Variação da densidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus camaldulensis* no sentido longitudinal dos caules. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 16, n. 1, p. 123 – 127, jan./mar. 1992.
- LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. S.; TRUGILHO, P. F. Assessment of wood density of seven clones of *Eucalyptus grandis*. **Southern African Forestry Journal**, Pretoria, n. 191, p. 21-27, July 2001.
- LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S. Physical and mechanical properties of fast grown *Eucalyptus* wood originally planted for pulp & paper or for charcoal production. In: _____. **Plantation *Eucalyptus*: Challenge in product development**. Proceedings of the International Conference on Plantation *Eucalyptus* Zhanjiang, Guangdong, China, November 28 – December 1, 2005. p. 48-58.
- LOBÃO, M. S.; DELLA LÚCIA, R. M.; MOREIRA, M. S. S.; GOMES, A. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, nov./dez. 2004.
- MELO, V. M. **Variações nas propriedades da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades**. 2004. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, MG.
- OLIVEIRA, A. N. **Previsão de ganho genético nas propriedades da madeira de *Eucalyptus* avaliadas em amostragens destrutivas e não destrutivas**. 2005. 78 p. Tese (Doutorado em Florestas de Produção) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- PADILHA, C. **Avaliação da qualidade da Madeira de *Eucalyptus* sp para a utilização em pisos**. 2005. 59 p. Dissertação (Mestrado Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

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

SILVA, C. S.; OLIVEIRA, J. T. S.; XAVIER, B. A.; CASTRO, V. R. Variação da retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, em função da idade e da posição radial no tronco. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p. 803-810, 2006.

SILVA, J. R. M. **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden**. 2002. 179 p. Tese (Doutorado em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

SOUZA, A. P.; DELLA LUCIA, R. M.; RESENDE, G. C. Estudo da densidade básica da madeira de *Eucalyptus microcorys* F. Muell cultivado na região de Dionízio, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 3, n. 1, p. 16-27, jan./jun. 1979.

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

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *E. saligna* e *E. grandis*. **IPEF**, n. 29, p. 37-45, 1985.

TRUGILHO, P. F. **Tensão de crescimento em árvores vivas de clones de *Eucalyptus spp* e de *Eucalyptus dunnii* Maiden e propriedades de sua madeira**. 2005. 167 p. Tese (Pós-Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

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

VITAL B. R.; PEREIRA, A. R.; DELLA LUCIA, R. M.; ANDRADE, D. C. Efeito da idade da árvore na densidade da madeira de *Eucalyptus grandis* cultivado na região do cerrado de Minas Gerais, Brasília, **IBDF**, p. 49-53, 1984.

WASHUSEN, R.; ADES, P.; EVANS, R.; ILIC, J.; VINDEN, P. Relationships between density, shrinkage, extractives content and microfibril angle in tension wood from three provenances of 10 year old *Eucalyptus globulus* Labill. **Holzforschung**, v. 55, p. 176-182, 2001.

WASHUSEN, R.; ADES, P.; VINDEN, P. Tension wood occurrence in *Eucalyptus globulus* Labill. I. The spatial distribution of tension wood in one 11-year-old tree. **Australian forestry**, v. 65, p. 120-126, 2002.

WASHUSEN, R.; BLAKEMORE, P.; NORTWAY, R.; VINDEN, P.; WAUGH, G. Recovery of dried appearance grade timber from *Eucalyptus globulus* Labill. Grow in plantations in medium rainfall areas of the southern Murray-Darling Basin. **Australian forestry**, v. 63, n. 4, p.195-201, 2000.

WASHUSEN, R.; EVANS, R. Prediction of wood tangential shrinkage from cellulose crystallite width and density in one 11-year-old tree of *Eucalyptus globulus* Labill. **Australian Forestry**, v. 64, n. 2, p. 123–126, 2001.

WASHUSEN, R.; ILIC, J. Relationship between transverse shrinkage and tension wood from three provenances of *Eucalyptus globulus* Labill. **Holz-Werkst.**, v. 59, p. 85-93, 2001.

ZOBEL, B. J.; JETT, J. B. **Genetics of wood production**. New York: Springer-Verlag, 1995. 337 p.

CAPÍTULO 4

DIMENSÕES DAS FIBRAS DO LENHO DE TRAÇÃO DE CLONES DE *Eucalyptus* CULTIVADOS EM DIFERENTES TOPOGRAFIAS

1 RESUMO

FERREIRA, Sérgio. **Dimensões das fibras do lenho de tração de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias.** In: _____: Lenho de tração em *Eucalyptus* cultivado em diferentes topografias. 2007. Cap. 4, p. 66-89. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

As dimensões das fibras de madeira estão relacionadas com suas características físicas e mecânicas, podendo determinar o seu uso final. É conhecido que caules com lenho de tração apresentam fibras diferenciadas. O objetivo da realização deste trabalho foi determinar as dimensões das fibras do lenho de tração de quatro clones de *Eucalyptus*, com dois anos de idade, cultivados em diferentes topografias e comparando-as com as do lenho oposto, formado na mesma árvore. Para isso, de cada caule, em um disco de 5 cm de espessura, foi retirada uma peça diametral no sentido da declividade nas árvores de encosta e no sentido das medulas, nas árvores de baixada. Esta peça diametral foi seccionada separando-se um bloco na parte externa e outro na parte interna dos lenhos de tração e oposto. Fez-se a maceração e as fibras foram observadas em microscópio, medindo-se seu comprimento, diâmetro do lume e largura da fibra. Para a madeira dos clones estudados, pôde-se concluir que: *i*) o comprimento das fibras foi maior na encosta, na posição externa do caule e semelhantes no lenho de tração e no lenho oposto; *ii*) o diâmetro do lume apresentou tendência a ser maior na posição externa do caule e semelhante nos lenhos de tração e oposto e *iii*) a espessura da parede da fibra foi semelhante nos dois tipos de lenho e maior na posição externa.

Comitê de Orientação: José Tarcísio Lima (Orientador) - UFLA, Paulo Fernando Trugilho - UFLA e José Reinaldo Moreira da Silva - UFLA

FIBER DIMENSIONS OF THE TENSION WOOD OF *Eucalyptus* CLONES CULTIVATED ON DIFFERENT TOPOGRAPHIES

2 ABSTRACT

Ferreira, Sérgio. **Fiber dimensions of the tension wood of *Eucalyptus* clones cultivated on different topographies.** In: _____: Tension wood in *Eucalyptus* cultivated on different topographies. 2007. Chap. 4 p. 66-89. Thesis (Doctorate in Wood Science and Technology) Federal University of Lavras⁸, Lavras, MG.

The fiber dimensions of wood are related to its physical and mechanical characteristics, which can determine its end use. It is known that stems with tension wood present differenced fibers. The objective of this chapter was determine the fiber dimensions of the tension wood of four two year old *Eucalyptus* clones, cultivated on three different topographies and comparing them with the opposite wood, formed in the same tree. For this, from each stem, a diametric piece was removed from a 5 cm thick disc in the direction of the slope in the trees from these topographies, and in the pith direction in the trees from the flat land. This diametric piece was sectioned removing a block from the external region and another from the inner region from both the tension and opposite woods. After macerate small sticks, the fibers were observed in microscope, measuring theirs length, lumen diameter and width. It was found that: *i*) the fiber length was higher in wood from slopped terrain, in the external position of the stem and similar in the tension and opposite woods; *ii*) the lumen diameter presented a tendency to be higher in the external region of the stem and similar in the tension and opposite woods; *iii*) the cell wall thickness was similar in the two types of wood and thicker in the external region of the discs.

Comitê de Orientação: José Tarcísio Lima (Orientador) - UFLA, Paulo Fernando Trugilho - UFLA e José Reinaldo Moreira da Silva - UFLA

3 INTRODUÇÃO

As fibras fazem parte da constituição anatômica das madeiras, tendo como função principal sua sustentação mecânica. A morfologia das fibras é importante, pois se correlaciona com as características físicas e mecânicas da madeira e pode determinar o seu uso final. Por exemplo, madeiras com fibras mais espessas possuem maior densidade.

As dimensões das fibras variam entre espécies, entre árvores e dentro de uma mesma árvore. Dimensões, como o comprimento da fibra, são controladas tanto geneticamente como pelas influências ambientais, como a geográfica ou topográfica (Metcalf & Chalk, 1989).

Árvores com ocorrência de lenho de tração apresentaram fibras com dimensões ligeiramente diferenciadas das fibras normais (Panshin et al., 1964), mas formam uma camada gelatinosa (Washusen et al., 2002).

O objetivo da realização deste trabalho foi determinar as dimensões das fibras do lenho de tração de quatro clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias, comparando-o com o lenho oposto, formado na mesma árvore, em diferentes inclinações do terreno.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

As fibras são células das angiospermas (fibras libriformes) que correspondem a 20% a 80% do seu lenho e, normalmente, desempenham a função de sustentação (Burger & Richter, 1991). Segundo Kopac & Sali (2003), o volume total e a espessura das paredes da fibra influenciam diretamente na

massa específica e no grau de alteração volumétrica e indiretamente nas propriedades mecânicas da madeira. Trabalho realizado com 26 clones de *Eucalyptus* revelou que existe diferença significativa no comprimento e na espessura da parede celular das fibras, entre clones, entre locais de plantio e entre posições radiais de amostragem dentro do tronco (Lima, 1999).

Panshin et al. (1964) relatam que, dos elementos anatômicos, as fibras são os que apresentam as principais diferenças entre lenho oposto e de tração. Os comprimentos das fibras do lenho de tração variam de levemente mais curtos a levemente mais longos, em diferentes tipos de madeira. As seções transversais das fibras do lenho de tração não são diferentes no diâmetro daquelas do lenho oposto adjacente, mas apresentam formatos levemente mais arredondados.

No lenho de tração há poucos vasos e estes são menores em diâmetro do que o lenho oposto (Morey, 1980). Neste lenho também pode estar presente mais de um tipo de fibra. Isso ocorre como resultado da transição do lenho oposto para o lenho de tração (Araki et al., 1983, citados por Prodhan et al., 1995).

4.1 Comprimento das fibras

As fibras de folhosas são curtas em relação aos traqueídeos de coníferas. O comprimento das fibras está relacionado com a resistência mecânica da madeira e também com a resistência do papel, sendo que fibras mais longas resultam em papel com maiores índices de resistência (Tomazello Filho, 1985).

Jorge et al. (2000), estudando a variabilidade do comprimento da fibra em madeira de *Eucalyptus globulus*, encontraram comprimentos médios das fibras na madeira de 0,97 mm. Segundo este mesmo autor, o comprimento da fibra em madeira aumenta significativamente da medula para a casca, em todos os níveis de altura da árvore. Hamza (1999), estudando algumas propriedades anatômicas de *Eucalyptus*, plantados em Ruvu (Tanzânia), com 17 anos de

idade, encontrou fibra com comprimento de 0,96; 0,94 e 1,09 mm, para *E. camaldulensis*, *E. citriodora* e *E. paniculata*, respectivamente.

Cruz (2000), trabalhando com clones híbridos naturais de *Eucalyptus*, com idade de 5,5 e 10,5 anos, encontrou comprimento médio das fibras entre clones de 1,0 mm. Nesse trabalho, todos os clones apresentaram aumento no comprimento das fibras à medida que se afastavam da medula. Na média, entre posições, observou-se que a posição intermediária apresentou comprimento de fibra 9,89% maior em relação à posição central e 8% menor em relação à posição externa. Silva (2002), estudando *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, com idade de 24 anos e 3 meses, encontrou, no sentido medula-casca, comprimento médio das fibras de 1,046, 1,147 e 1,199 mm nas regiões central, intermediária e externa do caule, respectivamente.

Melo (2004) estudou quatro clones de *Eucalyptus* com 24 meses de idade, plantados em duas topografias. O autor verificou que os comprimentos das fibras na baixada e na encosta foram, respectivamente, de 1,06 e 1,04 mm. Nesse mesmo trabalho verificou-se que, em geral, árvores que produzem fibras mais longas são consideradas mais tolerantes à ação das tempestades.

4.2 Espessura da parede das fibras

A espessura da parede das fibras está intimamente relacionada com a densidade da madeira (Malan, 1995). O diâmetro das células pode desempenhar um importante papel na qualidade da madeira, como mostrado, para carvalho, por Zhang & Zhong (1992), citados por Zobel & Jett (1995). Eles relataram que tanto a contração radial quanto a tangencial, em carvalho, foram relacionadas com o diâmetro das fibras. As fibras de madeiras de alta densidade com paredes espessas têm baixa flexibilidade e são mais resistentes ao acomodamento durante a fabricação do papel. Muitos fabricantes de papel consideram que a

propriedade da madeira mais importante é o número de fibras por grama, a qual está relacionada com o diâmetro da célula, variando devido ao comprimento da mesma (Zobel & Jett, 1995).

A espessura da parede da fibra encontrada por Hamza (1999), estudando três espécies de *Eucalyptus*, plantadas em Ruvu (Tanzânia), foi 4,93; 4,80 e 5,88 μm , e o diâmetro do lume da fibra foi de 5,58; de 5,39 e de 4,47 μm , para *E. camaldulensis*, *E. citriodora* e *E. paniculata*, respectivamente.

No estudo de Cruz (2000), a espessura média da parede celular entre os sete clones de *Eucalyptus* foi de 4,42 μm . Também foi observado que a espessura da parede aumenta na medida em que as fibras se afastam da medula. No trabalho de Silva (2002), a espessura média da parede das fibras no sentido medula-casca foi de 3,6, 4,2 e 4,8 μm , nas regiões central, intermediária e externa, respectivamente. De acordo com Melo (2004), as espessuras da parede celular da madeira produzida na encosta e na baixada foram de 3,96 e 3,91 μm , respectivamente. Nesse mesmo trabalho, verificou-se que, em geral, as árvores consideradas mais tolerantes à ação das tempestades apresentaram fibras mais finas e com lumes mais estreitos.

Latorraca & Albuquerque (2000) observaram que existe tendência de a densidade aumentar com a idade, acompanhada de aumento da espessura da parede celular e diminuição da largura das células.

(Norman, 1972 citado por Lobão et al., 2004) afirma que a espessura definitiva da parede das fibras provoca somente uma dureza maior na madeira, não afetando de maneira marcante a sua densidade e suas propriedades mecânicas.

4.3 Diâmetro do lume das fibras

O diâmetro do lume indica o tamanho das cavidades das fibras. Quanto maior o diâmetro do lume, menor será a densidade da madeira. A espessura da parede e o diâmetro da fibra são as características que frequentemente têm mais relação com a densidade e com as propriedades mecânicas da madeira (Lima, 1999). Melo (2004), trabalhando com quatro clones de *Eucalyptus* com dois anos de idade, verificou que o diâmetro do lume se relaciona significativamente com a tolerância das árvores à ação de tempestades.

5 MATERIAL E MÉTODOS

Em um dos discos de 5 cm de espessura das árvores dos quatro clones de *Eucalyptus* com dois anos de idade foi retirada uma peça diametral. Nas árvores das encostas, a peça diametral foi retirada no sentido da declividade do terreno e, nas árvores da baixada, no sentido das medulas. Esta peça diametral foi seccionada em quatro partes, sendo duas de cada lado da medula. A nomenclatura utilizada nos corpos-de-prova foi baseada na localização visual dos anéis de crescimento, conforme se observa na Figura 4.1.

Em cada um dos anéis contidos nesta peça foram retirados pequenos pedaços de madeira para a maceração. Utilizaram-se frascos de vidro de 30 ml, nos quais foram colocadas as amostras em solução de peróxido de hidrogênio e ácido acético glacial, na proporção de 2:1. Estes frascos foram tampados, lacrados e colocados na estufa, a 55°C, até a maceração completa, que ocorreu em 24 horas.

Em seguida, as fibras foram lavadas em água destilada e mantidas no frasco até serem preparadas lâminas para análise de suas dimensões. Foi utilizado um microscópio conectado ao sistema de análise de imagem Image

Pro-plus. As medições de comprimento das fibras (CF), em milímetros, foram realizadas com aumento de 100 vezes. O diâmetro do lume (DL) e a largura (LF) das fibras, em micrômetros, foram medidos com aumento de 1.000 vezes. A espessura da parede da fibra (EP) foi obtida pela diferença entre a largura da fibra e o diâmetro do lume, dividida por dois.

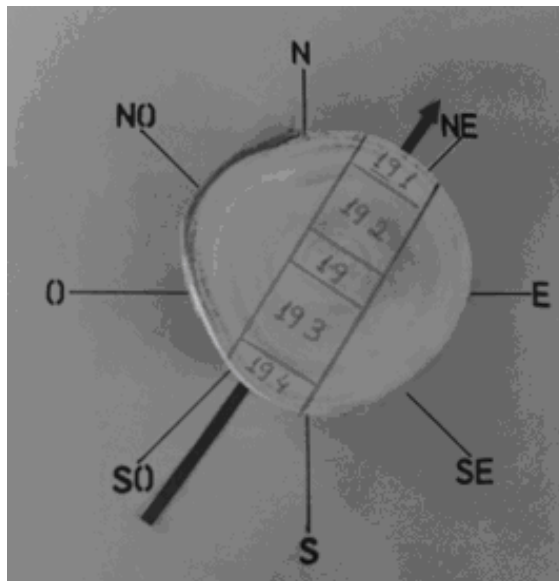


FIGURA 4.1 Disco de madeira com a marcação da peça diametral. A seta indica o sentido da declividade do terreno.

Após a coleta de dados, foi feita a análise estatística, conforme descrito no Capítulo 1.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Comprimento das fibras

Observa-se, na Tabela 4.1 e na Figura 4.1 B, o comprimento das fibras dos lenhos de tração e oposto, nas posições externas e internas dos discos dos clones de *Eucalyptus*, cultivados em três terrenos de diferentes inclinações. O resumo da análise de variância do comprimento de fibra encontra-se na Tabela 4.1 A e a comparação de médias, na Tabela 4.2 A.

TABELA 4.1 Comprimentos das fibras (mm) das madeiras de *Eucalyptus* em relação aos clones, aos tipos de lenho, à posição de amostragem nos discos e às topografias.

Topografia	Clone	LTE	LTI	LT	LOE	LOI	LO	Média
Baixada	57	1,04	0,93	0,98	1,12	0,85	0,99	0,99
	129	1,02	0,86	0,94	0,93	0,85	0,89	0,92
	386	1,01	0,88	0,94	1,00	0,89	0,95	0,94
	1274	1,04	0,93	0,98	1,07	0,93	1,00	0,99
	Média	1,03	0,90	0,96	1,03	0,88	0,95	0,96
Encosta leve	57	1,03	0,93	0,98	1,09	0,99	1,04	1,01
	129	1,10	1,00	1,05	1,08	1,02	1,05	1,05
	386	1,04	0,94	0,99	1,08	0,97	1,02	1,01
	1274	1,07	0,92	0,99	1,05	0,91	0,98	0,99
	Média	1,06	0,95	1,00	1,06	0,97	1,02	1,01
Encosta forte	57	1,11	1,02	1,06	1,12	1,02	1,07	1,07
	129	1,15	1,04	1,10	1,14	1,06	1,10	1,10
	386	1,12	0,97	1,04	1,07	0,94	1,00	1,02
	1274	1,06	0,97	1,01	1,00	0,91	0,96	0,98
	Média	1,09	0,99	1,04	1,05	0,97	1,01	1,02

LTE = lenho de tração externo; LTI = lenho de tração interno; LT = lenho de tração; LOE = lenho oposto externo; LOI = lenho oposto interno; LO = lenho oposto.

Variações entre clones

O comprimento médio geral das fibras entre clones e topografias foi igual a 1,01 mm. As médias dos clones 57, 129, 386 e 1274 foram, respectivamente, de 1,02 mm, 1,02 mm, 0,99 mm e 0,99 mm (Tabela 4.1). Estes valores são semelhantes aos encontrados por Melo (2004) que, trabalhando com *Eucalyptus* de dois anos de idade, encontrou variação de 1,00 mm a 1,09 mm. O comprimento das fibras do clone 57, aos 7 anos de idade, foi igual 0,97 mm e o do clone 129 foi igual a 0,91 mm (Ferreira et al., 2006).

Variações entre topografias

Em geral, os comprimentos das fibras foram semelhantes entre os clones cultivados em uma mesma inclinação do terreno (Tabela 4.1). Mesmo assim, foi possível constatar que, na baixada, os clones 57 e 1274 apresentaram os maiores comprimento de fibras e o clone 129 o menor (Tabela 4.1). Na encosta leve, o clone 129 apresentou o maior comprimento de fibra e clone 1274, o menor. Para a encosta forte, o clone 129 apresentou o maior comprimento de fibra e o clone 1274, o menor.

Nota-se que os clones 57, 129 e 386 apresentaram tendência de o comprimento das fibras ser maior nas encostas do que na baixada. Estes valores são semelhantes aos comprimentos médios das fibras do clone 57, encontrados por Melo (2004), na baixada, com 0,99 mm e na encosta com 1,00 mm. Ferreira et al. (2006), trabalhando com os clones 57 e 129, aos 7 anos de idade, verificaram que o clone 57 apresentou maior comprimento de fibra na baixada e o clone 129 foi maior na encosta.

Variações entre lenhos

O comprimento das fibras não diferiu estatisticamente entre lenho de tração e lenho oposto, para os quatro clones e as três topografias estudadas

(Tabela 4.1 A). A maior diferença entre lenhos foi observada no clone 57, na encosta leve, em que o comprimento das fibras foi maior no lenho oposto (1,04 mm) do que no lenho de tração (0,98 mm), equivalendo a 5,8% de diferença.

Em geral, o comprimento das fibras não se mostra como indicador de ocorrência de lenho de tração, para as condições estudadas.

Variações entre posições

As madeiras da posição externa dos discos apresentaram maior comprimento das fibras que da posição interna em todos os clones, tipos de topografia e de lenho estudados (Tabela 4.1). A maior diferença no comprimento das fibras entre a posição interna e externa foi observada no lenho oposto do clone 57, na baixada. Neste caso, o comprimento de fibra foi igual a 1,12 mm, na posição externa e a 0,85, na posição interna, equivalendo a 24,1% de diferença.

O resumo dos resultados da análise de variância do comprimento de fibras entre clones, topografias, lenhos e posições no disco encontra-se na Tabela 4.2.

TABELA 4.2 Resumo dos resultados da análise de variância do comprimento das fibras entre clones topografias, lenhos e posições de amostragem nos discos de *Eucalyptus* [g.l. clone = 3; g.l. lenho = 1; g.l. posição = 1; g.l. clone × lenho (C × L) = 3; g.l. clone × posição (C × P) = 3; g.l. lenho × posição (L × P) = 1; g.l. clone × lenho × posição (C × L × P) = 3; g.l.erro = 48].

Topografia	Fontes de variação						
	Clone	Lenho	Posição	C × L	C × P	L × P	C × L × P
Baixada	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns
Encosta leve	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns
Encosta forte	*	ns	**	ns	ns	ns	ns

Em que: ** - significância a 1%; * - significância a 5%; ns – não significativo.

Pelos dados da Tabela 4.2 observa-se que os comprimentos das fibras dos clones variam significativamente na encosta forte. Não houve diferença significativa no comprimento das fibras entre lenho oposto e lenho de tração, em todas as topografias. Entre posições dentro do disco, os comprimentos das fibras são considerados diferentes nas três topografias avaliadas.

6.2 Diâmetro do lume

Os dados da Tabela 4.3 e da Figura 4.2 B referem-se ao diâmetro do lume das fibras dos clones para os lenhos de tração e oposto, nas posições externas e internas dos discos de *Eucalyptus*, cultivados em três terrenos de diferentes inclinações. Na Tabela 4.3 A encontra-se o resumo dos resultados da análise de variância do diâmetro do lume das fibras e, na Tabela 4.4 A, encontra-se a comparação entre médias.

Varição entre clones

O diâmetro médio do lume das fibras entre clones e topografias foi igual a 11,2 μm . As médias dos clones 57, 129, 386 e 1274 foram, respectivamente, de 10,2 μm , 12,9 μm , 11,2 μm e 10,3 μm . Os valores dos diâmetros dos lumes obtidos são semelhantes aos apresentados por Melo (2004), que variaram de 8,03 a 11,16 μm . Os valores obtidos por Lima (1999) variaram de 9,8 a 12,4 μm ; por Silva (2002), foi de 10,37 μm e Mori (2003) encontrou diâmetros variando de 7,9 a 10,2 μm . Ferreira et al. (2006), trabalhando com os clones 57 e 129 com 7 anos de idade, verificaram que as médias dos diâmetros foram, respectivamente, de 9,7 μm e 11,2 μm .

Melo (2004) verificou que a tolerância de clones de *Eucalyptus* à ação das tempestades se correlaciona significativamente com o diâmetro dos lumes.

TABELA 4.3 Diâmetros do lume (μm) das fibras das madeiras de *Eucalyptus* em relação aos clones, aos tipos de lenho, à posição de amostragem nos discos e às topografias.

Topografia	Clone	LTE	LTI	LT	LOE	LOI	LO	Média
Baixada	57	12,2	9,8	11,0	13,4	10,5	12,0	11,5
	129	10,8	11,0	10,9	10,7	10,7	10,7	10,8
	386	11,1	10,3	10,7	10,9	9,6	10,3	10,5
	1274	10,9	9,8	10,3	11,9	10,2	11,1	10,7
	Média	11,2	10,2	10,7	11,7	10,3	11,0	10,9
Encosta leve	57	9,2	9,4	9,3	8,7	8,9	8,8	9,1
	129	15,7	13,1	14,4	15,0	14,1	14,6	14,5
	386	11,3	11,8	11,5	11,5	11,6	11,6	11,5
	1274	10,2	9,9	10,0	11,1	10,1	10,6	10,3
	Média	11,6	11,0	11,3	11,6	11,1	11,4	11,4
Encosta forte	57	10,0	10,0	10,0	10,2	9,7	10,0	10,0
	129	14,2	12,9	13,6	14,1	12,4	13,3	13,4
	386	11,8	10,2	11,0	11,9	12,1	12,0	11,5
	1274	8,6	10,3	9,4	10,1	10,9	10,5	10,0
	Média	11,2	10,8	11,0	11,6	11,3	11,4	11,2

LTE = lenho de tração externo; LTI = lenho de tração interno; LT = lenho de tração; LOE = lenho oposto externo; LOI = lenho oposto interno; LO = lenho oposto.

Varição entre topografias

Os diâmetros médios dos lumes das madeiras colhidas nas encostas foram ligeiramente superiores aos da baixada (Tabela 4.3). Na encosta leve, os valores de diâmetros também foram ligeiramente superiores aos da encosta forte.

Na baixada, o clone 57 apresentou o maior diâmetro médio do lume das fibras e o clone 386, o menor. Para a encosta leve, o clone 129 apresentou o maior diâmetro de lume e o clone 57, o menor. Para a encosta forte, o clone 129 apresentou o maior e os clones 57 e 1274, os menores (Tabela 4.3). Nota-se que os clones 57 e 1274 apresentaram tendência do diâmetro do lume maior na

baixada do que nas encostas. Os clones 129 e 386 apresentaram tendência de terem lumes maiores nas encostas do que na baixada. Melo (2004), trabalhando com clones de 2 anos de idade, encontrou diâmetro médio do lume das fibras maior nas encostas do que na baixada. Ferreira et al. (2006), trabalhando com os clones 57 e 129, aos 7 anos de idade, encontraram diâmetro médio do lume maior na baixada do que nas encostas.

Variação entre lenhos

O diâmetro do lume das fibras não apresentou tendência de ser maior no lenho de tração ou no lenho oposto, para os quatro clones e as três topografias estudadas. As maiores diferenças entre os lenhos foram observadas para os clones 386 e 1274 na encosta forte, em que os diâmetros dos lumes foram maiores no lenho oposto do que no lenho de tração.

Variação entre posições

As madeiras da posição externa dos discos apresentaram maior diâmetro do lume que as da posição interna, na baixada, com exceção do clone 129. As madeiras na encosta leve e encosta forte apresentaram os diâmetros dos lumes das fibras estatisticamente iguais nas posições interna e externa, em todos os clones (Tabela 4.3 A).

O resumo dos resultados da análise de variância do diâmetro do lume entre clones, topografias, lenhos e posições no disco encontra-se na Tabela 4.4.

Pelos dados da Tabela 4.4 observa-se que o diâmetro do lume dos clones varia significativamente na encosta leve e na forte. Não houve diferença significativa no diâmetro do lume entre lenho oposto e lenho de tração, em todas as topografias. Entre posições dentro do disco, o diâmetro do lume é considerado diferente na baixada e igual nas encostas.

TABELA 4.4 Resumo dos resultados da análise de variância do diâmetro do lume entre clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes topografias, lenhos e posições de amostragem nos discos [g.l. clone = 3; g.l. lenho = 1; g.l. posição = 1; g.l. clone × lenho (C × L) = 3; g.l. clone × posição (C × P) = 3; g.l. lenho × posição (L × P) = 1; g.l. clone × lenho × posição (C × L × P) = 3; g.l. erro = 48].

Topografia	Fontes de variação						
	Clone	Lenho	Posição	C × L	C × P	L × P	C × L × P
Baixada	ns	ns	**	ns	*	ns	ns
Encosta Leve	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Encosta forte	**	ns	ns	ns	*	ns	ns

Em que: ** - significância a 1%; * - significância a 5%; ns – não significativo.

Na baixada e na encosta forte, a interação clone × posição foi significativa, optando-se por avaliar o efeito de posição dentro de clone (Tabelas 4.5 e 4.6).

TABELA 4.5 Comparação múltipla das médias de diâmetro do lume de clones de *Eucalyptus* da interação de posição × clone na baixada (g.l. posição/clone = 1; g.l. erro = 48).

Posição	Clones			
	57	129	386	1274
Externa	12,80 b	10,72 a	11,01 a	11,40 b
Interna	10,16 a	10,84 a	9,97 a	10,00 a

Os clones 57 e 1274 apresentaram diâmetro do lume diferente entre a posição interna e externa na baixada. Já nos clones 129 e 386, esta diferença não ocorreu.

TABELA 4.6 Comparação múltipla das médias de diâmetro do lume de clones de *Eucalyptus* da interação posição × clone na encosta forte (g.l. posição/clone = 1; g.l. erro = 48).

Posição	Clones			
	57	129	386	1274
Externa	10,14 a	12,67 a	11,82 a	9,35 a
Interna	9,84 a	10,84 b	11,14 a	10,55 b

Os clones 129 e 1274 apresentaram diâmetro do lume diferente entre a posição interna e a externa, na encosta forte. Já nos clones 57 e 386, esta diferença não ocorreu.

6.3 Espessura da parede das fibras

Pelos dados da Tabela 4.7 e da Figura 4.3 B, verificam-se os valores da espessura da parede das fibras dos clones para os lenhos de tração e oposto, nas posições externas e internas dos discos de *Eucalyptus*, cultivados em três terrenos de diferentes inclinações. O resumo dos resultados da análise de variância da espessura da parede das fibras e na Tabela 4.6 A encontra-se a comparação de médias encontra-se na Tabela 4.5A.

Varição entre clones

A espessura média das fibras entre clones e topografias foi igual a 3,64 μm . As médias dos clones 57, 129, 386 e 1274 foram, respectivamente, de 3,71 μm , 3,44 μm , 3,74 μm e 3,68 μm . Esses valores estão próximos aos apresentados por Melo (2004), que variaram de 3,73 μm a 4,06 μm , em clones de 2 anos de idade. Os valores obtidos por Lima (1999) variaram de 3,2 μm a 3,5 μm ; por Silva (2002), de 4,2 μm e, por Mori (2003), variaram de 3,3 μm a 5,1 μm .

Melo (2004) afirma que a espessura das fibras é maior nas árvores mais suscetíveis aos danos causados pelas tempestades.

TABELA 4.7 Espessura da parede (μm) das fibras das madeiras de *Eucalyptus* em relação aos clones, aos tipos de lenho, à posição de amostragem nos discos e às topografias.

Topografia	Clone	LTE	LTI	LT	LOE	LOI	LO	Média
Baixada	57	3,51	3,52	3,52	3,44	3,61	3,52	3,52
	129	3,46	2,98	3,22	3,37	3,01	3,19	3,20
	386	3,35	3,32	3,34	3,21	3,13	3,17	3,24
	1274	3,89	3,63	3,76	4,01	3,66	3,84	3,80
	Média	3,56	3,33	3,44	3,51	3,35	3,43	3,39
Encosta leve	57	3,99	3,65	3,82	4,10	4,07	4,09	3,95
	129	4,04	3,57	3,80	3,69	3,66	3,67	3,74
	386	4,23	3,63	3,93	4,27	3,73	4,00	3,96
	1274	3,40	3,62	3,51	3,52	3,45	3,48	3,49
	Média	3,91	3,62	3,77	3,89	3,72	3,81	3,71
Encosta forte	57	3,93	3,40	3,67	3,84	3,52	3,68	3,68
	129	3,52	3,30	3,41	3,45	3,32	3,38	3,40
	386	4,28	3,89	4,09	4,16	3,81	3,99	4,04
	1274	4,03	3,59	3,81	3,90	3,53	3,72	3,76
	Média	3,94	3,54	3,74	3,84	3,55	3,69	3,68

LTE = lenho de tração externo; LTI = lenho de tração interno; LT = lenho de tração; LOE = lenho oposto externo; LOI = lenho oposto interno; LO = lenho oposto.

Variação entre topografias

As espessuras médias da parede das fibras das madeiras cultivadas nas encostas foram ligeiramente superiores às de baixada (Tabela 4.7).

Na baixada, o clone 1274 apresentou a maior espessura da parede das fibras e o clone 129, a menor. Para a encosta leve, o clone 386 apresentou a maior espessura da parede das fibras e o clone 1274, a menor. Para a encosta

forte, o clone 386 apresentou o maior valor e o clone 129, o menor. Nota-se que os clones 57, 129 e 386 apresentaram tendência de a espessura da parede das fibras ser maior nas encostas do que na baixada. Ferreira et al. (2006), trabalhando com os clones 57 e 129, aos 7 anos de idade, verificaram que o clone 57 apresentou este mesmo resultado, mas o clone 129 apresentou resultado inverso.

Varição entre lenhos

Para a espessura da parede das fibras, não existe diferença entre lenho de tração e lenho oposto, para os quatro clones e as três topografias estudadas (Tabela 4.5 A). O lenho de tração apresentou espessura da parede das fibras maior que o lenho oposto, nas árvores plantadas em encosta forte.

Varição entre posições

As madeiras da posição externa dos discos apresentaram maior espessura da parede das fibras que as da posição interna das árvores plantadas em baixada, na encosta leve e na encosta forte.

O resumo dos resultados da análise de variância da espessura da parede entre clones, topografias, lenhos e posições no disco encontra-se na Tabela 4.8.

Pelos dados da Tabela 4.8 observa-se que a espessura da parede dos clones e entre as posições varia significativamente nas três topografias avaliadas, enquanto que o efeito de lenho foi não significativo.

TABELA 4.8 Resumo dos resultados da análise de variância da espessura da parede entre clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes topografias, lenhos e posições de amostragem nos discos [g.l. clone = 3; g.l. lenho = 1; g.l. posição = 1; g.l. clone × lenho (C × L) = 3; g.l. clone × posição (C × P) = 3; g.l. lenho × posição (L × P) = 1; g.l. clone × lenho × posição (C × L × P) = 3; g.l. erro = 48].

Topografia	Fontes de variação						
	Clone	Lenho	Posição	C × L	C × P	L × P	C × L × P
Baixada	**	ns	*	ns	*	ns	ns
Encosta leve	*	ns	*	ns	*	ns	ns
Encosta forte	**	ns	**	ns	ns	ns	ns

Em que: ** - significância a 1%; * - significância a 5%; ns – não significativo.

Na baixada e na encosta leve, a interação clone × posição foi significativa, optando-se por avaliar o efeito de posição dentro de clone (Tabela 4.9 e Tabela 4.10).

TABELA 4.9 Comparação múltipla das médias de espessura da parede das fibras de clones de *Eucalyptus* da interação de posição × clone na baixada (g.l. posição/clone = 1; g.l. erro = 48).

Posição	Clones			
	57	129	386	1274
Externa	3,46 a	3,42 b	3,29 a	3,94 b
Interna	3,56 a	2,99 a	3,20 a	3,65 a

Os clones 129 e 1274 apresentaram espessura da parede das fibras diferente, entre a posição interna e externa, na baixada. Já nos clones 57 e 386 essa diferença não ocorreu.

TABELA 4.10 Comparação múltipla das médias da espessura da parede das fibras de *Eucalyptus* da interação posição × clone na encosta leve (g.l. posição/clone = 1; g.l. erro = 48).

Posição	Clones			
	57	129	386	1274
Externa	4,05 a	3,86 a	4,25 b	3,45 a
Interna	3,86 a	3,62 a	3,66 a	3,52 b

O clone 386 apresentou espessura da parede das fibras diferente entre a posição interna e a externa, na encosta leve. Nos clones 57, 129 e 1274, esta diferença não foi notada.

7 CONCLUSÕES

Analisando os resultados obtidos pôde-se concluir que para:

. comprimento das fibras:

- o comprimento médio geral das fibras entre clones e topografias foi igual a 1,01 mm;
- os comprimentos das fibras foram semelhantes entre clones, num mesmo tipo de topografia;
- o comprimento das fibras foi semelhante, nos dois tipos de lenho;
- em geral, o comprimento das fibras não se mostrou como indicador de ocorrência de lenho de tração nas condições de baixada, encosta leve e encosta forte;
- a madeira da posição externa dos caules apresentou comprimento de fibra maior que da posição interna, em todas as inclinações de terreno avaliadas;

. diâmetro do lume:

- o diâmetro médio do lume das fibras entre clones e topografias foi igual a 11,2 μm ;
- os diâmetros médios dos lumes das madeiras na encosta leve e na encosta forte foram ligeiramente superiores aos da baixada;
- o clone 129 apresentou a maior média de diâmetro do lume nas encostas;
- o diâmetro do lume das fibras foi semelhante nos dois tipos de lenho, nas três inclinações de terreno;
- em geral, as madeiras da posição externa dos caules apresentaram média de diâmetro do lume maior que na posição interna na baixada;

- as posições internas e externas dos caules, em todos os clones, apresentaram diâmetro do lume semelhante, nas encostas leve e forte;

. espessura da parede da fibra:

- a espessura média das fibras entre clones e topografias foi igual a 3,64 μm ;

- as madeiras das encostas leve e forte apresentaram espessura da parede das fibras maior do que na baixada;

- a espessura da parede da fibra foi semelhante nos dois tipos de lenho, em todas as inclinações do terreno;

- as madeiras das posições externas dos caules apresentaram as maiores médias de espessura da parede da fibra, em todas as inclinações do terreno.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

CRUZ, C.R. **Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus* para utilização na indústria madeireira**. 2000. 64 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba PR.

FERREIRA, S.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M.; LEITE, F. P.; ALTOÉ, T. F. Comparação entre o lenho de tração e lenho oposto em *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006, São Pedro. **Anais...** São Pedro, SP: IBRAMEM, 2006. 278 p.

HAMZA, K. F. S. Basic density and some anatomical properties of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnhr., *E. citriodora* Hook, and *E. paniculata* Sm grown at Ruvu, Tanzania. **Annals of Forestry**, v. 7, n. 2, p. 221-226, 1999.

JORGE, F.; QUILHO, T.; PEREIRA, H. Variability of fibre length in wood and bark in *Eucalyptus globulos*. **IAWA Journal**, v. 21, n. 1, p. 41-48, 2000.

KOPAC, J.; SALI, S. Wood: an important material in manufacturing technology. **Journal of Materials Processing Technology**, Lausanne, v. 133, n. 2, p. 134-142, 2003.

LATORRACA, J. V.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeito de rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 7, n. 1, p. 279-291, 2000.

LIMA, J. T. **Clonal variation in the solid wood properties of *Eucalyptus***. 1999. 276 p. Tese (Doctor in wood science) - University of Wales, Bangor.

LOBÃO, M. S.; DELLA LÚCIA, R. M.; MOREIRA, M. S. S.; GOMES, A. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, nov./dez. 2004.

MALAN, F. A. *Eucalyptus* improvement for lumber production. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPEF/IPT, 1995. p. 1-19.

MELO, V. M. **Variações nas propriedades da Madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades.** 2004. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, MG.

METCALFE, C. R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons: wood structure and conclusion of the general introduction.** 2.ed. New York: Oxford, 1989. v. 2, 297 p.

MOREY, P. R. **O crescimento das árvores.** Tradução de Maria de Fátima Domingos A. Pereira. São Paulo: EPU/USP, 1980. 72p. (Temas de Biologia, 19).

MORI, C. L. S. de O. **Variabilidade de cores em madeiras de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp.** 2003. 64 p. Dissertação (Mestrado em Florestas de Produção) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C.; BROWN, H. P. **Textbook of wood technology.** 2.ed. [S. l.: S. n.], 1964. v. 1. 643 p.

PRODHAN, A. K. M. A.; OHTANI, J.; FUNADA, R.; ABE, H.; FUKAZAWA, K. Ultrastructural investigation of tension wood fibre in *Fraxinus mandshurica* Rupr. Var. japonica Maxim. **Annals of Botany**, v. 75, p. 311-317, 1995.

SILVA, J. R. M. **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden.** 2002. 179 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, v. 29, p. 37-45, 1985.

WASHUSEN, R.; ADES P.; VINDEN, P. **Tension wood occurrence in *Eucalyptus globulus* Labill.** **Australian Forestry**, v. 65, n. 2, p. 120-126, 2002.

ZOBEL, B. J.; JETT, J. B. **Genetics of wood production.** New York: Springer – Verlag, 1995. 337p.

CAPÍTULO 5

ÂNGULO MICROFIBRILAR DE FIBRAS DO LENHO DE TRAÇÃO DE CLONES DE *Eucalyptus* CULTIVADOS EM DIFERENTES TOPOGRAFIAS

1 RESUMO

FERREIRA, Sérgio. **Ângulo microfibrilar de fibras do lenho de tração de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias.** In: _____: Lenho de tração em *Eucalyptus* cultivado em diferentes topografias. 2007. Cap. 5, p. 90-103. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

O ângulo das microfibrilas é uma característica importante para a definição de várias propriedades da madeira. Existem evidências de que madeiras formadas em terrenos de encostas desenvolvem ângulos microfibrilares diferentes daqueles formados por árvores que se desenvolvem em baixada, devido à ocorrência de lenho de tração. Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o ângulo microfibrilar da parede celular de fibras de madeiras de quatro clones de *Eucalyptus* com dois anos de idade, plantados em baixada, em encosta leve e em encosta forte, comparando o lenho de tração com o lenho oposto. Os ângulos das microfibrilas foram medidos por meio da técnica de microscopia de luz polarizada. Para as madeiras dos clones estudados concluiu-se que: *i*) o ângulo das microfibrilas médio entre os quatro clones e as três topografias estudadas foi igual a 8,7°; *ii*) o ângulo das microfibrilas do clone 129 foi nitidamente maior em relação aos outros clones nas encostas; *iii*) os maiores ângulos das microfibrilas foram observados em clones plantados em baixada e *iv*) os ângulos das microfibrilas foram maiores no centro do que na parte externa dos caules.

Comitê de Orientação: José Tarcísio Lima (Orientador) - UFLA, Paulo Fernando Trugilho - UFLA e José Reinaldo Moreira da Silva - UFLA

MICROFIBRIL ANGLE OF FIBERS OF TENSION WOOD OF *Eucalyptus* CLONES CULTIVATED ON DIFFERENT TOPOGRAPHIES

2 ABSTRACT

Ferreira, Sérgio. **Microfibril angle of fibers of the tension wood of *Eucalyptus* clones cultivated on different topographies.** In: ____: Tension wood in *Eucalyptus* cultivated on different topographies. 2007. Chap. 5 p. 90-103. Thesis (Doctorate in Wood Science and Technology) Federal University of Lavras¹⁰, Lavras, MG.

The microfibril angle is an key characteristic for the definition of several wood properties. There exist evidences that wood formed in sloped terrains, due to the presence of tension wood, develop different microfibril angles from those formed on flat land. The objective of this chapter was to evaluate the microfibril angle of the wood fiber wall from four two-years-old *Eucalyptus* clones, cultivated on flat and on sloped lands, comparing the tension wood with the opposite wood of the stems. To measure the microfibril angles the technique of the polarized light microscopy was employed. It was concluded that: *i*) the average microfibril angle among the four clones and three topographies was 8,7°; *ii*) the microfibril angle of the clone 129 was clearly higher in relation to the other clones cultivated on the sloped terrains; *iii*) the higher microfibril angles were observed for clones planted on flat lands; *iv*) the microfibril angles were higher in the inner than in the external region of the stems.

Comitê de Orientação: José Tarcísio Lima (Orientador) - UFLA, Paulo Fernando Trugilho - UFLA e José Reinaldo Moreira da Silva – UFLA.

3 INTRODUÇÃO

As microfibrilas constituem as unidades fundamentais da parede celular dos elementos anatômicos das plantas. Nas camadas da parede secundária das fibras do lenho de árvores, principalmente na S₂, elas formam ângulos com o eixo das fibras. Essa inclinação é importante na definição de várias propriedades da madeira, como sua instabilidade dimensional, rigidez e resistência mecânica (Zobel & Van Buijtenen, 1989). Como consequência, o comportamento da madeira em serviço também pode ser afetado.

Geralmente, a orientação das microfibrilas na camada S₂ de coníferas varia de 10° a 30°, enquanto que, em folhosas (que inclui o gênero *Eucalyptus*), a variação é de cerca de 5° a 20° (Boyd, 1985).

Apesar de pouco estudados, pode-se dizer que o ângulo das microfibrilas, como outras características da madeira, varia entre materiais genéticos, entre árvores e mesmo dentro da própria árvore.

Em árvores que crescem em terrenos inclinados, formando lenho de tração, existem relatos de que os ângulos microfibrilares são menores do que os das árvores que formam lenho normal (Yamamoto et al., 1992; 1993 a, citados por Yamamoto et al., 1997). É possível que árvores com lenho de tração, que apresentam menores ângulos microfibrilares, formados em caules que crescem em terrenos inclinados ou sujeitas a ventos dominantes, sejam mais tolerantes à ação de tempestades.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o ângulo microfibrilar da parede celular de quatro clones de *Eucalyptus* cultivados em áreas de baixada e de encosta, comparando o lenho de tração com o lenho oposto.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

Os estudos iniciais sobre as dimensões das microfibrilas ocorreram a partir de 1950. Eles indicaram que os diâmetros variam, dependendo da fonte de celulose e da posição da microfibrila dentro da parede da célula. Em alga, o diâmetro da microfibrila varia de 8,3-38 nm; em madeira, varia de 5,0-10,0 nm e, em rami, valores relatados por Lewin & Goldstein (1991) variam de 17-20 nm.

A inclinação das microfibrilas em relação ao eixo das fibras é importante na definição de várias propriedades da madeira, como sua instabilidade dimensional, rigidez e resistência mecânica (Zobel & Van Buijtenen, 1989). Como consequência, o comportamento da madeira em serviço também pode ser afetado.

Vários pesquisadores, como Wimmer et al. (2002), afirmam que a orientação fibrilar da camada S_2 determina, em grande parte, as propriedades mecânicas das fibras individuais, assim como as propriedades da madeira sólida. Neste caso, propriedades de resistência, de elasticidade e de retratibilidade são citadas como influenciadas pelo ângulo microfibrilar da camada S_2 .

A madeira juvenil apresenta ângulos microfibrilares maiores que a madeira madura (Bendtsen & Senft, 1986; Donaldson, 1992, citados por Wimmer et al., 2002). Similarmente, o lenho inicial caracteriza-se por apresentar ângulo microfibrilar maior do que os encontrados em lenho tardio (Necesity, 1961; McMillin, 1973, citados por Wimmer et al., 2002).

De acordo com Hillis et al. (2004), em madeira de *Acacia* sp., cortada de tora reta, que aparentemente cresceu verticalmente, foi identificado o ângulo de microfibrila com características de lenho de tração em faixas escuras do cerne.

Essas faixas escuras do lenho de tração eram, provavelmente, segundo os autores, causadas pela polimerização de extrativos no limite do cerne.

Lima et al. (2004a) estudaram a variação do ângulo microfibrilar da madeira de 11 clones de híbridos de *Eucalyptus* com 8 anos de idade, em quatro locais diferentes. Entre os sítios, a média dos ângulos microfibrilares variou de 7,4 a 10,0 graus, apresentando valor médio de 8,8 graus.

Na madeira de reação, ocorrem modificações no ângulo das microfibrilas. Por exemplo, Dinwoodie (1981) cita que os ângulos microfibrilares, em galhos de *Eucalyptus rubida*, são menores na região onde as tensões de crescimento de tração são maiores. Existem relatos de que as árvores que crescem em terrenos inclinados, formando lenho de tração, apresentam ângulos microfibrilares menores do que árvores que formam lenho normal (Yamamoto et al., 1997).

Melo et al. (2004) estudaram quatro clones de *Eucalyptus* com 24 meses de idade. Em geral, os ângulos microfibrilares das madeiras produzidas em baixada, com média de 26,1 graus, foram maiores do que os que foram encontrados para madeira de encosta, com valor médio de 25,8 graus.

Em *Eucalyptus camaldulensis*, o lenho de tração foi caracterizado por pequenos ângulos microfibrilares, presença de fibras gelatinosas, comprimento longo de fibra e redução na frequência de vasos, quando comparados com o lenho oposto (Baba et al., 1996).

5 MATERIAL E MÉTODOS

Para a medição do ângulo das microfibrilas, utilizaram-se blocos retirados de uma peça diametral de um disco de cada uma das árvores dos quatro clones de *Eucalyptus* que foram avaliados neste estudo. O processo de obtenção destes blocos, de $2 \times 2 \times 2$ cm, foi semelhante ao relatado no dimensionamento das fibras.

Após saturados, os blocos foram cortados no plano tangencial no micrótomo em seções de, aproximadamente, $7 \mu\text{m}$ de espessura. Com estes cortes, fez-se a maceração com uma solução de peróxido de hidrogênio e ácido acético glacial, na proporção de 2:1, a 55°C , por 24 horas. A seguir, foram preparadas lâminas provisórias para a medição dos ângulos das microfibrilas.

Foi utilizado o microscópio Olympus BX 51, adaptado para a polarização da luz, com mesa giratória, conectado com o programa de análise de imagem Image Pro-plus. Utilizando-se aumento de 200 vezes, foram selecionadas quinze fibras, cortadas no sentido longitudinal para permitir que apenas uma única parede fosse atravessada pela luz. Girando-se a mesa do microscópio, coloca-se a fibra na máxima posição de extinção. Nesta posição, a luz polarizada se encontra sobreposta com o mesmo alinhamento das microfibrilas, não deixando passar a luz. Utilizando-se o programa de análise de imagem, obteve-se o ângulo formado entre a vertical e nova posição do eixo da fibra (Figura 5.1).

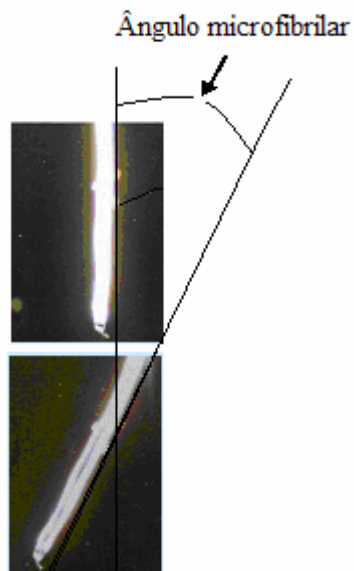


FIGURA 5.1 Observação do ângulo microfibrilar no microscópio de luz polarizada.

Após a coleta de dados, foi feita a análise estatística, conforme descrito no Capítulo 1.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados da Tabela 5.1 e da Figura 5.1 B referem-se ao ângulo das microfibrilas das fibras dos clones para os lenhos tração e oposto, nas posições externas e internas dos discos de *Eucalyptus*, cultivados em três terrenos de diferentes inclinações. Na Tabela 5.1 A encontra-se o resumo dos resultados da análise de variância do ângulo das microfibrilas e, na Tabela 5.2 A, a comparação entre médias.

TABELA 5.1 Ângulos das microfibrilas (graus) das fibras das madeiras de *Eucalyptus* em relação aos clones, aos tipos de lenho, à posição de amostragem nos discos e às topografias.

Topografia	Clone	LTE	LTI	LT	LOE	LOI	LO	Média
Baixada	57	6,9	11,8	9,4	6,9	16,8	11,8	10,6
	129	12,9	19,4	16,1	10,3	15,7	13,0	14,6
	386	12,9	19,5	16,2	12,0	17,7	14,9	15,5
	1274	4,7	7,4	6,0	3,7	5,8	4,8	5,4
	Média	9,3	14,5	11,9	8,2	14,0	11,1	11,5
Encosta Leve	57	5,6	8,8	7,2	5,3	6,5	5,9	6,5
	129	10,2	16,0	13,1	10,5	11,7	11,1	12,1
	386	3,3	6,2	4,8	3,2	5,6	4,4	4,6
	1274	3,4	6,9	5,1	2,4	6,5	4,5	4,8
	Média	5,6	9,5	7,5	5,4	7,6	6,5	7,0
Encosta Forte	57	7,6	10,0	8,8	6,0	7,7	6,8	7,8
	129	7,5	14,4	10,9	7,5	11,9	9,7	10,3
	386	3,9	8,9	6,4	3,1	8,2	5,6	6,0
	1274	4,0	8,2	6,1	4,0	7,2	5,6	5,9
	Média	5,8	10,4	8,1	5,1	8,8	6,9	7,5

LTE = lenho de tração externo; LTI = lenho de tração interno; LT = lenho de tração; LOE = lenho oposto externo; LOI = lenho oposto interno; LO = lenho oposto.

Varição entre clones

O ângulo das microfibrilas das fibras entre clones e topografias foi igual a 8,7°. As médias dos clones 57, 129, 386 e 1274 foram, respectivamente, de 8,3°, 12,3°, 8,7° e 5,3° (Tabela 5.1), sendo verificada diferença estatística significativa entre os clones (Tabela 5.1A). Esses valores são menores que os apresentados por Lima et al. (2004b), para 11 clones de *Eucalyptus*, com oito anos de idade e plantados em terrenos planos, cujos ângulos variaram de 8,6° a 11,2°.

Varição entre topografias

Os ângulos médios das microfibrilas das madeiras colhidas na baixada foram superiores aos da encosta leve e da encosta forte (Tabela 5.1). Esse resultado também foi encontrado por Melo (2004), em cujo trabalho o ângulo das microfibrilas foi maior na baixada do que na encosta.

Na baixada, o clone 386 apresentou o maior ângulo microfibrilar e o clone 1274, o menor. Para a encosta leve, o clone 129 apresentou o maior ângulo de microfibrilas e o clone 386, o menor. Na encosta forte, o clone 129 apresentou o maior ângulo microfibrilar e o clone 1274, o menor (Tabela 5.1).

Varição entre lenhos

De maneira geral, o ângulo microfibrilar foi ligeiramente maior no lenho de tração do que no lenho oposto, para os quatro clones e as três topografias estudadas (Tabela 5.1). Este resultado difere daqueles encontrados na literatura, segundo os quais, o ângulo microfibrilar aumenta do lenho de tração para o lenho oposto (Dinwoodie, 1981; Yamamoto et al., 1997; e Baba et al., 1996). A maior diferença entre clones foi observada para o clone 129 na baixada, equivalendo a 19,3% de diferença. Estatisticamente, essa diferença não foi confirmada (Tabela 5.1 A).

Varição entre posições

As madeiras da posição interna dos discos apresentaram maior ângulo microfibrilar que as da posição externa, em todas as topografias estudadas (Tabela 5.1 e 5.1 A). Esse resultado confirma os encontrados por Lima et al. (2004).

O resumo dos resultados da análise de variância do ângulo das microfibrilas entre clones, topografias, lenhos e posições no disco está apresentado na Tabela 5.2.

TABELA 5.2 Resumo dos resultados da análise de variância do ângulo de microfibrilas entre clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes topografias, lenhos e posições de amostragem nos discos [g.l. clone = 3; g.l. lenho = 1; g.l. posição = 1; g.l. clone × lenho (C × L) = 3; g.l. clone × posição (C × P) = 3; g.l. lenho × posição (L × P) = 1; g.l. clone × lenho × posição (C × L × P) = 3; g.l. erro = 16].

Topografia	Fontes de variação						
	Clone	Lenho	Posição	C × L	C × P	L × P	C × L × P
Baixada	**	ns	**	*	*	ns	ns
Encosta leve	**	ns	*	ns	ns	ns	ns
Encosta forte	*	ns	**	ns	ns	ns	ns

Em que: ** - significância a 1%; * - significância a 5%; ns – não significativo.

Pelos dados da Tabela 5.2 observa-se que o ângulo das microfibrilas dos clones e entre posições varia significativamente nas diferentes topografias (Tabela 5.2). Não houve diferença significativa no ângulo microfibrilar entre lenho oposto e lenho de tração, em todas as topografias estudadas. Na baixada, as interações clone × lenho e clone × posição foram consideradas diferentes, optando-se por avaliar o efeito de lenho dentro de clone (Tabela 5.3) e o efeito de posição dentro de clone (Tabela 5.4).

TABELA 5.3 Comparação múltipla das médias do ângulo microfibrilar de clones de *Eucalyptus* da interação lenho × clone na baixada (g.l. lenho/clone = 1; g.l. erro = 16).

Lenho	Clones			
	57	129	386	1274
Tração	9,4 a	16,1 b	16,2 a	6,0 a
Oposto	11,8 b	13,0 a	14,8 a	4,8 a

Os clones 57 e 129 apresentaram ângulo microfibrilar diferente entre o lenho de tração e o lenho oposto na baixada. Já nos clones 386 e 1274 esta diferença não ocorreu.

TABELA 5.4 Comparação múltipla das médias do ângulo microfibrilar de clones de *Eucalyptus* da interação posição × clone na baixada (g.l. lenho/clone = 1; g.l. erro = 16).

Posição	Clones			
	57	129	386	1274
Externa	6,9 a	11,6 a	12,5 a	4,2 a
Interna	14,3 b	17,5 b	18,6 b	6,6 b

Todos os clones apresentaram ângulo microfibrilar diferente, entre as posições interna e externa, na baixada.

7 CONCLUSÕES

Analisando-se os resultados obtidos pôde-se concluir que:

- o ângulo das microfibrilas médio entre os quatro clones e as três topografias estudadas foi igual a 8,7°;
- o ângulo das microfibrilas do clone 129 foi nitidamente maior em relação aos outros clones nas encostas;
- os maiores ângulos das microfibrilas foram observados em clones plantados em baixada;
- os ângulos das microfibrilas foram maiores no centro do que na parte externa dos caules.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BABA, K.; ONA, T.; TAKABE, K.; ITOH, T.; ITO, K. Chemical and anatomical characterization of the tension wood of *Eucalyptus camaldulensis* L. **Mokuzai Gakkaishi**, v. 42, n. 8, p. 795-798, 1996.

BOYD, J. D. **Biophysical control of microfibril orientation in plant cell walls**. Aquatic and terrestrial plants including trees. Dordrecht, The Netherlands: Martinus Nijhoff/Dr W. Junk, 1985, 200 p.

DINWOODIE, J. M. **Timber, its nature and behaviour**. Wokingham, England: Van Nostrand Reinhold, 1981. 190 p.

HILLIS, W.E.; EVANS, R.; WASHUSEN, R. An unusual formation of tension wood in a natural forest *Acacia* sp. **Holzforchung**, v. 58, p. 241-245, 2004.

LEWIN, M.; GOLDSTEIN, I. S. (Ed.). **Wood structure and composition**. New York: M. Dekker, 1991. 448 p.

LIMA, J. T.; BREESE, M. C.; CAHALAN, C. M. Variation in microfibril angle in *Eucalyptus* clones. **Holzforchung**, v. 58, p. 160-166, 2004a.

LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. da S.; CRUZ, C. R. da. Deformações residuais longitudinais decorrentes de tensões de crescimento em *Eucalyptus* e suas associações com outras propriedades. **Revista Àrvore**, Viçosa, v. 28, número 1, jan./fev., p. 107 - 116, 2004b.

MELO, V. M. **Variações nas propriedades da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades**. 2004. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, MG.

MELO, V. M.; LIMA J. L.; TRUGILHO P. F.; SILVA, J. R. M. Influência da topografia do terreno no ângulo microfibrilar da madeira de *Eucalyptus*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE INDUSTRIALIZAÇÃO DA MADEIRA E PRODUTOS DE BASE FLORESTAL, 1., 2004, Pinhais. **Anais...** Pinhais PR: Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais - IPEF, 2004. CD ROM.

YAMAMOTO, H.; OKUYAMA, T.; YOSHIDA, M. Growth stress generation and microfibril angle in reaction wood. In: BUTTERFIELD, B. G. (Ed.). **Microfibril angle in wood**. Westport: International Association of Wood Anatomists, 1997. p. 225-239.

WIMMER, R.; DOWNESS, G.M.; EVANS, R. Temporal variation of microfibril angle in *Eucalyptus nitens* grown in different irrigation regimes. **Tree Physiology**, Victoria, v. 22, n. 7, p. 449-457, May 2002.

ZOBEL, B. J.; VAN BUIJTENEN, J. P. **Wood variation** - its causes and control. Berlin: Springer Verlag, 1989. 363 p.

CAPÍTULO 6

TEOR DE LIGNINA DO LENHO DE TRAÇÃO DE CLONES DE *Eucalyptus* CULTIVADOS EM DIFERENTES TOPOGRAFIAS

1 RESUMO

FERREIRA, Sérgio. **Teor de lignina do lenho de tração de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias.** In: _____: Lenho de tração em *Eucalyptus* cultivado em diferentes topografias. 2007. Cap. 6, p. 104-124. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

A lignina é um composto que aumenta a rigidez da parede celular. O seu teor é variável entre as espécies, os indivíduos e os lenho de reação. Este comportamento pode contribuir para a alteração das propriedades da madeira. Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar os teores de lignina solúvel, insolúvel e total, de quatro clones de *Eucalyptus* de dois anos de idade, cultivados em diferentes topografias, comparando-se o lenho de tração com o lenho oposto. Utilizaram-se quatro blocos de uma peça diametral retirada a 1,30 metro do caule das árvores, sendo um na parte externa e outro na parte interna do lenho de tração e oposto. Para lignina total, utilizou-se o método de reflexão difusa de infravermelho próximo. Para as madeiras dos clones analisados, pôde-se concluir que: *i*) os teores de lignina insolúvel e solúvel não diferiram entre os lenhos de tração e oposto; *ii*) em geral, o teor de lignina insolúvel foi maior no centro dos caules; *iii*) em geral, o teor de lignina insolúvel foi maior nos clones plantados em baixada; *iv*) o clone 129 apresentou menor teor de lignina insolúvel em praticamente todas as topografias em que foi cultivado; *v*) em geral, o teor de lignina solúvel foi maior na madeira de encosta forte e *vi*) o teor de lignina na madeira, estimado pelo NIR, não diferiu estatisticamente entre lenho de tração e lenho oposto; em comparação com método analítico, o método do NIR subestimou o conteúdo de lignina total em 1,54%.

³Comitê de Orientação: José Tarcísio Lima (Orientador) - UFLA, Paulo Fernando Trugilho - UFLA e José Reinaldo Moreira da Silva - UFLA

LIGNIN CONTENT OF THE TENSION WOOD OF *Eucalyptus* CLONES CULTIVATED ON DIFFERENT TOPOGRAPHIES

2 ABSTRACT

Ferreira, Sérgio. **Lignin content of the tension wood of *Eucalyptus* clones cultivated on different topographies.** In: _____: Tension wood in *Eucalyptus* cultivated on different topographies. 2007. Chap. 6 p. 104-124. Thesis (Doctorate in Wood Science and Technology) Federal University of Lavras, Lavras, MG.

Lignin is a wood component that increases the cell wall stiffness. Its content is variable amongst species, individuals, position within the stem and types of wood. This behavior contributes to the alteration of other characteristics of wood. The objective of this chapter was to evaluate the contents of soluble, insoluble and total lignin of four two-years-old *Eucalyptus* clones, cultivated on three different topographies, comparing tension and opposite wood. For lignin determination, it was utilized four blocks of a diametric piece removed at the DBH level in the stem. The blocks represented the inner and the external position of the stem, both from the tension wood and opposite wood. For total lignin estimation it was utilized the near infrared spectroscopy method (NIR). For wood of the analyzed clones it can be concluded that: *i*) the insoluble lignin content did not differ between tension and opposite wood; *ii*) in general, the insoluble lignin content was higher in the inner region of the stems; *iii*) in general, the insoluble lignin content was higher from the clones cultivated on flat lands; *iv*) clone 129 presented lowest insoluble lignin content, practically in all the topographies where it was cultivated; *v*) in general, the soluble lignin content was higher in the clones from heavy slope; *vi*) the total lignin content estimated by the NIR did not differ statistically between tension and opposite wood; in comparison with the analytical method, the NIR method underestimated the total lignin content in 1.54%.

Comitê de Orientação: José Tarcísio Lima (Orientador) - UFLA, Paulo Fernando Trugilho - UFLA e José Reinaldo Moreira da Silva - UFLA

3 INTRODUÇÃO

Os elementos químicos da madeira influenciam o seu comportamento. A lignina é amorfa e de peso molecular indeterminado, aromática, polímero tridimensional muito ramificado, extremamente reativo e complexo, tornando-se difícil de estabelecer sua constituição, além de sofrer modificações estruturais durante seu isolamento das paredes celulares (Morais, 1987 e 1992). Nas folhosas, a lignina apresenta os radicais guaiacil e siringil. O teor de lignina na parede celular varia de 25% a 35% . A maior concentração de lignina é na parede secundária com, aproximadamente, 70% do total.

A lignina tem a função de aumentar a rigidez da parede celular, cimentar as células mantendo-as unidas, reduzir a permeabilidade e proteger a madeira contra a ação de microorganismos, por apresentar caráter fenólico. A lignina é retirada no processo de produção de papel para clarear a celulose. Além disso, é o componente de maior poder calórico e, por isso, importante na produção do carvão vegetal, influenciando diretamente o seu rendimento. O teor de lignina varia no lenho de tração e no lenho oposto, alterando suas características.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar as diferenças do teor de lignina da parede celular de quatro clones de *Eucalyptus* cultivados em áreas de baixada e de encosta, comparando o lenho de tração com o lenho oposto.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

A lignina é um heteropolímero aromático complexo, composto, principalmente, de três monômeros derivados do álcool hidroxicinâmico. Ela compõe de 15% a 35% do peso seco da madeira e assume papel importante na estrutura da parede celular (Panshin & De Zeeuw, 1980).

Várias enzimas regulam as reações da etapa que antecede a polimerização da lignina (Ralph et al., 1999, citados por Abreu, 2003). Por meio dessas enzimas, as plantas transformam lignina siringílica, que é mais frágil estruturalmente, em lignina guaiacílica, que se apresenta muito mais ramificada e rígida.

Os precursores da lignina (álcool coniferil, álcool sinapílico e álcool p-cumaril) são sintetizados no citoplasma, mais especificamente no complexo de golgi e retículo endoplasmático e são liberados no interior da parede celular, onde se iniciam os sítios de polimerização (Wardrop, 1965).

A lignina apresenta várias diferenças qualitativas e quantitativas em sua distribuição. Geralmente, a lamela média é altamente lignificada, contendo, predominantemente, unidades de guaiacil, nas gimnospermas, ou uma mistura de unidades guaiacil e siringil, nas angiospermas. O tipo de unidades estruturais de lignina no xilema de angiospermas pode ser distinguido freqüentemente conforme a função da célula. Por exemplo, quando a função é apoio estrutural, a parede secundária é altamente lignificada contendo unidades siringil ou, quando a função é condução de água, a parede secundária é altamente lignificada, contendo unidades de guaiacil (Donaldson, 2001).

De acordo com Mattheck & Kubler (1995), as fibras do lenho de tração não são tão ricas em lignina quando comparadas com os traqueídeos do lenho de compressão. O lenho de tração caracteriza-se pela falta de lignificação na parede

celular interna das fibras, que consiste de celulose quase pura e altamente cristalina, na qual as microfibrilas estão organizadas (Jourez et al., 2001).

Em discos de madeira de *Eucalyptus globulus* com nove anos de idade, que apresentavam crescimento excêntrico, Rodrigues et al. (2000) encontraram teor de lignina, analisada por pirólise analítica, variando de 26,5% a 28% entre árvores. Entretanto, o crescimento excêntrico das árvores não implicou necessariamente em diferenças no conteúdo de lignina. Quando diferenças ocorreram, menores teores de lignina foram encontrados na parte da seção transversal, com maior crescimento radial. De acordo com os autores, amostragens para análises químicas em seções transversais excêntricas devem evitar as partes do caule com altas diferenças radiais entre lados opostos. A pirólise analítica pode ser usada para prospectar a presença de lenho de tração.

5 MATERIAL E MÉTODOS

O teor de lignina foi determinado pelo método analítico convencional e pelo método do *Near Infrared Reflectance*, ou NIR, visando à comparação entre os dois.

5.1 Medição do teor de lignina pelo método analítico convencional

Para medição do teor de lignina pelo método analítico convencional utilizaram-se blocos retirados de uma peça diametral, proveniente de um disco de madeira de cada uma das árvores, obtidos conforme relatado no Capítulo 4. Este material permaneceu na sala de climatização, a 20°C e 65% de umidade relativa. Com o auxílio de um formão e de martelo, os blocos foram transformados em pequenas lascas para serem moídas em moinho de faca, marca Marconi MA 048. Depois de moídas, foram classificadas nas peneiras de 40 e 60

mesh. O material que ficou retido na peneira de 60 mesh foi utilizado na análise e o restante foi descartado. Utilizou-se o procedimento descrito em Gomide & Demuner (1986) para a determinação do teor de lignina na madeira. O teor de lignina solúvel foi obtido de acordo com Goldshimid (1971).

5.2 Medição do teor de lignina pelo método do NIR

O teor de lignina na madeira, pelo método do NIR, foi determinado em laboratório da Cenibra S.A., em Belo Oriente, MG, usando-se a reflexão difusa de infravermelho próximo (Figura 6.1). Os espectros de NIR foram obtidos a partir de amostras de serragem de madeira, oriundas de cada uma das secções retiradas do lenho de tração e do lenho oposto de cada árvore.

As amostras foram classificadas utilizando-se as frações que passaram pela peneira de malha 40 mesh e ficaram retidas na de 60 mesh. Todas as amostras foram secas a 60°C, durante 24 horas, para garantir umidade igual entre elas.

Os espectros foram obtidos no espectrofotômetro de infravermelho próximo, da marca FOSS NIRSystems, registrando-se as medidas de absorbância em cada um deles.



FIGURA 6.1 Equipamento NIR utilizado na análise de lignina.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Lignina insolúvel

Observam-se, pelos dados da Tabela 6.1 e da Figura 6.1 B, os teores de lignina insolúvel da madeira dos clones de *Eucalyptus* para os lenhos de tração e oposto, nas posições externas e internas dos discos, cultivados em três terrenos de diferentes inclinações. O resumo da análise de variância do teor de lignina insolúvel encontra-se na Tabela 6.1A e a comparação de médias na Tabela 6.2A.

TABELA 6.1 Lignina insolúvel (%) das madeiras de *Eucalyptus* em relação aos clones, aos tipos de lenho, à posição de amostragem nos discos e às topografias.

Topografia	Clone	LTE	LTI	LT	LOE	LOI	LO	Média
Baixada	57	31,85	34,05	32,95	32,28	36,22	34,25	33,60
	129	28,70	29,17	28,93	26,08	34,58	30,33	29,63
	386	37,70	37,80	37,75	37,28	40,23	38,76	38,25
	1274	33,22	33,27	33,24	32,70	33,35	33,03	33,13
	Média	32,87	33,57	33,22	32,09	36,10	34,09	33,66
Encosta leve	57	29,83	32,68	31,26	30,15	29,88	30,02	30,64
	129	25,60	26,23	25,91	23,71	26,40	25,06	25,48
	386	25,03	26,95	25,99	25,20	25,17	25,18	25,59
	1274	35,53	37,93	36,73	38,08	38,22	38,15	37,44
	Média	27,20	29,01	28,11	27,39	27,88	27,64	27,87
Encosta forte	57	31,65	34,80	33,23	31,33	33,58	32,46	32,84
	129	25,48	27,28	26,38	31,95	26,60	29,27	27,83
	386	25,50	25,13	25,32	25,35	26,30	25,82	25,57
	1274	35,55	38,75	37,15	36,75	38,65	37,70	37,43
	Média	29,55	31,49	30,52	31,35	31,28	31,31	30,92

LTE = lenho de tração externo; LTI = lenho de tração interno; LT = lenho de tração; LOE = lenho oposto externo; LOI = lenho oposto interno; LO = lenho oposto.

Varição entre clones

A lignina insolúvel média da madeira entre clones e topografias foi igual a 31,5%. As médias dos clones 57, 129, 386 e 1274 foram, respectivamente, de 32,4%, 27,7%, 29,8% e 36,0% (Tabela 6.1). Esses valores estão próximos daqueles encontrados por outros autores para madeiras de *Eucalyptus*. Trugilho et al. (2001 e 2003), trabalhando com clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* de sete anos de idade, encontraram teor médio de lignina insolúvel de 30,44%. Souza (2002), trabalhando com *Eucalyptus* spp e de *Eucalyptus dunnii* Maiden com seis anos de idade, encontrou teor médio de lignina insolúvel de 26,1%.

Varição entre topografias

Em geral, os teores de lignina insolúvel foram semelhantes entre os clones plantados em uma mesma inclinação de terreno (Tabela 6.1). Nota-se que os clones 57, 129 e 386 apresentaram tendência do teor de lignina insolúvel ser maior na baixada do que nas encostas. Os clones 57 e 12274 apresentaram maiores conteúdos de lignina que os clones 129 e 386, nas três topografias.

Varição entre lenhos

O comportamento do teor de lignina insolúvel, em termos de lenho de tração e oposto, parece estar associado ao tipo de terreno. Na baixada, o teor de lignina é menor em lenho de tração (Tabela 6.1), o que está em acordo com relatos da literatura, enquanto, nas encostas, o teor é maior em lenho de tração. O teor de lignina insolúvel não diferiu estatisticamente entre lenho de tração e lenho oposto, para os quatro clones e as três topografias estudadas (Tabela 6.1 A). A maior diferença entre clones foi observada para o clone 129, na encosta forte, em que o teor de lignina insolúvel foi maior no lenho oposto do que no lenho de tração, equivalendo a 9,9% de diferença.

Variação entre posições

As madeiras da posição interna e externa dos discos não diferiram estatisticamente para os quatro clones e as três topografias estudadas (Tabela 6.1 A). Mesmo assim, observa-se uma tendência de o teor de lignina insolúvel da madeira na posição interna ser maior que o da posição externa.

O resumo dos resultados da análise de variância do teor de lignina insolúvel entre clones, topografias, lenhos e posições no disco está apresentado na Tabela 6.2.

TABELA 6.2 Resumo dos resultados da análise de variância do teor de lignina insolúvel entre clones, topografias, lenhos e posições de amostragem nos discos de *Eucalyptus* [g.l. clone = 3; g.l. lenho = 1; g.l. posição = 1; g.l. clone × lenho (C × L) = 3; g.l. clone × posição (C × P) = 3; g.l. lenho × posição (L × P) = 1; g.l. clone × lenho × posição (C × L × P) = 3; g.l. erro = 16].

Topografia	Fontes de variação						
	Clone	Lenho	Posição	C × L	C × P	L × P	C × L × P
Baixada	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Encosta leve	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Encosta forte	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Em que: ** - significância a 1%; * - significância a 5%; ns – não significativo.

Pelos dados da Tabela 6.2 observa-se que os teores de lignina insolúvel dos clones variaram significativamente, nas três topografias estudadas. Não houve diferença significativa no teor de lignina da madeira entre lenhos, posições e interações, em todas as topografias estudadas.

6.2 Teor de lignina solúvel

Pelos dados da Tabela 6.3 e da Figura 6.2 B, observam-se os teores de lignina solúvel da madeira dos clones de *Eucalyptus*, para os lenhos de tração e oposto, nas posições externas e internas dos discos, cultivados em três terrenos

de diferentes inclinações. O resumo da análise de variância do teor de lignina solúvel encontra-se na Tabela 6.3 A e a comparação de médias, na Tabela 6.4 A.

TABELA 6.3 Lignina solúvel (%) das madeiras de *Eucalyptus* em relação aos clones, aos tipos de lenho, à posição de amostragem nos discos e às topografias.

Topografia	Clone	LTE	LTI	LT	LOE	LOI	LO	Média
Baixada	57	2,17	1,39	1,78	1,53	2,07	1,80	1,79
	129	3,87	2,82	3,35	2,58	3,53	3,06	3,20
	386	1,90	1,54	1,72	1,63	1,83	1,73	1,72
	1274	2,11	1,39	1,75	1,64	1,88	1,76	1,76
	Média	2,08	1,55	1,82	1,61	2,12	1,86	1,84
Encosta Leve	57	1,86	1,09	1,48	1,13	2,07	1,60	1,54
	129	3,87	3,25	3,56	3,46	4,13	3,79	3,68
	386	4,46	3,58	4,02	2,96	3,67	3,32	3,67
	1274	1,83	0,90	1,37	1,43	2,03	1,73	1,55
	Média	2,42	1,71	2,06	1,48	2,23	1,86	1,96
Encosta Forte	57	1,95	1,11	1,53	0,88	1,84	1,36	1,44
	129	2,61	2,32	2,46	2,10	3,21	2,66	2,56
	386	4,61	3,58	4,09	3,22	4,20	3,71	3,90
	1274	1,75	1,56	1,65	1,00	2,02	1,51	1,58
	Média	2,01	1,53	1,77	1,34	2,11	1,73	1,75

LTE = lenho de tração externo; LTI = lenho de tração interno; LT = lenho de tração; LOE = lenho oposto externo; LOI = lenho oposto interno; LO = lenho oposto.

Varição entre clones

O teor médio de lignina solúvel da madeira entre clones e topografias foi igual a 2,4%. As médias dos clones 57, 129, 386 e 1274 foram, respectivamente, de 1,6%, 3,2%, 3,1% e 1,6%. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Trugilho et al. (2003) que, trabalhando com clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* de sete anos de idade, encontraram um teor médio de lignina

solúvel de 1,33%. Souza (2002), trabalhando com *Eucalyptus* spp e de *Eucalyptus dunnii* Maiden com seis anos de idade, encontrou teor médio de lignina solúvel de 2,3%.

Variação entre topografias

O maior teor de lignina solúvel foi encontrado nas árvores plantadas em encosta leve (Tabela 6.3). Na baixada, o clone 129 apresentou o maior teor de lignina solúvel e o clone 386, o menor. Para a encosta leve, o clone 129 apresentou o maior teor de lignina solúvel e o clone 57, o menor. Na encosta forte, o clone 386 apresentou o maior teor de lignina solúvel e o clone 57, o menor.

Variação entre lenhos

O teor de lignina solúvel não diferiu estatisticamente entre lenho de tração e lenho oposto, para os quatro clones e as três topografias avaliadas (Tabela 6.3 A). Mesmo assim, nota-se que a maior diferença entre clones foi observada para o clone 386 na encosta leve, em que o teor de lignina solúvel foi igual a 4,02% no lenho de tração e igual a 3,32% no lenho oposto, o que equivale a 17,4% de diferença.

Variação entre posições

As madeiras da posição interna e externa dos discos não diferiram estatisticamente para os quatro clones e as três topografias estudadas (Tabela 6.3 A). Mesmo assim, nota-se uma tendência de a madeira da posição externa do lenho de tração apresentar maior teor de lignina solúvel do que da posição interna. Já o teor de lignina da posição interna do lenho oposto é maior do que a da posição externa.

O resumo dos resultados da análise de variância do teor de lignina solúvel entre clones, topografias, lenhos e posições no disco está apresentado na Tabela 6.4.

TABELA 6.4 Resumo dos resultados da análise de variância do teor de lignina solúvel entre clones, topografias, lenhos e posições de amostragem nos discos de *Eucalyptus* [g.l. clone = 3; g.l. lenho = 1; g.l. posição = 1; g.l. clone × lenho (C × L) = 3; g.l. clone × posição (C × P) = 3; g.l. lenho × posição (L × P) = 1; g.l. clone × lenho × posição (C × L × P) = 3; g.l. erro = 16].

Topografia	Fontes de variação						
	Clone	Lenho	Posição	C × L	C × P	L × P	C × L × P
Baixada	**	ns	ns	ns	ns	*	ns
Encosta leve	**	ns	ns	*	ns	**	ns
Encosta forte	**	ns	ns	ns	ns	**	ns

Em que: ** - significância a 1%; * - significância a 5%; ns – não significativo.

Pelos dados da Tabela 6.4 observa-se que os teores de lignina solúvel dos clones variaram significativamente, nas três topografias estudadas. Entre os lenhos e posições dentro dos discos não houve diferença significativa nos teores de lignina solúvel, em todas as topografias. Na encosta leve, a interação clone × lenho foi significativa, optando-se por avaliar o efeito de posição dentro do clone (Tabela 6.5).

TABELA 6.5 Comparação múltipla das médias do teor de lignina solúvel de clones de *Eucalyptus* da interação de lenho × clone na encosta leve (g.l. lenho/clone = 1; g.l. erro = 16).

Lenho	Clones			
	57	129	386	1274
Tração	1,48 a	3,56 a	4,02 b	1,37 a
Oposto	1,60 a	3,79 a	3,32 a	1,73 a

O clone 386 apresentou teor de lignina solúvel diferente entre o lenho de tração e o lenho oposto na encosta leve.

A interação lenho × posição varia significativamente em todas as topografias avaliadas, optando-se por avaliar o efeito de posição dentro do lenho (Tabela 6.6).

TABELA 6.6 Comparação múltipla das médias do teor de lignina solúvel de clones de *Eucalyptus* da interação posição × lenho nas três topografias (g.l. lenho/clone = 1; g.l. erro = 16).

Posição	Baixada		Encosta leve		Encosta forte	
	Tração	Oposto	Tração	Oposto	Tração	Oposto
Externa	2,51 b	1,85 a	3,01 b	2,98 b	2,73 b	1,80 a
Interna	1,79 a	2,33 a	2,21 a	2,24 a	2,14 a	2,82 b

O lenho de tração apresentou teor de lignina solúvel diferente entre a posição interna e externa, nas três topografias avaliadas. O lenho oposto apresentou teor de lignina solúvel diferente entre a posição interna e externa, na encosta leve e na encosta forte. Pelos dados da Tabela 6.6 observa-se que a posição externa do caule no lenho de tração apresentou teor de lignina solúvel maior que na posição interna, em todas as topografias estudadas.

6.3 Teor de lignina da madeira estimada pela espectrofotometria de infravermelho próximo (NIR)

Na Tabela 6.7 e na Figura 6.3 B observa-se o teor de lignina determinado pelo espectrofotômetro de infravermelho próximo (NIR) dos clones de *Eucalyptus*, para os lenhos de tração e oposto, nas posições externas e internas dos discos, cultivados em três terrenos de diferentes inclinações. O

resumo da análise de variância do teor de lignina predito pelo NIR encontra-se nas Tabelas 6.5 A e a comparação das médias, na Tabela 6.6 A.

TABELA 6.7 Lignina estimada pelo NIR (%) na madeira de *Eucalyptus* em relação aos clones, aos tipos de lenho, à posição de amostragem nos discos e às topografias.

Topografia	Clone	LTE	LTI	LT	LOE	LOI	LO	Média
Baixada	57	30,54	31,04	30,79	31,36	31,34	31,35	31,02
	129	31,98	35,36	33,67	33,01	34,85	33,93	33,77
	386	32,83	33,92	33,37	32,69	32,86	32,77	33,13
	1274	28,85	30,48	29,66	29,13	30,34	29,73	29,69
	Média	31,05	32,70	31,87	31,55	32,34	31,95	31,90
Encosta leve	57	28,53	31,45	29,99	28,85	29,68	29,27	29,70
	129	30,87	32,75	31,81	30,74	32,60	31,67	31,75
	386	28,56	30,99	29,78	29,13	31,43	30,28	29,98
	1274	30,56	32,35	31,45	31,64	30,97	31,31	31,40
	Média	29,63	31,89	30,76	30,09	31,17	30,63	30,71
Encosta forte	57	29,71	32,80	31,25	29,73	32,31	31,02	31,16
	129	30,26	32,85	31,56	30,98	33,78	32,38	31,89
	386	27,42	31,08	29,25	27,85	30,49	29,17	29,22
	1274	28,85	32,30	30,58	30,81	31,80	31,30	30,87
	Média	29,06	32,26	30,66	29,84	32,09	30,97	30,78

LTE = lenho de tração externo; LTI = lenho de tração interno; LT = lenho de tração; LOE = lenho oposto externo; LOI = lenho oposto interno; LO = lenho oposto.

Varição entre clones

O teor médio de lignina estimado pelo NIR da madeira entre clones e topografias foi igual 31,1%. As médias dos clones 57, 129, 386 e 1274 foram, respectivamente, de 30,6%, 32,5%, 30,8% e 30,7%. Estes resultados foram maiores que os de Trugilho et al. (1996) que, trabalhando com *Eucalyptus*

saligna, com dois anos de idade, encontraram teor de lignina de 26,08%. Trugilho et al. (2001 e 2003), trabalhando com clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, de sete anos de idade, encontraram um teor médio de lignina total de 31,77%.

Variação entre topografias

Verifica-se, pelos dados da Tabela 6.7, que, na baixada, o clone 129 apresentou o maior teor de lignina estimado pelo NIR e o clone 1274, o menor. Na encosta leve, o clone 129 apresentou o maior teor de lignina estimado pelo NIR e o clone 57, o menor. Para a encosta forte, o clone 129 apresentou o maior valor e o clone 386, o menor.

Como foi observado, o clone 129 apresentou o maior teor de lignina estimado pelo NIR em todas as inclinações de terreno.

Variação entre lenhos

O teor de lignina estimado pelo NIR não foi muito marcante entre o lenho de tração e o lenho oposto (Tabela 6.5 A). A maior diferença entre clones foi observada para o clone 57, na encosta leve, em que o teor de lignina na estimado pelo NIR foi igual a 29,99%, no lenho de tração e igual a 29,27%, no lenho oposto, com diferença de 2,4%.

Variação entre posições

As madeiras da posição interna dos discos apresentaram maior teor de lignina estimada pelo NIR que as da posição externa, nos três tipos de topografia avaliados (Tabela 6.6 A). Nos lenhos de tração, os maiores valores foram observados na posição interna. Nos lenhos opostos, houve tendência de ocorrer o mesmo comportamento.

O resumo dos resultados da análise de variância do teor de lignina estimado pelo NIR entre clones, topografias, lenhos e posições no disco encontra-se na Tabela 6.8.

TABELA 6.8 Resumo dos resultados da análise de variância do teor de lignina estimado pelo NIR entre clones, topografias, lenhos e posições de amostragem nos discos de *Eucalyptus* [g.l. clone = 3; g.l. lenho = 1; g.l. posição = 1; g.l. clone × lenho (C × L) = 3; g.l. clone × posição (C × P) = 3; g.l. lenho × posição (L × P) = 1; g.l. clone × lenho × posição (C × L × P) = 3; g.l. erro = 16].

Topografia	Fontes de variação						
	Clone	Lenho	Posição	C × L	C × P	L × P	C × L × P
Baixada	**	ns	*	ns	ns	ns	ns
Encosta leve	*	ns	*	ns	ns	ns	ns
Encosta forte	*	ns	**	ns	ns	ns	ns

Em que: ** - significância a 1%; * - significância a 5%; ns – não significativo.

Pelos dados da Tabela 6.8 observa-se que o teor de lignina dos clones, estimado pelo NIR, entre as posições, varia significativamente nas diferentes topografias. Não houve diferença significativa no teor de lignina estimado pelo NIR entre lenho oposto e lenho de tração, em todas as topografias. Para as interações, também não houve diferença significativa nas topografias avaliadas.

Neste trabalho não foi analisado o conteúdo de lignina total (solúvel + insolúvel) pelo método analítico (Tabela 6.7A). Madeira colhida em baixada apresentou o maior teor de lignina total do que a colhida em encosta. Em geral, a posição interna do disco apresentou maior teor de lignina total. O clone 1274 apresentou alto teor de lignina total nas encostas. Entretanto, em baixada, o clone 386 foi o que apresentou o maior teor. Pôde-se também comparar essa característica (Tabela 6.7A) com aquela estimada pelo NIR (Tabela 6.7).

O modelo para a estimativa da lignina total pelo método do NIR resultou em uma subestimativa de 3,32% para o clone 57; de 2,12% para o clone 386 e de

6,98% para o clone 1274. Por outro lado, o método do NIR superestimou o conteúdo de lignina total do clone 129 em 1,68%. A média das estimativas para todos os clones e topografias juntas resultou em uma subestimativa equivalente a 1,54%. Deve-se considerar que o modelo foi construído para materiais mais velhos, que apresentavam idade em torno de sete anos na época da amostragem.

7 CONCLUSÕES

Analisando-se os resultados obtidos pôde-se concluir que para:

. lignina insolúvel:

- o teor médio de lignina insolúvel entre os quatro clones e as três topografias avaliadas foi igual a 31,5%;
- o clone 129 apresentou menor teor de lignina insolúvel em praticamente todas as topografias em que foi cultivado;
- os clones 57, 129 e 386 apresentaram maior teor de lignina insolúvel na baixada;
- o teor de lignina insolúvel não diferiu entre os lenhos de tração e oposto;
- em geral, os teores de lignina insolúvel foram maiores no centro dos caules;

. lignina solúvel:

- o teor médio de lignina solúvel entre os quatro clones e as três topografias estudadas foi igual 2,4%;
- em geral, o teor de lignina solúvel foi maior na madeira em encosta forte;
- não houve diferença significativa no teor de lignina solúvel entre o lenho de tração e o lenho oposto;
- a posição externa do caule no lenho de tração apresentou teor de lignina solúvel maior que a posição interna, em todas as topografias;

. lignina na madeira estimada pelo NIR:

- o teor médio de lignina estimado pelo NIR, entre os quatro clones e as três topografias estudadas, foi igual a 31,1%;
- o clone 129 apresentou o maior teor de lignina na madeira, estimada pelo NIR, em todas as topografias;
- o teor de lignina na madeira estimada pelo NIR não diferiu estatisticamente entre lenho de tração e lenho oposto;
- a posição interna dos caules apresentou maior teor de lignina estimada pelo NIR que a externa, nas três topografias;
- em comparação com o método analítico, o método do NIR subestimou o conteúdo de lignina total em 1,54%.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, H.; MAEDA, J.; LATORRACA, J. Proposta de modificação da biossíntese da lignina como estratégia para correção de defeitos em madeiras. **Silva Lusitana**, v. 11, n. 2, p. 217-225, dez/2003.
- DONALDSON, L. A. Lignification and lignin topochemistry – an ultrastructural view. **Phytochemistry**, v. 57, p. 859-873, 2001.
- GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, São Paulo, v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.
- GOLDSHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. **Lignins: occurrence, formation, structure and reactions**. New York: John Wiley & Sons, 1971. p. 241-266.
- JOUREZ, B.; RIBOUX, A.; LECLERCQ, A. Anatomical characteristics of tension wood and opposite wood in young inclined stems of poplar (*populus euramericana* CV “Ghoy”). **IAWA Journal**, v. 22, p. 133-157, 2001.
- MATTHECK, C.; KUBLER, H. **Wood – the internal optimization of trees**. Berlin: Springer, 1995. 129 p.
- MORAIS, S.A.L. **Contribuição ao estudo químico das ligninas de *Eucalyptus grandis***. 1987. 175 p. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Minas Gerais. ICEX, Belo Horizonte, MG.
- MORAIS, S.A.L. **Contribuição ao estudo químico e espectrocópico da lignina de madeira moída do *Eucalyptus grandis*: isolamento, quantificação e análise estrutural**. 1992. 260 p. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal de Minas Gerais. ICEX, Belo Horizonte, MG.
- PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4.ed. New York: Mc Graw Hill, 1980. 722p.
- RODRIGUES, J.; GRAÇA, J.; PEREIRA, H. Influence of tree eccentric growth on syringyl/guaiacyl ratio in *Eucalyptus globulus* wood lignin assessed by analytical pyrolysis. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 58-59, p. 481-489, Apr. 2000.

SOUZA, M.A.M. **Deformação residual longitudinal (DRL) causada pelas tensões de crescimento em clones de híbridos de *Eucalyptus***. 2002. 72 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal, área de Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas na madeira de *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94 – 111, 1996.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A. Correlação canônica das características químicas e físicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 66-80, 2003.

TRUGILHO P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; LINO, A. L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal. **Revista Cerne**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 104-114, 2001.

TRUGILHO, P. F. **Tensão de crescimento em árvores vivas de clones de *Eucalyptus spp* e de *Eucalyptus dunnii* Maiden e propriedades de sua madeira**. 2005. 167 p. Tese (Pós-Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

WARDROP, A. B. Cellular differentiation in xylem. In: CÔTE, W.A. (Ed.). **Cellular ultrastructure of woody plants**. Syracuse, New York: Syracuse University, 1965. p. 61-97.

CAPÍTULO 7

RESISTÊNCIA MECÂNICA DE ÁRVORES DE CLONES DE *Eucalyptus* CULTIVADAS EM DIFERENTES TOPOGRAFIAS EM RELAÇÃO ÀS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA

1 RESUMO

FERREIRA, Sérgio. **Resistência mecânica de árvores de clones de *Eucalyptus* cultivadas em diferentes topografias em relação às características da madeira.** In: _____: Lenho de tração em *Eucalyptus* cultivado em diferentes topografias. 2007. Cap. 6, p. 125-145. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o momento na ruptura das árvores e sua relação com a excentricidade da medula, a densidade básica, a contração volumétrica, o módulo de elasticidade em flexão estática, o módulo de ruptura, o comprimento de fibras, o diâmetro do lume, a espessura da parede da fibra, o ângulo microfibrilar e o teor de lignina. A resistência mecânica das árvores foi determinada a partir da simulação do efeito do vento sobre as mesmas, medindo-se a força necessária para produzir a quebra ou a deformação permanente. Para as árvores dos quatro clones estudados pôde-se concluir que: *i*) a altura média de quebra das árvores foi igual a 2,5 m, a força de quebra média foi igual a 69,6 kgf e o módulo na ruptura médio foi igual a 464,1 kgf.cm⁻²; *ii*) a força de quebra média aumenta com a inclinação do terreno, enquanto o módulo na ruptura apresenta-se maior na encosta leve do que na encosta forte e na baixada; *iii*) o clone 129 apresentou, destacadamente, o mais alto momento na ruptura e *iv*) várias associações entre módulo na ruptura das árvores e as características da madeira foram identificadas. As associações mais evidentes foram que a contração volumétrica e o diâmetro do lume que se relacionam inversamente com o módulo na ruptura.

Comitê de Orientação: José Tarcísio Lima (Orientador) - UFLA, Paulo Fernando Trugilho - UFLA e José Reinaldo Moreira da Silva - UFLA

MECHANICAL RESISTANCE OF THE *Eucalyptus* CLONES TREES CULTIVATED ON DIFFERENT TOPOGRAPHIES RELATED TO THE WOOD CHARACTERISTICS

2 ABSTRACT

Ferreira, Sérgio. **Mechanical resistance of the *Eucalyptus* clones trees cultivated on different topographies related to the wood characteristics.** In: _____. Tension wood in *Eucalyptus* cultivated on different topographies. 2007. Chap. 6 p. 125-145. Thesis (Doctorate in Wood Science and Technology) Federal University of Lavras, Lavras, MG.

The objective of this chapter was to evaluate the failure moment of the trees and its relationship with the pith eccentricity, basic density, volumetric shrinkage, modulus of elasticity in static bending, modulus of rupture, fiber dimensions, microfibril angle and lignin contents. The mechanical resistance of the trees, to the forces trying to simulate the wind action, was measured pulling the tree up to produce their rupture or permanent deformation. For the trees of the four clones it can be concluded that: *i*) the average height of rupture was equal to 2.5 m; the average force of rupture was equal to 69.6 kgf; the modulus in the rupture was 464.1 kgf.cm⁻²; *ii*) the average rupture force increases with the terrain inclination; the modulus in the rupture is higher for slight slope than for heavy slope or flat land; *iii*) clone 129 stand out as the more strong; *iv*) several associations between the modulus in the rupture and the characteristics of wood were identified. The most evident were the volumetric shrinkage and lumen diameter, which related inversely with the modulus in the rupture.

Guidance Committee: José Tarcísio Lima (Orientador) - UFLA, Paulo Fernando Trugilho - UFLA and José Reinaldo Moreira da Silva - UFLA

3 INTRODUÇÃO

Um dos principais danos causados pelas tempestades refere-se ao arrancamento e à quebra de árvores em áreas florestadas. Acredita-se que, devido ao aquecimento global, os riscos de tempestades mais fortes e frequentes estejam aumentando (Agster et al., 2003).

Tem sido relatado (Melo, 2004) que às árvores de clones de *Eucalyptus* plantadas na região do Vale do Rio Doce, expostas à ação de tempestades, sofrem esta influência, principalmente quando atingem a idade de dois anos. As propriedades da madeira sofrem influência das características genéticas e ambientais, como também da interação desses dois fatores.

O conhecimento das características dos lenhos relacionadas aos fatores ambientais é importante na identificação da causa dos colapsos ocorridos em clones plantados em diferentes topografias. A compreensão do fenômeno da destruição de árvores e de florestas, causada por tempestades, depende de esforços multidisciplinares envolvendo conhecimentos sobre aerodinâmica, física, engenharia florestal, engenharia civil, fisiologia e ecologia (Agster et al., 2003). As abordagens e as metodologias a serem empregadas é que permitirão o desenvolvimento no campo da interação entre árvores e ventos.

A relação entre as propriedades da madeira e a força necessária para provocar o colapso das árvores pode contribuir para elucidar as causas das quebras das mesmas quando expostas à ação de tempestades.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de comparar a resistência mecânica das árvores com as propriedades de sua madeira, em quatro clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

Mattheck et al. (2003) relatam resultados de diagnósticos de avaliações de segurança de árvores pelo método *Visual Tree Assessment*, ou VTA. Este método é baseado no axioma da tensão uniforme, que é a principal regra de design para sistemas biológicos que suportam cargas. Segundo esses autores, o crescimento adaptativo a cargas em estruturas vivas anexa mais material em partes sobrecarregadas e menos, ou mesmo nenhum material, em partes subcarregadas da estrutura. Uma tensão uniforme pode ser alcançada, mantida ou restaurada após um distúrbio. Nesse sentido, a árvore tenta ser uma cadeia de elos igualmente fortes. Entretanto, defeitos, injúrias ou simplesmente a falta de suprimento de material (causada pelo crescimento fototrópico) pode levar a uma distribuição não uniforme de carga e isso pode causar ruptura.

Para prever a possibilidade de ruptura, um profundo entendimento dos modos de ruptura e dos critérios de falhas relacionados é necessário (Mattheck et al., 2003). Esses autores delineiam o estado do conhecimento sobre esse tema. Segundo eles, uma árvore pode ser derrubada se o caule for oco, apresentar fendas, apresentar perda de tensões de crescimento ou ocorrer ruptura dos elos que mantêm sua placa radicular conectada ao restante do solo.

Falhas de compressão podem ser causadas por ventos fortes e ou freqüentes, e aparecem quando ocorrem deflexões de grandes caules (Arnold, 2003). Neste caso, a resultante da deflexão excede a resistência à compressão do lenho, levando à sua ruptura. Árvores ou madeiras serradas com essas falhas tornam-se enfraquecidas e mais suscetíveis a futuros esforços, quando podem romper-se bruscamente.

A força para arrancar uma árvore de sitka spruce (*Picea sitchensis*) morro acima requer um momento de derrubada 25% maior do que o necessário para derrubar árvores equivalentes puxadas morro abaixo (Achim et al., 2003).

Em várias regiões onde plantações de eucalipto são estabelecidas, como, por exemplo, no Vale do Rio Doce, em Minas Gerais, terrenos inclinados e a ação de ventos dominantes favorecem a formação do lenho de tração, conforme evidências apresentadas por Melo (2004).

As dimensões e os arranjos celulares das fibras estão diretamente relacionados com o comportamento físico e mecânico da madeira. Melo (2004), estudando clones de *Eucalyptus* aos dois anos de idade, verificou que a maior resistência à ação de tempestades está relacionada a fibras mais longas e lúmens mais estreitos. Conforme Lima (1999), a espessura da parede e o diâmetro da fibra apresentam a tendência de se relacionarem com a densidade e com as propriedades mecânicas da madeira.

As árvores de *Eucalyptus*, em geral, apresentam um formato cônico e, para analisar o momento na ruptura de elementos engastados-livres de seção circular cônica, pode ser utilizado o módulo de ruptura desses materiais, conforme Schiel (1984).

5 MATERIAL E MÉTODOS

Conforme descrito no Capítulo 1, duas árvores foram selecionadas para serem quebradas, utilizando-se o seguinte método:

- com o auxílio de uma régua marcada a 85% de sua altura, identificou-se a posição na copa da árvore onde deveria ser amarrada uma corda;
- uma linha de náilon com um peso de chumbo numa das pontas foi acoplada a um molinete e arremessada por um estilingue. O arremessador lançava o peso de chumbo sobre o galho mais próximo, a 85% de altura da árvore;

- após a ponta da linha com o peso passar pelo referido galho, o peso deslizava até que atingisse o solo. Substituiu-se, então, o peso por uma corda mais grossa, que era conectada a esta ponta da linha;

- utilizando-se o molinete, recolhia-se a linha, arrastando com ela a corda. Fez-se, então, uma laçada com a corda grossa, amarrando-a na copa da árvore, a 85% de sua altura;

- projetou-se, então, a altura da árvore no solo (altura de ancoragem), determinando-se o local onde a sua copa tocaria o solo no momento da queda. Neste local, amarrou-se outra corda grossa em duas árvores vizinhas (Figura 7.1);

- nesta corda grossa, colocou-se uma roldana, a qual passou a corda que prendia a copa da árvore a ser derrubada;

- numa árvore distanciada a, aproximadamente, três metros à frente das duas árvores vizinhas, foi amarrado um dinamômetro com outra roldana, na qual passava a corda que prendia a árvore a ser derrubada (Figura 7.1);

- a partir daí, a corda foi tracionada, identificando-se os estágios de tombamento da árvore e a força necessária para atingi-lo;

- o primeiro estágio foi identificado quando a árvore começava a se curvar;

- o segundo estágio ocorria quando a copa da árvore tombava, isto é, se inclinava no sentido do solo;

- o terceiro estágio era identificado quando a copa da árvore atingia o solo ou quando ela se quebrava. Em cada estágio, a força indicada no dinamômetro foi anotada (Figuras 7.1 e 7.2).

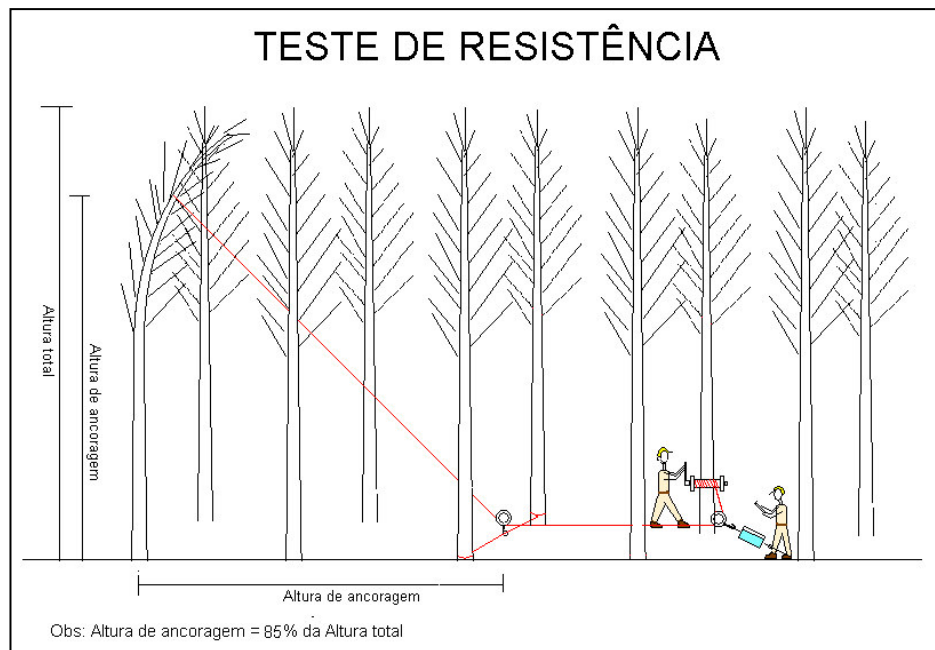


FIGURA 7.1 Esquema de quebra da árvore (Fonte: Rosado, 2006).



FIGURA 7.2 Processo de quebra das árvores.

No caso da árvore quebrar antes de encostar o solo, foi registrada a força necessária para a árvore se curvar, tombar a copa e quebrar. Era possível que a árvore não se quebrasse. Neste caso, anotava-se a força necessária para curvar a árvore, para tombar a sua copa e também a força necessária para que a copa da árvore tocasse o solo.

A força de deformação permanente foi considerada no momento da quebra da árvore, antes da sua copa tocar o solo ou quando a sua copa tocava o solo. Nestas duas situações, a árvore adquiria uma deformação permanente, não retornando à sua posição original. Após esse procedimento, foram anotadas a altura total da árvore, a altura de amarração da corda ou altura de ancoragem e a altura de quebra, caso esta ocorresse.

O momento na ruptura (MR), em kgf/cm², foi calculado pelo módulo de ruptura para elementos engastados-livres de seção circular cônica, pela Equação 2.

$$MR = 32 \times \pi^2 \times \frac{P \times L}{C^3} \quad (2)$$

em que:

P = força aplicada na ruptura da peça;

L = altura do engastamento até a aplicação da força;

C = circunferência no engastamento.

Após a coleta de dados, foi feita a análise estatística, conforme descrito no Capítulo 1 e a análise gráfica da comparação entre as características da madeira e a resistência das árvores à quebra.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A força do vento atua na copa das árvores e, quando estas apresentam folhas mais espaçadas, produz um efeito de menor intensidade sobre tronco. Sanz et al. (2003), em um estudo sobre modelagem do efeito de ventos em *Populus*, definem essa distribuição das folhas na copa como porosidade. No teste realizado neste trabalho, observou-se que a força utilizada atua diretamente no tronco das árvores, indicando que os resultados encontrados se aproximam do que normalmente ocorre no campo, mas que não são idênticos, devido às diferenças na origem das forças aplicadas.

Os valores médios das características das duas árvores coletadas por clone nos três tipos de inclinação do terreno encontram-se na Tabela 7.1. Observa-se que a altura média dos clones foi de 17,54 m, tendo o clone 1274 apresentado a maior altura (18,59 m) e a menor foi observada no clone 57 (16,62 m). O diâmetro médio das árvores foi de 11,7 cm, tendo o clone 129 apresentado o maior diâmetro entre os clones (12,37 cm) e o menor diâmetro foi do clone 57 (11,20 cm).

A altura média de amarração dos clones foi de 12,69 m, tendo o clone 1274 sido o que apresentou o maior valor médio (13,94 m) e o menor foi o clone 57 (11,40 m). No clone 57, a maior média de altura de amarração foi obtida na baixada (11,70 m); no clone 129, foi obtida na encosta forte (12,56 m); no clone 386, foi obtida na encosta leve (13,81 m) e, no clone 1274, foi obtida na encosta forte (14,67 m).

TABELA 7.1: Médias das características das árvores de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes inclinações de terreno.

CL	T	HT	HA	CE	D	FQD	MR
57	B	17,25	11,70	38,12	11,43	45,0	296,6
	EL	16,01	10,85	37,17	11,07	57,5	383,3
	EF	16,60	11,65	36,90	11,11	75,0	549,3
	Média	16,62	11,40	37,39	11,20	59,2	409,7
129	B	16,44	11,26	38,77	11,62	92,5	567,6
	EL	16,67	12,01	43,75	13,06	87,5	395,2
	EF	17,16	12,56	41,46	12,42	90,0	508,2
	Média	16,75	11,94	41,33	12,37	90,0	490,3
386	B	17,46	12,93	35,79	10,83	55,0	491,3
	EL	18,98	13,81	38,41	11,70	65,0	501,4
	EF	18,19	13,72	39,34	11,86	62,5	444,2
	Média	18,21	13,48	37,84	11,46	60,8	479,0
1274	B	19,36	14,34	37,90	11,54	57,5	477,3
	EL	17,78	12,83	40,06	11,91	72,5	448,9
	EF	18,63	14,67	40,95	12,18	75,0	506,4
	Média	18,59	13,94	39,63	11,88	68,3	477,5
Média geral		17,54	12,69	39,05	11,73	69,6	464,1
cv		6,0	10,7	1,8	2,9	20,4	7,9

CL = clone; T = topografia; B = baixada; EL = encosta leve; EF = encosta forte; cv = coeficiente de variação (%); HT = altura total (m); HA = altura de amarração (m); CE = circunferência no engastamento (cm); D = diâmetro à altura de 1,30 m (cm); FQD = força de quebra ou deformação (kgf); MR = momento na ruptura (kgf.cm²).

A altura média de quebra das árvores foi de 2,5 m e a maior média entre os clones foi encontrada no clone 1274 (3,1 m), que foi também o mais alto; a menor altura de quebra foi do clone 129 (1,9 m), que foi apenas ligeiramente mais alto do que o clone 57, que foi considerado o mais baixo.

A força de quebra ou de deformação (Tabela 7.1) apresentou média entre clones e topografias igual a 69,6 kgf, tendo o clone 129 apresentado a

maior média (90,0 kgf) e o clone 57, a menor (59,2 kgf). De acordo com Melo (2004), o clone 129, embora não avaliado diretamente em seu estudo, apresenta o melhor comportamento frente às tempestades. De acordo com a mesma autora, o clone 57, entre cinco avaliados, apresenta tolerância às tempestades medianamente baixa.

Entre topografias, observou-se tendência de a força de quebra aumentar com a inclinação do terreno (Tabela 7.1). No clone 57, a maior força ocorreu na encosta forte, com 75,0 kgf e a menor, na baixada, com 45,0 kgf. Já no clone 129, a maior força ocorreu na baixada com 92,5 kgf e a menor na encosta leve, com 87,5 kgf. No clone 386, a maior força de quebra ou deformação ocorreu na encosta leve, com 65,0 kgf e a menor, na baixada, com 55,0 kgf. Já no clone 1274, a maior força ocorreu na encosta forte, com 75,0 kgf e a menor, na baixada, com 57,5 kgf.

O momento na ruptura médio, indicativo da resistência à flexão, entre clones e topografias foi igual a 464,1 kgf.cm² (Tabela 7.1). O maior momento na ruptura da madeira ocorreu no clone 129 e o menor, no clone 57.

Entre topografias, o maior momento na ruptura foi apresentado para as árvores de encosta forte. O clone 129 se destaca em baixada com alto momento na ruptura, com 567,6 kgf.cm², o maior valor apresentado pelos clones, enquanto o clone 57 apresentou a menor média com 296,6 kgf.cm². Nos clones 57 e 1274, o maior valor do momento na ruptura ocorreu na encosta forte; no clone 386, o maior MR ocorreu na encosta leve, com 501,4 kgf.cm².

O resumo dos resultados da análise de variância do momento na ruptura entre clones e topografias é apresentado na Tabela 7.2.

TABELA 7.2 Resumo dos resultados da análise de variância do momento na ruptura (MR) entre clones (C) de *Eucalyptus* e topografias (T) (g.l. topografia = 2; g.l. clone = 3; g.l. topografia × clone = 6; g.l. erro = 12). Colocar a tabela da análise de variância

Característica	Fontes de variação		
	Topografia	Clone	T x C
MR	ns	ns	ns

Em que: ns – não significativo.

Observa-se que os momentos na ruptura das árvores plantadas nos três tipos de inclinação do terreno, nos quatro clones e na interação topografia × clone, não diferem entre si.

Verifica-se, nas Figuras 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.7, 7.8, 7.9 e 7.10, a relação do momento na ruptura com as características da madeira analisadas nos capítulos 2, 3, 4, 5 e 6. Os valores destas características são as médias dos clones na baixada, na encosta leve e na encosta forte.

Na Figura 7.3 comparam-se o momento na ruptura e a excentricidade da medula de árvores de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes inclinações de terreno. Observa-se que o comportamento dos clones nos diferentes tipos de topografia não apresentou tendência de relação entre o momento na ruptura e a excentricidade da medula.

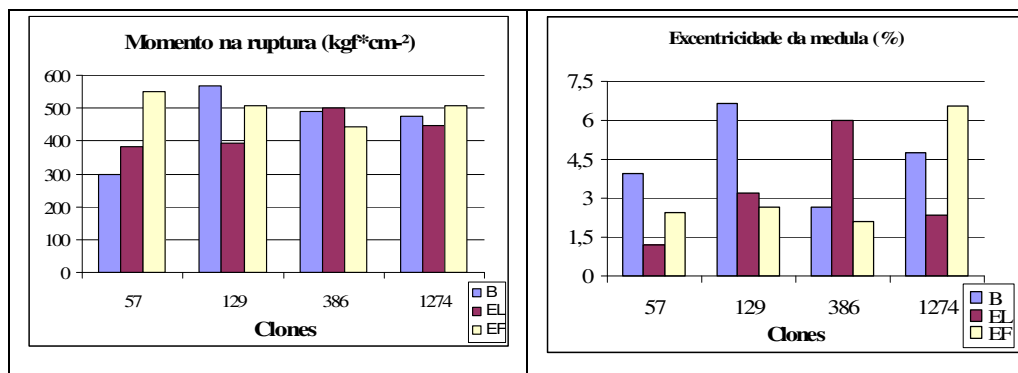


FIGURA 7.3 Momento na ruptura e excentricidade da medula das árvores de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes inclinações de terreno.

Os gráficos da Figura 7.4 representam a comparação entre o momento na ruptura e a densidade básica da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes inclinações de terreno.

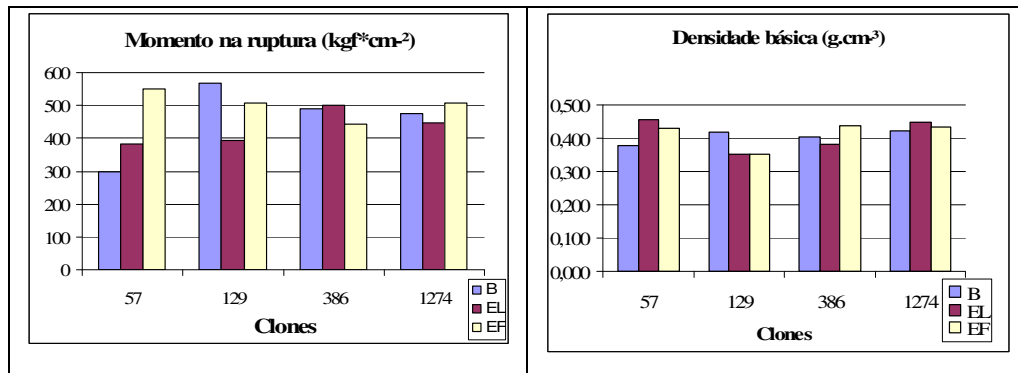


FIGURA 7.4 Momento na ruptura e densidade básica da madeira das árvores de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes inclinações de terreno.

Nos gráficos da Figura 7.4 verifica-se que, no clone 57, o momento na ruptura foi menor na baixada e o mesmo ocorreu com a densidade básica. Para o clone 129, o momento na ruptura foi maior na baixada que nas encostas, relacionando-se com a densidade básica onde ocorreu o mesmo comportamento. Para os clones 386 e 1274, o momento na ruptura apresentou comportamento semelhante nos tipos de topografia e o mesmo ocorreu na densidade básica.

De maneira geral, a densidade básica não confirmou os resultados do momento na ruptura nos clones. Era esperado que quanto maior fosse a densidade, maior seria o módulo na ruptura. É possível que outros fatores, associados ou não com a densidade, estejam afetando o módulo na ruptura.

Na Figura 7.5 faz-se a comparação entre o momento na ruptura e a contração volumétrica da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes inclinações de terreno.

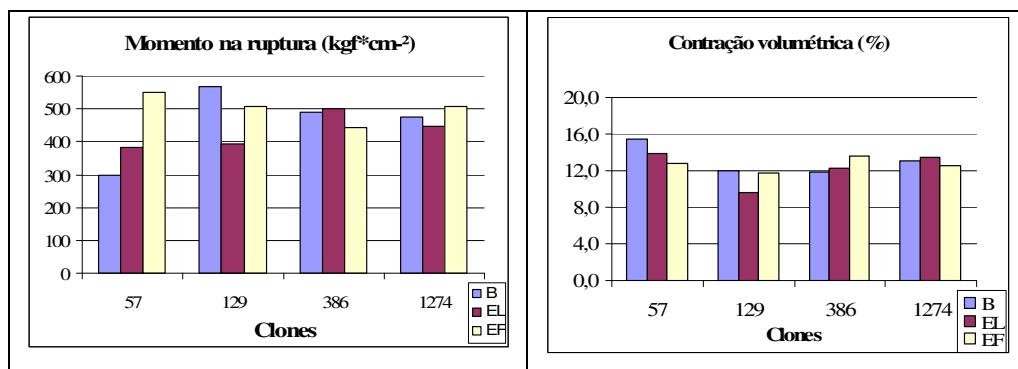


FIGURA 7.5 Momento na ruptura e a contração volumétrica da madeira das árvores de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes inclinações de terreno.

Pelos gráficos da Figura 7.5 observa-se que, para os clones 57, 386 e 1274, as contrações apresentaram um comportamento inverso ao do momento na ruptura. No clone 129, a contração apresentou comportamento semelhante ao momento na ruptura. Nos clones 57 e 1274, a contração volumétrica apresentou tendência de aumentar da encosta forte para a baixada e, no momento na ruptura, houve tendência de aumentar, da baixada para a encosta forte. No clone 386, as contrações apresentaram tendência de aumentarem da baixada para a encosta forte e, no momento da ruptura, ocorreu o inverso.

Na Figura 7.6 apresenta-se a comparação entre o momento na ruptura e o módulo de elasticidade em flexão da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus* cultivados na baixada, na encosta leve e na encosta forte.

Observando-se os gráficos da Figura 7.6 nota-se que, no módulo de elasticidade em flexão, houve tendência de comportamento semelhante dos clones 57 com o momento na ruptura das árvores. Já nos clones 129 e 386, o módulo de elasticidade em flexão se comportou de maneira inversa ao momento na ruptura, nos três tipos de topografia. Para o clone 1274, parece que não existe efeito da topografia para as duas características.

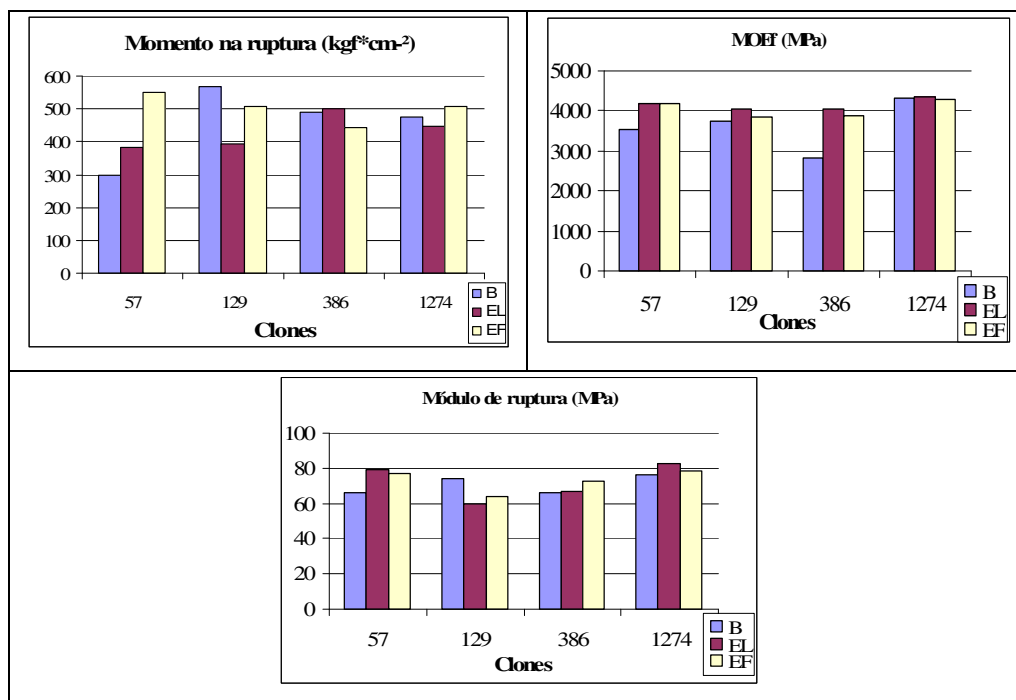


FIGURA 7.6 Momento na ruptura, módulo de ruptura e módulo de elasticidade em flexão da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes inclinações de terreno.

A comparação entre o momento na ruptura e o módulo de ruptura revela que, para os clones 57 e 129, ocorre relação direta entre as características, enquanto que, para os clones 386 e 1274, a relação parece ser inversa (Tabela 7.6)

Na Figura 7.7 é apresentada a comparação entre o momento na ruptura das árvores e as dimensões das fibras da madeira dos clones de *Eucalyptus* cultivados na baixada, na encosta leve e na encosta forte.

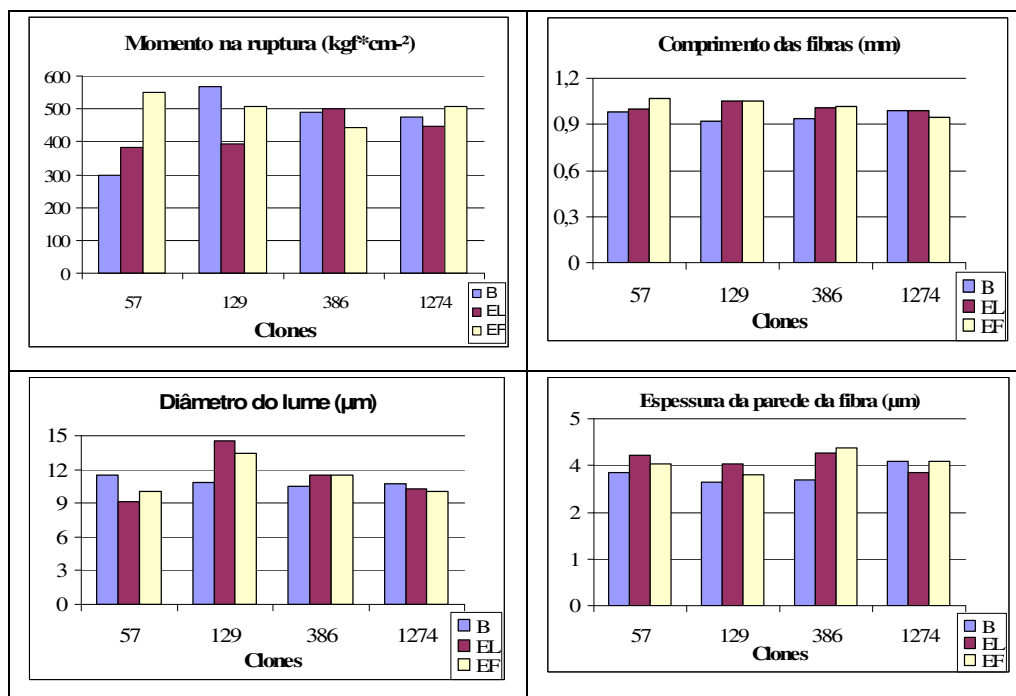


FIGURA 7.7 Momento na ruptura e dimensões das fibras da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes inclinações de terreno.

Pelos gráficos da Figura 7.7, comparando-se o momento na ruptura com o comprimento das fibras e a espessura da parede na baixada, na encosta leve e na encosta forte, nota-se que o comportamento não é semelhante, mas, com o diâmetro do lume, nota-se uma tendência para um comportamento inverso. Portanto, quando o diâmetro do lume das fibras da madeira aumenta da baixada para a encosta forte, há tendência de o momento na ruptura aumentar da encosta forte para a baixada. Melo (2004) encontrou correlação inversa e significativa entre o diâmetro do lume de clones de *Eucalyptus* e a tolerância das árvores às tempestades.

Na Figura 7.8 faz-se comparação entre o momento na ruptura das árvores e o ângulo das microfibrilas das fibras das árvores de clones de *Eucalyptus* cultivados na baixada, na encosta leve e na encosta forte.

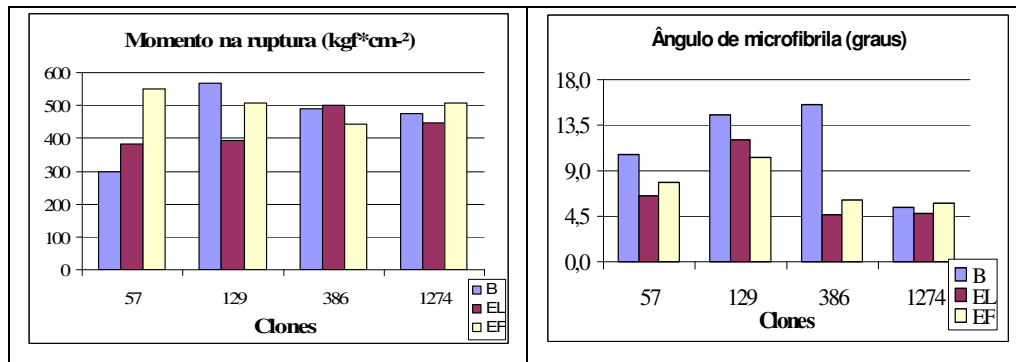


FIGURA 7.8 Momento na ruptura e ângulo das microfibrilas das fibras de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes inclinações de terreno.

Observa-se, nos gráficos da Figura 7.8, que, entre os clones analisados, o clone 1274 apresentou comportamento semelhante do momento na ruptura e o ângulo microfibrilar, nos três tipos de topografia. Já os demais clones não apresentaram comportamento de ângulo microfibrilar que fosse semelhante ao momento na ruptura nos três tipos de topografia.

A comparação entre o momento na ruptura das árvores e o teor de lignina da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus* cultivados na baixada, na encosta leve e na encosta forte pode ser observar na Figura 7.9.

Observa-se, pelos gráficos da Figura 7.9, que o teor de lignina solúvel apresentou tendência de se comportar de maneira inversa ao momento na ruptura. Este fato se destaca principalmente no clone 57, no qual o teor de lignina solúvel cresce da encosta forte para a baixada e o momento na ruptura apresentou comportamento inverso.

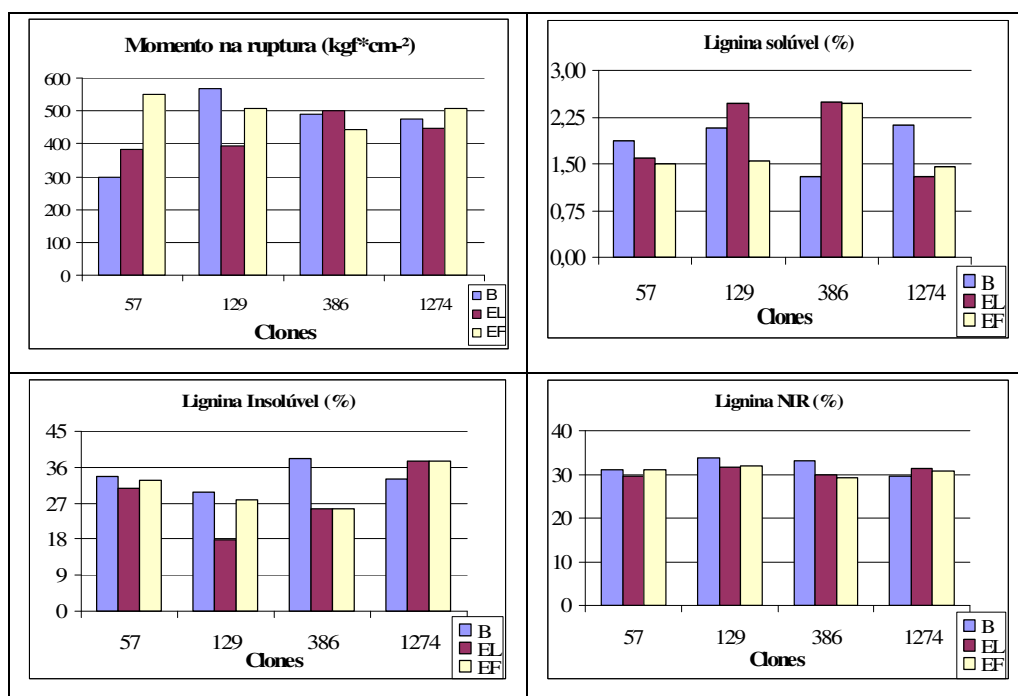


FIGURA 7.9 Momento na ruptura e o teor de lignina da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes inclinações de terreno.

As características de teor de lignina insolúvel e teor de lignina total, predito pelo espectrofotômetro de infravermelho próximo (NIR), apresentaram semelhança de comportamento com o momento na ruptura no clone 129. O menor valor médio de lignina foi observado na encosta leve e o maior na baixada.

7 CONCLUSÕES

Analisando-se os resultados obtidos pôde-se concluir que:

- a altura média de quebra das árvores foi igual a 2,5 m, a força de quebra média foi igual a 69,6 kgf e o módulo na ruptura médio foi igual a 464,1 kgf.cm²;

- a força de quebra média aumenta com a inclinação do terreno; enquanto o módulo na ruptura apresenta-se maior na encosta leve do que na encosta forte e na baixada;

- o clone 129 apresentou, destacadamente, o mais alto momento na ruptura;

- várias associações foram identificadas para as comparações entre módulo na ruptura das árvores e as características da madeira. As mais evidentes foram que a contração volumétrica e o diâmetro do lume se relacionam inversamente com o módulo na ruptura.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGSTER, W.; FRANK, C.; HEWEDA, P.; IKHWAN, M.; RUCK, B. Preface. In: INTERNATIONAL CONFERENCE WIND EFFECTS ON TREES, 2003, Karlsruhe. **Proceedings...** Karlsruhe, Alemanha: University of Karlsruhe, Alemanha/Laboratory of Building and Environmental Aerodynamics/Institute for Hidromechanics, 2003. 375 p.

ACHIM, A.; NICOLL, B.; MOCHAN, S.; GARDINER, B. Wind stability of trees on slopes. In: INTERNATIONAL CONFERENCE WIND EFFECTS ON TREES, 2003, Karlsruhe. **Proceedings...** Karlsruhe, Alemanha: University of Karlsruhe, Alemanha/Laboratory of Building and Environmental Aerodynamics/Institute for Hidromechanics, 2003. p. 231-238.

ARNOLD, M. Compression failures in wind-damaged spruce trees. In: INTERNATIONAL CONFERENCE WIND EFFECTS ON TREES, 2003, Karlsruhe. **Proceedings...** Karlsruhe, Alemanha: University of Karlsruhe, Alemanha/Laboratory of Building and Environmental Aerodynamics/Institute for Hidromechanics, 2003. p. 253-260.

LIMA, J. T. **Clonal variation in the solid wood properties of *Eucalyptus***. 1999. 276 p. Thesis (Doctor in wood science) – University of Wales, Bangor.

MATTHECK, C.; BETHGE, K.; KAPPEL, R.; MUELLER, P.; TESARI, I. Failure modes for trees and related criteria. In: INTERNATIONAL CONFERENCE WIND EFFECTS ON TREES, 2003, Karlsruhe. **Proceedings...** Karlsruhe, Alemanha: University of Karlsruhe, Alemanha/Laboratory of Building and Environmental Aerodynamics/Institute for Hidromechanics, 2003. p. 219-230.

MELO, V. M. **Variações nas propriedades da Madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades**. 2004. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

ROSADO, A. M. **Avaliação da tolerância de árvores de eucalipto a quebra por vento**. 2006, 43 p. Monografia (Especialista) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa MG.

SANZ, T. G.; ANDRES, S. A.; CAÑADAS, M. F.; ORTIZ, M. A.G. Wind effects on Populus sp. In: INTERNATIONAL CONFERENCE WIND EFFECTS ON TREES, 2003, Karlsruhe. **Proceedings...** Karlsruhe, Alemanha: University of Karlsruhe, Alemanha/Laboratory of Building and Environmental Aerodynamics/Institute for Hidromechanics, 2003. p. 167-173.

SCHIEL, F. **Introdução à resistência dos materiais**. São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1984. p. 108–112.

ANEXOS

ANEXO A			Página
TABELA	3.1A	Resumo da análise de variância da densidade básica (g/cm^3) da madeira de <i>Eucalyptus</i> plantados em diferentes topografias.....	149
TABELA	3.2A	Comparação das médias da densidade básica (g/cm^3) da madeira de <i>Eucalyptus</i> cultivados em diferentes topografias.....	149
TABELA	3.3A	Resumo da análise de variância da contração volumétrica (%) da madeira de <i>Eucalyptus</i> cultivados em diferentes topografias.....	150
TABELA	3.4A	Comparação das médias da contração volumétrica (%) da madeira de <i>Eucalyptus</i> cultivados em diferentes topografias.....	150
TABELA	3.5A	Comparação das médias da contração radial (%) da madeira de <i>Eucalyptus</i> cultivados em diferentes topografias.....	151
TABELA	3.6A	Resumo da análise de variância do módulo de elasticidade em flexão estática (Mpa) da madeira <i>Eucalyptus</i> cultivados em diferentes topografias.....	151
TABELA	3.7A	Resumo da análise de variância do módulo de ruptura (Mpa) da madeira <i>Eucalyptus</i> plantados em diferentes topografias.....	152
TABELA	3.8A	Comparação das médias do módulo de ruptura (MPa) da madeira de <i>Eucalyptus</i> cultivados em diferentes topografias.....	152
TABELA	4.1A	Resumo da análise de variância do comprimento de fibra (mm) da madeira <i>Eucalyptus</i> plantados em diferentes topografias.....	153
TABELA	4.2A	Comparação das médias do comprimento de fibra (mm) da madeira de <i>Eucalyptus</i> cultivados em diferentes topografias.....	153
TABELA	4.3A	Resumo da análise de variância do diâmetro do lume da fibra (μm) da madeira <i>Eucalyptus</i> plantados em diferentes topografias.....	154
TABELA	4.4A	Comparação das médias do diâmetro do lume de fibra (μm) da madeira de <i>Eucalyptus</i> cultivados em diferentes topografias.....	154

TABELA	4.5A	Resumo da análise de variância da espessura da parede da fibra (μm) da madeira <i>Eucalyptus</i> plantados em diferentes topografias.....	155
TABELA	4.6A	Comparação das médias da espessura da parede da fibra (μm) da madeira de <i>Eucalyptus</i> cultivados em diferentes topografias.....	155
TABELA	5.1A	Resumo da análise de variância do ângulo da microfibrila (graus) da madeira <i>Eucalyptus</i> plantados em diferentes topografias.....	156
TABELA	5.2A	Comparação das médias do ângulo da microfibrila (graus) da madeira de <i>Eucalyptus</i> cultivados em diferentes topografias.....	157
TABELA	6.1A	Resumo da análise de variância do teor de lignina insolúvel (%) da madeira <i>Eucalyptus</i> plantados em diferentes topografias.....	158
TABELA	6.2A	Comparação das médias do teor de lignina insolúvel (%) da madeira de <i>Eucalyptus</i> cultivados em diferentes topografias.....	158
TABELA	6.3A	Resumo da análise de variância do teor de lignina solúvel (%) da madeira <i>Eucalyptus</i> plantados em diferentes topografias.....	159
TABELA	6.4A	Comparação das médias do teor de lignina insolúvel (%) da madeira de <i>Eucalyptus</i> cultivados em diferentes topografias.....	160
TABELA	6.5A	Resumo da análise de variância do teor de lignina na madeira estimada pelo NIR (%) da madeira <i>Eucalyptus</i> plantados em diferentes topografias.....	161
TABELA	6.6A	Comparação das médias do teor de lignina na madeira estimada pelo NIR (%) da madeira de <i>Eucalyptus</i> cultivados em diferentes topografias.....	161
TABELA	6.7A	Lignina total (%) na madeira de <i>Eucalyptus</i> em relação aos clones, tipos de lenho, posição de amostragem nos discos e às topografias.....	162

ANEXO B			Página
FIGURA	2.1 B	Média da excentricidade da medula (%) de 4 clones de <i>Eucalyptus</i> , para topografia dentro de clone, cultivados na baixada (B), na encosta leve (EL) e na encosta forte (EF).....	163
FIGURA	3.1 B	Densidade básica das madeiras de clones de <i>Eucalyptus</i> cultivados em diferentes inclinações de terreno e em diferentes posições da tora.....	164
FIGURA	3.2 B	Contração volumétrica das madeiras de clones de <i>Eucalyptus</i> cultivados em diferentes topografias	164
FIGURA	3.3 B	Módulo de elasticidade (MPa) em flexão estática das madeiras de clones de <i>Eucalyptus</i> cultivados em diferentes topografias.....	165
FIGURA	3.4 B	Módulo de ruptura (MPa) das madeiras de clones de <i>Eucalyptus</i> cultivados em diferentes topografias.....	165
FIGURA	4.1 B	Comprimento das fibras (mm) das madeiras de clones de <i>Eucalyptus</i> cultivados em diferentes topografias	166
FIGURA	4.2 B	Diâmetro do lume (μm) das fibras de clones de <i>Eucalyptus</i> cultivados em diferentes topografias	166
FIGURA	4.3 B	Espessura da parede das fibras (μm) de clones de <i>Eucalyptus</i> cultivados em diferentes topografias.....	167
FIGURA	5.1 B	Ângulo das microfibrilas das fibras de clones de <i>Eucalyptus</i> cultivados em diferentes topografias	167
FIGURA	6.1 B	Lignina insolúvel (%) da madeira de clones de <i>Eucalyptus</i> cultivados em diferentes topografias	168
FIGURA	6.2 B	Lignina solúvel (%) da madeira de clones de <i>Eucalyptus</i> cultivados em diferentes topografias.....	168
FIGURA	6.3 B	Predição dos valores de lignina total pelo NIR na madeira de clones de <i>Eucalyptus</i> cultivados em diferentes topografias.....	169

TABELA 3.1A Resumo da análise de variância da densidade básica (g/cm³) da madeira *Eucalyptus* plantados em diferentes topografias.

Fonte de variação	GL	Baixada		Encosta leve		Encosta forte	
		QM		QM		QM	
Clone	3	0,006935	**	0,041343	**	0,027699	**
Lenho	1	0,002151	*	0,001712	ns	0,001775	ns
Posição	1	0,005458	*	0,003615	*	0,016480	**
Clone × Lenho	3	0,000266	ns	0,001032	ns	0,000484	ns
Clone × Posição	3	0,000635	ns	0,000291	ns	0,002086	*
Lenho × Posição	1	0,000749	ns	0,001454	ns	0,000019	ns
C × L × P	3	0,000376	ns	0,000187	ns	0,000298	ns
Erro	48	0,000493		0,000685		0,000513	
Total corrigido	63						
Cv (%)		5,47		6,41		5,49	

C = clone; L = lenho; P = posição; QM = quadrado médio; cv = coeficiente de variação; * = significância a 5%; ** = significância a 1%.

TABELA 3.2A Comparação das médias da densidade básica (g/cm³) da madeira de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias.

Fonte de variação	Tratamento	Baixada	Encosta leve	Encosta forte
		Média	Média	Média
Clone	57	0,376 a	0,454 c	0,429 b
	129	0,420 b	0,350 a	0,350 a
	386	0,404 b	0,382 b	0,436 b
	1274	0,420 b	0,449 c	0,435 b
Lenho	Oposto	0,400 a		
	Tração	0,411 b		
Posição	Externa	0,415 b	0,416 b	0,428 b
	Interna	0,396 a	0,401 a	0,396 a
Clone × Posição	57 × externa			0,443 b
	57 × interna			0,415 a
	129 × externa			0,360 b
	129 × interna			0,340 a
	386 × externa			0,469 b
	386 × interna			0,403 a
	1274 × externa			0,442 b
	1274 × interna			0,427 a

TABELA 3.3A Resumo da análise de variância da contração volumétrica (%) da madeira de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias.

Fonte de variação	GL	Baixada		Encosta leve		Encosta forte	
		QM		QM		QM	
Clone	3	41,446987	**	57,708097	**	11,283494	*
Lenho	1	15,484225	Ns	3,280627	ns	27,483806	*
Posição	1	131,159756	**	17,212127	*	19,184400	*
Clone × Lenho	3	6,907354	Ns	1,576993	ns	2,001369	ns
Clone × Posição	3	17,369219	*	1,390252	ns	4,839546	ns
Lenho × Posição	1	0,823556	Ns	3,014564	ns	0,555025	ns
C × L × P	3	2,037169	Ns	0,445106	ns	1,310596	ns
Erro	48	3,869068		2,206044		2,597549	
Total corrigido	63						
Cv (%)		14,93		12,06		12,74	

C = clone; L = lenho; P = posição; QM = quadrado médio; cv = coeficiente de variação; * = significância a 5%; ** = significância a 1%.

TABELA 3.4A Comparação das médias da contração volumétrica (%) da madeira de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias.

Fonte de variação	Tratamento	Baixada	Encosta leve	Encosta forte
		Média	Média	Média
Clone	57	15,5 b	13,9 c	12,8 a b
	129	12,0 a	9,7 a	11,6 a
	386	12,1 a	12,3 b	13,6 b
	1274	13,1 a	13,4 b c	12,6 a b
Lenho	Oposto			12,0 a
	Tração			13,3 b
Posição	Externa	11,7 a	11,8 a	12,1 a
	Interna	14,6 b	12,8 b	13,2 b
Clone × Posição	57 × externa	12,5 a		
	57 × interna	18,4 b		
	129 × externa	10,8 a		
	129 × interna	13,2 b		
	386 × externa	11,2 a		
	386 × interna	13,0 a		
	1274 × externa	12,4 a		
	1274 × interna	13,8 a		

TABELA 3.5A Resumo da análise de variância do módulo de elasticidade em flexão estática (Mpa) da madeira *Eucalyptus* plantados em diferentes topografias.

Fonte de variação	GL	Baixada		Encosta leve		Encosta forte	
		QM		QM		QM	
Clone	3	5975094	**	437251	ns	774744	ns
Lenho	1	1300113	*	527765	ns	1480115	*
Posição	1	14097959	**	12304485	**	12474670	**
Clone × Lenho	3	359561	ns	678590	ns	132307	ns
Clone × Posição	3	184067	ns	185455	ns	96196	ns
Lenho × Posição	1	38465	ns	90872	ns	117854	ns
C × L × P	3	145793	ns	6787	ns	69733	ns
Erro	48	208759		314340		345589	
Total corrigido	63						
Cv (%)		12,67		13,51		14,49	

C = clone; L = lenho; P = posição; QM = quadrado médio; cv = coeficiente de variação; * = significância a 5%; ** = significância a 1%.

TABELA 3.6A Comparação das médias do módulo de elasticidade em flexão estática (MPa) da madeira de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias.

Fonte de variação	Tratamento	Baixada	Encosta leve	Encosta forte
		Média	Média	Média
Clone	57	3552 b		
	129	3730 b		
	386	2827 a		
	1274	4309 c		
Lenho	Oposto	3462 a		3906 a
	Tração	3747 b		4210 b
Posição	Externa	4074 b	4588 b	4499 b
	Interna	3135 a	3711 a	3616 a

TABELA 3.7A Resumo da análise de variância do módulo de ruptura (Mpa) da madeira *Eucalyptus* plantados em diferentes topografias.

Fonte de variação	GL	Baixada		Encosta leve		Encosta forte	
		QM		QM		QM	
Clone	3	474,6866	**	1825,6568	**	669,3737	**
Lenho	1	210,9756	*	69,5139	ns	183,6025	*
Posição	1	1053,0025	**	1039,2564	**	2525,0625	**
Clone × Lenho	3	14,0722	ns	35,9451	ns	32,0504	ns
Clone × Posição	3	14,8825	ns	100,6743	*	114,0029	*
Lenho × Posição	1	1,8906	ns	14,5351	ns	2,1025	ns
C × L × P	3	13,8056	ns	15,0089	ns	16,3012	ns
Erro	48	21,4460		31,9072		31,3192	
Total corrigido	63						
Cv (%)		6,55		7,80		7,66	

C = clone; L = lenho; P = posição; QM = quadrado médio; cv = coeficiente de variação; * = significância a 5%; ** = significância a 1%.

TABELA 3.8A Comparação das médias do módulo de ruptura (MPa) da madeira de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias.

Fonte de variação	Tratamento	Baixada	Encosta leve	Encosta forte
		Média	Média	Média
Clone	57	66,22 a	79,39 c	76,83 bc
	129	74,00 b	60,00 a	64,15 a
	386	65,87 a	67,17 b	72,51 b
	1274	76,60 b	83,00 c	78,68 c
Lenho	Oposto	68,86 a		71,35 a
	Tração	72,49 b		74,73 b
Posição	Externa	74,73 b	76,42 b	79,32 b
	Interna	66,62 a	68,36 a	66,76 a
Clone × Posição	57 × externa		86,71 b	81,69 b
	57 × interna		72,08 a	71,98 a
	129 × externa		63,26 b	68,19 b
	129 × interna		56,75 a	60,11 a
	386 × externa		71,41 b	82,58 b
	386 × interna		62,94 a	62,45 a
	1274 × externa		84,31 a	84,85 b
	1274 × interna		81,70 a	72,51 a

TABELA 4.1A Resumo da análise de variância do comprimento de fibra (mm) da madeira *Eucalyptus* plantados em diferentes topografias.

Fonte de variação	GL	Baixada		Encosta leve		Encosta forte	
		QM		QM		QM	
Clone	3	0,020243	ns	0,010718	ns	0,022304	*
Lenho	1	0,000827	ns	0,004389	ns	0,003306	ns
Posição	1	0,315002	**	0,157014	**	0,184900	**
Clone × Lenho	3	0,003531	ns	0,002968	ns	0,006244	ns
Clone × Posição	3	0,004189	ns	0,004468	ns	0,002013	ns
Lenho × Posição	1	0,001314	ns	0,001914	ns	0,000756	ns
C × L × P	3	0,009693	ns	0,001052	ns	0,001902	ns
Erro	48	0,009466		0,004011		0,004680	
Total corrigido	63						
cv (%)		10,14		6,27		6,63	

C = clone; L = lenho; P = posição; QM = quadrado médio; cv = coeficiente de variação; * = significância a 5%; ** = significância a 1%.

TABELA 4.2A Comparação das médias do comprimento de fibra (mm) da madeira de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias.

Fonte de variação	Tratamento	Baixada	Encosta leve	Encosta forte
		Média	Média	Média
Clone	57			1,07 b
	129			1,05 b
	386			1,03 a b
	1274			0,98 a
Lenho	Oposto			
	Tração			
Posição	Externa	1,03 b	1,06 b	1,09 b
	Interna	0,89 a	0,96 a	0,98 a

TABELA 4.3A Resumo da análise de variância do diâmetro do lume da fibra (μm) da madeira *Eucalyptus* plantados em diferentes topografias.

Fonte de variação	GL	Baixada		Encosta leve		Encosta forte	
		QM		QM		QM	
Clone	3	2,943073	ns	86,585625	**	42,996823	**
Lenho	1	1,182656	ns	0,050625	ns	2,847656	ns
Posição	1	24,626406	**	4,202500	ns	1,657656	ns
Clone \times Lenho	3	1,908906	ns	0,703958	ns	1,855156	ns
Clone \times Posição	3	5,131823	*	3,544167	ns	5,117656	*
Lenho \times Posição	1	0,787656	ns	0,062500	ns	0,012656	ns
C \times L \times P	3	0,040573	ns	1,049167	ns	1,457656	ns
Erro	48	1,167031		1,296146		0,865885	
Total corrigido	63						
cv (%)		9,94		10,03		8,30	

C = clone; L = lenho; P = posição; QM = quadrado médio; cv = coeficiente de variação; * = significância a 5%; ** = significância a 1%

TABELA 4.4A Comparação das médias do diâmetro do lume de fibra (μm) da madeira de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias.

Fonte de variação	Tratamento	Baixada	Encosta leve	Encosta forte
		Média	Média	Média
Clone	57		9,04 a	9,99 a
	129		14,76 d	13,42 c
	386		11,56 c	11,48 b
	1274		10,31 b	9,95 a
Lenho	Oposto			
	Tração			
Posição	Externa	11,48 b		
	Interna	10,24 a		
Clone \times Posição	57 \times externa	12,80 b		10,14 a
	57 \times interna	10,16 a		9,84 a
	129 \times externa	10,73 a		14,18 b
	129 \times interna	10,84 a		12,68 a
	386 \times externa	11,01 a		11,83 a
	386 \times interna	9,98 a		11,14 a
	1274 \times externa	11,40 b		9,35 a
	1274 \times interna	10,00 a		10,55 b

TABELA 4.5A Resumo da análise de variância da espessura da parede da fibra (μm) da madeira *Eucalyptus* plantados em diferentes topografias.

Fonte de variação	GL	Baixada		Encosta leve		Encosta forte	
		QM		QM		QM	
Clone	3	1,216042	**	0,793906	**	1,122917	**
Lenho	1	0,015625	ns	0,056406	ns	0,050625	ns
Posição	1	0,525625	*	0,878906	*	1,890625	**
Clone \times Lenho	3	0,039375	ns	0,113490	ns	0,011042	ns
Clone \times Posição	3	0,223542	*	0,296823	*	0,054375	ns
Lenho \times Posição	1	0,005625	ns	0,045156	ns	0,022500	ns
C \times L \times P	3	0,013542	ns	0,100573	ns	0,009583	ns
Erro	48	0,066042		0,103802		0,068750	
Total corrigido	63						
cv (%)		7,47		8,51		7,05	

C = clone; L = lenho; P = posição; QM = quadrado médio; cv = coeficiente de variação; * = significância a 5%; ** = significância a 1%

TABELA 4.6A Comparação das médias da espessura da parede da fibra (μm) da madeira de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias.

Fonte de variação	Tratamento	Baixada	Encosta leve	Encosta forte
		Média	Média	Média
Clone	57	3,51 b	3,96 b	3,68 b
	129	3,20 a	3,74 a b	3,40 a
	386	3,24 a	3,96 b	4,04 c
	1274	3,80 c	3,49 A	3,76 b
Lenho	Oposto			
	Tração			
Posição	Externa	3,53 b	3,90 b	3,89 b
	Interna	3,35 a	3,67 a	3,55 a
Clone \times Posição	57 \times externa	3,46 a	4,05 a	
	57 \times interna	3,56 a	3,86 a	
	129 \times externa	3,43 b	3,86 a	
	129 \times interna	2,99 a	3,63 a	
	386 \times externa	3,29 a	4,25 b	
	386 \times interna	3,20 a	3,66 a	
	1274 \times externa	3,95 b	3,45 a	
	1274 \times interna	3,65 a	3,26 a	

TABELA 5.1A Resumo da análise de variância do ângulo da microfibrila (graus) da madeira *Eucalyptus* plantados em diferentes topografias.

Fonte de variação	GL	Baixada		Encosta leve		Encosta forte	
		QM		QM		QM	
Clone	3	170,190833	**	97,987083	**	34,130833	**
Lenho	1	5,611250	ns	9,245000	ns	10,125000	ns
Posição	1	239,805000	**	72,601250	*	134,480000	**
Clone × Lenho	3	10,908750	*	1,069167	ns	0,739167	ns
Clone × Posição	3	9,515833	*	1,042083	ns	4,910833	ns
Lenho × Posição	1	0,781250	ns	5,780000	ns	2,000000	ns
C × L × P	3	4,168750	ns	2,592500	ns	0,560833	ns
Erro	16	1,681875		5,803750		2,768125	
Total corrigido	31						
cv (%)		11,25		34,38		22,18	

C = clone; L = lenho; P = posição; QM = quadrado médio; cv = coeficiente de variação;

* = significância a 5%; ** = significância a 1%

TABELA 5.2A Comparação das médias do ângulo da microfibrila (graus) da madeira de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias.

Fonte de variação	Tratamento	Baixada	Encosta leve	Encosta forte
		Média	Média	Média
Clone	57	10,59 b	6,55 a	7,81 a
	129	14,56 c	12,09 b	10,30 b
	386	15,55 c	4,59 a	6,04 a
	1274	5,40 a	4,80 a	5,85 a
Lenho	Oposto			
	Tração			
Posição	Externa	8,79 a	5,50 a	5,45 a
	Interna	14,26 b	8,51 b	9,55 b
Clone × Lenho	57 × oposto	11,8 b		
	57 × tração	9,38 a		
	129 × oposto	13,00 a		
	129 × tração	16,13 b		
	386 × oposto	14,85 a		
	386 × tração	16,25 a		
	1274 × oposto	4,78 a		
	1274 × tração	6,03 a		
Clone × Posição	57 × externa	6,88 a		
	57 × interna	14,30 b		
	129 × externa	11,58 a		
	129 × interna	17,55 b		
	386 × externa	12,48 a		
	386 × interna	18,63 b		
	1274 × externa	4,23 a		
	1274 × interna	6,58 b		

TABELA 6.1A Resumo da análise de variância do teor de lignina insolúvel (%) da madeira *Eucalyptus* plantados em diferentes topografias.

Fonte de variação	GL	Baixada		Encosta leve		Encosta forte	
		QM		QM		QM	
Clone	3	101,536146	*	255,243333	**	224,601146	**
Lenho	1	5,695313	ns	1,051250	ns	5,040312	ns
Posição	1	43,477813	ns	13,520000	ns	7,125312	ns
Clone × Lenho	3	1,202812	ns	2,914583	ns	4,738646	ns
Clone × Posição	3	6,688646	ns	0,165000	ns	8,911979	ns
Lenho × Posição	1	22,950312	ns	3,511250	ns	8,100313	ns
C × L × P	3	5,311146	ns	2,661250	ns	6,660313	ns
Erro	16	12,733437		13,073750		7,207812	
Total corrigido	31						
cv (%)		10,60		12,14		8,69	

C = clone; L = lenho; P = posição; QM = quadrado médio; cv = coeficiente de variação; * = significância a 5%; ** = significância a 1%.

TABELA 6.2A Comparação das médias do teor de lignina insolúvel (%) da madeira de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias.

Fonte de variação	Tratamento	Baixada	Encosta leve	Encosta forte
		Média	Média	Média
Clone	57	33,60 a b	30,61 a	32,83 b
	129	29,64 a	25,49 a	27,83 a
	386	38,31 b	25,59 a	25,56 a
	1274	33,16 a	37,46 b	37,43 c

TABELA 6.3A Resumo da análise de variância do teor de lignina solúvel (%) da madeira *Eucalyptus* plantados em diferentes topografias.

Fonte de variação	GL	Baixada		Encosta leve		Encosta forte	
		QM		QM		QM	
Clone	3	4,188911	**	12,084354	**	10,278058	**
Lenho	1	0,030628	ns	0,000113	ns	0,127512	ns
Posição	1	0,121278	ns	0,009112	ns	0,361250	ns
Clone × Lenho	3	0,044353	ns	0,462571	*	0,114237	ns
Clone × Posição	3	0,013153	ns	0,023338	ns	0,109375	ns
Lenho × Posição	1	2,922153	*	4,666513	**	5,136012	**
C × L × P	3	0,186028	ns	0,015521	ns	0,067671	ns
Erro	16	0,265847		0,069162		0,132488	
Total corrigido	31						
cv (%)		24,35		10,08		15,34	

C = clone; L = lenho; P = posição; QM = quadrado médio; cv = coeficiente de variação; * = significância a 5%; ** = significância a 1%.

TABELA 6.4A Comparação das médias do teor de lignina solúvel (%) da madeira de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias.

Fonte de variação	Tratamento	Baixada	Encosta leve	Encosta forte
		Média	Média	Média
Clone	57	1,79 a	1,54 a	1,45 a
	129	3,20 b	3,68 b	2,56 b
	386	1,72 a	3,67 b	3,90 c
	1274	1,76 a	1,55 a	1,58 a
Lenho	Oposto			
	Tração			
Posição	Externa			
	Interna			
Clone × Lenho	57 × Oposto		1,60 a	
	57 × Tração		1,48 a	
	129 × Oposto		3,80 a	
	129 × Tração		3,56 a	
	386 × Oposto		3,32 a	
	386 × Tração		4,02 b	
	1274 × Oposto		1,73 a	
	1274 × Tração		1,37 a	
Lenho × Posição	Oposto × Externa	1,85 a	2,25 a	1,08 a
	Oposto × Interna	2,33 a	2,98 b	2,82 b
	Tração × Externa	2,51 b	3,01 b	2,73 b
	Tração × Interna	1,79 a	2,21 a	2,14 a