



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

WALTER TOREZANI NETO BOSCHETTI

**QUALIDADE DA MADEIRA DE ÁRVORES DE CLONE DE *Eucalyptus grandis* x
Eucalyptus urophylla INCLINADAS POR AÇÃO DE VENTOS PARA PRODUÇÃO
DE CELULOSE**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2014

WALTER TOREZANI NETO BOSCHETTI

**QUALIDADE DA MADEIRA DE ÁRVORES DE CLONE DE *Eucalyptus grandis* x
Eucalyptus urophylla INCLINADAS POR AÇÃO DE VENTOS PARA PRODUÇÃO
DE CELULOSE**

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

Orientador: Dr. Juarez Benigno Paes
Coorientadora: Dra. Graziela Baptista Vidaurre
Coorientador: Dr. José Tarcisio da Silva Oliveira

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2014

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

B742q Boschetti, Walter Torezani Neto, 1987-
Qualidade da madeira de árvores de clone de *Eucalyptus grandis* x
Eucalyptus urophylla inclinadas por ação de ventos para produção de
celulose / Walter Torezani Neto Boschetti. – 2014.
92 f. : il.

Orientador: Juarez Benigno Paes.

Coorientadora: Graziela Baptista Vidaurre.

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

1. Ventos. 2. Propriedades da madeira. 3. Madeira de reação.
4. Celulose – polpa. I. Paes, Juarez Benigno. II. Vidaurre, Graziela
Baptista. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de
Ciências Agrárias. IV. Título.

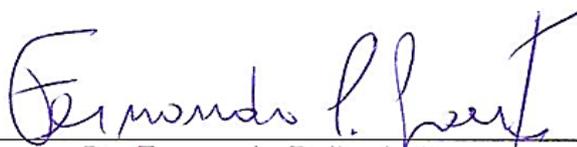
CDU: 630

**QUALIDADE DA MADEIRA DE ÁRVORES DE CLONE DE *Eucalyptus grandis* x
Eucalyptus urophylla INCLINADAS POR AÇÃO DE VENTOS E DESTINADAS A
PRODUÇÃO DE CELULOSE**

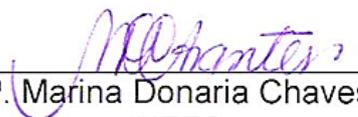
WALTER TOREZANI NETO BOSCHETTI

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

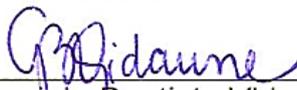
Aprovada em 26 de fevereiro de 2014.



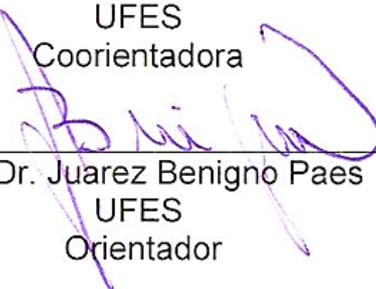
Dr. Fernando Palha Leite
Cenibra
Membro Externo



Prof^a. Dr^a. Marina Donaria Chaves Arantes
UFES
Membro Interno



Prof^a. Dr^a. Graziela Baptista Vidaurre
UFES
Coorientadora



Prof. Dr. Juarez Benigno Paes
UFES
Orientador

Ao meu avô Walter Toretzani (*in memoriam*), afetosamente dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, pelo apoio prestado durante toda a realização do mestrado, em especial ao Coordenador Prof. Roberto C. Avelino e a Secretária Sra. Elizangela Pereira C. de Almeida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela bolsa de estudos concedida.

À Celulose Nipo-Brasileira S.A. – Cenibra, nas pessoas de Dr. Fernando Palha Leite, Everton de Souza e Jackeline Figueiredo Motta, pela doação do material de estudo, informações concedidas e análises realizadas.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Juarez Benigno Paes, que desde o primeiro momento se mostrou grande incentivador da minha pesquisa, pelo crédito, amizade, confiança e conhecimentos repassados.

Aos meus coorientadores, Prof. Dra Graziela Baptista Vidaurre e Prof. Dr. José Tarcisio da Silva Oliveira, pelo apoio, amizade, incentivo, sugestões e saberes repassados.

Aos estagiários, em especial a Larissa Dudecki, pelo auxílio em grande parte da pesquisa.

Aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da UFES pelos momentos de troca de informação e confraternização.

A todos os funcionários do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira.

Agradeço a Deus, a minha família, parentes, amigos, e todos que de alguma forma contribuíram para o meu crescimento profissional e pessoal.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	vii
GENERAL ABSTRACT	ix
INTRODUÇÃO GERAL	1
OBJETIVO GERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
CAPÍTULO 1. OCORRÊNCIA E AS PROPRIEDADES DA MADEIRA DE TRAÇÃO	4
RESUMO.....	5
ABSTRACT.....	6
1. INTRODUÇÃO.....	7
2. DEFINIÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DA MADEIRA DE TRAÇÃO.....	8
3. FORMAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DA MADEIRA DE TRAÇÃO.....	8
4. CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA DE TRAÇÃO.....	10
5. DENSIDADE BÁSICA DO LENHO TRACIONADO.....	11
6. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA MADEIRA DE TRAÇÃO.....	11
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	7
8. REFERÊNCIAS.....	8
CAPÍTULO 2. PARÂMETROS DENDROMÉTRICOS E EXCENTRICIDADE DA MEDULA DE ÁRVORES DE CLONE DE <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> INCLINADAS POR AÇÃO DE VENTOS E DESTINADAS À PRODUÇÃO DE CELULOSE	16
RESUMO.....	17
ABSTRACT.....	18
1. INTRODUÇÃO.....	19
2. MATERIAL E METODOS.....	20
2.1. Procedência da amostragem e caracterização da região.....	20
2.2. Caracterização da amostragem.....	21
2.3. Determinação do ângulo de inclinação das árvores.....	23
2.4. Índice de esbeltez.....	24
2.5. Volume de madeira e volume de casca.....	24
2.6. Relação cerne: alburno.....	24
2.7. Determinação da excentricidade da medula.....	25
2.8. Análise estatística.....	26
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
3.1. Caracterização dendrométrica das árvores.....	27
3.2. Excentricidade da medula.....	31
4. CONCLUSÕES.....	33
5. REFERÊNCIAS.....	34

CAPÍTULO 3. CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA DE REAÇÃO E ÍNDICES DE QUALIDADE DE FIBRAS PARA CELULOSE DE ÁRVORES DE CLONE DE <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> INCLINADAS POR AÇÃO DE VENTOS	35
RESUMO.....	36
ABSTRACT.....	37
1. INTRODUÇÃO.....	38
2. MATERIAL E METODOS.....	39
2.1. Caracterização da amostragem.....	39
2.2. Determinação do ângulo de inclinação das árvores.....	40
2.3. Caracterização anatômica da madeira.....	41
2.4. Análise estatística.....	42
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
3.1. Frequência e diâmetro tangencial dos vasos.....	43
3.2. Caracterização das fibras.....	48
4. CONCLUSÕES.....	51
5. REFERÊNCIAS.....	52
CAPÍTULO 4. QUALIDADE DA MADEIRA E AVALIAÇÃO DA POLPAÇÃO KRAFT DE ÁRVORES DE CLONE DE <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> INCLINADAS POR AÇÃO DE VENTOS.....	53
RESUMO.....	54
ABSTRACT.....	55
1. INTRODUÇÃO.....	56
2. MATERIAL E METODOS.....	57
2.1. Caracterização da amostragem.....	58
2.2. Determinação do ângulo de inclinação das árvores.....	58
2.3. Determinação da densidade básica e caracterização química da madeira.....	59
2.4. Polpação Kraft da madeira.....	60
2.5. Análise estatística.....	60
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
3.1. Densidade básica da madeira.....	62
3.2. Caracterização química da madeira.....	65
3.3. Polpação Kraft da madeira.....	67
4. CONCLUSÕES.....	70
5. REFERÊNCIAS.....	71
CONCLUSÕES FINAIS.....	73
REFERÊNCIAS.....	74
APÊNDICES.....	75

RESUMO GERAL

BOSCHETTI, Walter Torezani Neto. **Qualidade da madeira de árvores de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* inclinadas por ação de ventos para produção de celulose**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro - ES, Orientador: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes. Coorientadores: Prof. Dra. Graziela Baptista Vidaurre e Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira.

Objetivou-se com este estudo a avaliação da qualidade da madeira de árvores inclinadas de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* proveniente de plantios florestais afetados por ação de ventos para produção de celulose. Para tanto, avaliou-se os efeitos da inclinação do fuste em diferentes faixas, e foram estudadas as características da madeira de reação, tracionada e oposta, na região superior e inferior a inclinação, respectivamente. A produtividade do povoamento foi avaliada por meio dos parâmetros dendrométricas das árvores. A qualidade da madeira foi analisada pelas características anatômicas de fibras e vasos, densidade e composição química. O desempenho na polpação kraft foi analisado com base no rendimento depurado e número kappa. Os parâmetros dendrométricos, anatômicos, a densidade básica e a composição química da madeira foram influenciados pela inclinação do tronco. Os resultados indicaram que a inclinação afetou negativamente as variáveis dendrométricas, o volume de madeira das árvores inclinadas foi reduzido; a relação cerne:alburno das árvores não foi afetado pelas diferentes faixas de inclinação analisadas; houve maior excentricidade da medula nas árvores com maior inclinação de fuste. Anatomicamente, o diâmetro vascular foi maior na madeira normal comparado com a madeira de reação, tracionada e oposta; a frequência vascular pouco foi afetada pelas faixas de inclinação; as fibras da madeira de reação das árvores inclinadas, tracionada e oposta, aumentaram em espessura de parede, largura e diâmetro do lume. A densidade da madeira das árvores inclinadas foi inferior à madeira de árvores com o fuste reto, além disto, nas árvores inclinadas, a densidade básica foi menor na madeira oposta quando comparada à madeira tracionada. A composição química da madeira foi diferente entre árvores com o tronco reto e inclinado, na madeira de reação, tracionada e oposta, foram encontrados menores teores de extrativos e lignina que na madeira

normal, outro fator relevante foi o maior teor de holocelulose produzido pela madeira de reação. Na polpação Kraft foi observado na madeira de reação menor rendimento e menor número kappa. Por fim, considerando as propriedades tecnológicas da madeira e a avaliação kraft, percebeu que a densidade básica e a anatomia da madeira de reação das árvores inclinadas contribuiu para diminuir no rendimento depurado da polpa, e a composição química da madeira das árvores inclinadas contribuiu para obter polpas com maior teor de deslignificação.

Palavras-chave: Ventos. Madeira de reação. Propriedades da madeira. Polpa celulósica.

GENERAL ABSTRACT

BOSCHETTI, Walter Terezani Neto. **Wood quality of trees of clonal of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* inclined by wind action to produce for pulp.** 2014. Dissertation (Magister Degree in Forestry Sciences) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro - ES, Adviser: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes. Co advisers: Prof. Dra. Graziela Baptista Vidaurre and Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira.

This study aimed to evaluate the wood quality of trees inclined of clone *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* from forest plantations affected by the action of winds for pulp production. For this purpose, was evaluated the effects of inclination, and studied the characteristics of the reaction wood, tension wood and opposite wood, the upper wood and the lower inclination, respectively. The productivity was evaluated by the parameters dendrometric trees. The quality of the wood was analyzed by means of anatomical parameters of fiber and vessels, basic density and chemical composition. The kraft pulping performance was analyzed based on screened yield and kappa number. The dendrometric parameters, anatomical parameters, the basic density and chemical composition of wood were influenced by the inclination of the trunk. The results showed that negatively affect the tilt dendrometric variables, reducing the amount of timber; the heart:sapwood ratio of trees was not affected; there was a greater eccentricity of the pith in trees with greater inclination stem. Anatomically, the vascular diameter was larger compared with normal wood in the reaction wood, tension and opposite; vascular frequency was little affected by the inclination ranges; the fibers of wood reaction by the tree inclined, tension and opposite wood, increased wall thickness, width and lumen diameter. The density of the wood of inclined trees was less to wood from trees with the straight stem, furthermore, the inclined trees, basic density was lower in the opposite wood compared to tension wood. The chemical composition was different between straight trees and leaning trees, the reaction wood, tension and opposite, content of lower extractives and lignin than normal wood, another important factor is the higher holocellulose content found in the reaction wood was found. In kraft pulp was observed the reaction wood lower yield pulp and lower kappa number. Finally, considering the technological properties of wood and kraft evaluation, realized that the basic density and wood anatomy reaction of leaning trees helped reduce the

screened yield pulp, and chemical composition of wood of leaning trees contributed to obtain pulps with higher content of delignification.

Keywords: Winds. Wood reaction. Properties of wood. Pulp.

INTRODUÇÃO GERAL

O setor florestal brasileiro tem desempenho crescente e é impulsionado especialmente pelas indústrias de celulose. A produtividade de madeira nos plantios, qualidade da madeira e da polpa são as principais metas almejadas e difíceis de serem conciliadas. Visando manter este desempenho, as empresas investem em pesquisa e desenvolvimento, tecnologia de produção e melhoramento genético florestal.

Dentre as metas do melhoramento genético em árvores com finalidade para produção de polpa celulósica cita-se a seleção de árvores com rápido incremento de madeira, para obter uma maior produtividade em um menor ciclo de rotação. No entanto, árvores com o fuste muito alto e diâmetro a altura do peito (DAP) pequeno, são mais propícias a serem instáveis à ação de ventos, notadamente em árvores jovens e com um menor teor de lignina.

A ação dos ventos pode prejudicar irremediavelmente povoamentos inteiros, quebrando, arrancando, ou inclinando árvores de forma irreversível de acordo com a intensidade com que atuam. Estes problemas já foram relatados por Souza (2004), Ferreira et al. (2010), Braz (2011), Cardoso et al. (2011) e Rosado et al. (2013) em plantios florestais de *Eucalyptus* na região do Vale do Rio Doce, onde tempestades ocasionam prejuízos provocados por rajadas de ventos, que geralmente ocorrem nos períodos de chuva entre os meses de outubro a março.

Quando a ação dos ventos é muito forte e as árvores plantadas têm baixa resistência, os danos geralmente ocorrem de forma integral, e grande parte das árvores é quebrada. Todavia, quando os danos ocorrem de forma parcial, são encontradas nas áreas afetadas árvores com o fuste reto e outras com o fuste inclinado. Quando ocorre o evento, as árvores possuem idade inferior a ideal para o corte do plantio, neste caso, tem-se a alternativa de deixar as árvores em campo para obter um maior incremento de madeira, considerando a dificuldade de realizar a colheita apenas das árvores inclinadas, e se deve ponderar que parte das árvores não foi afetada pela ação dos ventos.

Somente na região do Vale do Rio Doce nos últimos 10 anos, foram registrados mais de 26.000 ha em plantios comerciais danificados por ventos, segundo a Empresa Celulose Nipo-Brasileira S.A - CENIBRA (2013), acarretando em grandes perdas nos plantios comerciais. Buscar alternativas para reduzir a perda no volume

de madeira é fundamental para diminuir ao máximo os prejuízos provocados por ventos.

A quantificação do volume de madeira disponível nos plantios é um dado importante para as fábricas de celulose, pois o ritmo de produção da indústria depende da demanda do mercado e da quantidade de matéria prima que a empresa tem disponível para atender a essa demanda. Em plantios afetados por ação de ventos, os defeitos existentes no fuste, como a inclinação do tronco, devem ser considerados, e a cubagem das toras deve ser cuidadosamente estudada para que se possa estimar corretamente o volume de madeira disponível em campo.

As árvores inclinadas possuem incremento de madeira de reação no tronco após a ocorrência do evento, e em alguns casos, como o descrito por Sousa (2004), este tipo de lenho possui características desejadas na polpação Kraft. Deste modo, outro fator que influencia na questão de árvores inclinadas para produção de celulose é a qualidade da madeira de reação. Trabalhos relacionados com a madeira de tração indicam que este tipo de lenho tem características físicas, químicas e anatômicas diferentes da madeira normal, que podem ou não ser favoráveis no processo de produção de polpa celulósica. Porém, há certa escassez nos estudos sobre as propriedades da madeira do lado inferior a inclinação do fuste.

Nos plantios afetados parcialmente pela ação dos ventos, não se conhece ao certo a produtividade real de madeira das árvores inclinadas, o que dificulta a quantificação do volume de madeira disponível nas mesmas, e há poucos estudos envolvendo a incidência da madeira de reação nas plantas destinadas à produção de celulose, desta forma, é questionado neste trabalho a respeito da produtividade das árvores inclinadas e a qualidade da madeira proveniente das mesmas para a produção de polpa celulósica.

Conhecer os parâmetros dendométricos das árvores inclinadas é essencial para distinguir a real produtividade de madeira nos plantios afetados por ventos, assim como estudar as propriedades do lenho proveniente dos fustes inclinados é fundamental para ter conhecimento sobre a qualidade da madeira que será utilizada no processo produtivo.

OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a qualidade da madeira de árvores inclinadas de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* provenientes de plantios florestais afetados por ação de ventos para produção de celulose.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a produtividade de madeira pela análise dos parâmetros dendrométricos e verificar a ocorrência da madeira de reação nos fustes inclinados por meio da assimetria da medula em árvores inclinadas por ação de ventos para produção de celulose de plantios comerciais de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*,
- Avaliar a qualidade da madeira de reação, tracionada e oposta, pelas características anatômicas por análise da frequência e diâmetro vascular, dimensão das fibras, e índices indicativos de qualidade de fibras em árvores provenientes de plantio comercial de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* atingido por ação de ventos.
- Avaliar a qualidade da madeira de reação, tracionada e oposta, no sentido longitudinal do fuste, por meio da análise da densidade básica e da composição química, e avaliar os parâmetros da polpação Kraft da madeira de reação de árvores inclinadas por ação dos ventos em plantio comercial de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

CAPÍTULO I

OCORRÊNCIA E AS PROPRIEDADES DA MADEIRA DE TRAÇÃO

CAPÍTULO 1. Ocorrência e as propriedades da madeira de tração

RESUMO

A madeira de tração possui propriedades diferentes da madeira normal e é considerada uma madeira anormal, porém facilmente encontrada no lenho de árvores inclinadas ou com tronco tortuoso, e naquelas que foram submetidas a algum tipo de estresse em determinado momento do seu desenvolvimento. Neste capítulo consta uma revisão de literatura sobre a ocorrência da madeira de tração e as suas características tecnológicas de importância para o processo Kraft de produção de polpa celulósica. A madeira de tração é designada pela presença da camada gelatinosa no interior da parede das fibras, alterando a sua composição química, sendo a microscopia o método mais confiável para detectá-la. A madeira de tração é encontrada na parte superior da curvatura de fustes inclinados, e exposta a um esforço altamente tracionado. Em decorrência da diferença de crescimento da parte superior tracionada e inferior suprimida da inclinação dos fustes, as seções transversais dos troncos com madeira de tração são excêntricas. Anatomicamente, os vasos da madeira de tração ocorrem com menor frequência e são em menor tamanho, as células de parênquima são mais espaçadas, e o número de parênquima vasicêntrico e raios são reduzidos. As fibras da madeira de tração são células especializadas esclerenquimáticas, caracterizadas pela sua forma alongada e a presença da camada gelatinosa no interior da parede celular, geralmente são mais longas, com maior espessura de parede, e em alguns casos mais largas. A densidade da madeira de tração geralmente é maior que a da normal. A composição química do lenho tracionado é caracterizada pelo maior teor de celulose, menor teor de extrativos e lignina.

Palavras chave: Madeira de reação. Propriedades tecnológicas. Fibras gelatinosas.

CHAPTER 1. Occurrence and properties of tension wood

ABSTRACT

The tension wood has different properties of normal wood and is considered an abnormal wood, but easily found in the wood of leaning trees, trees with crooked trunk, and trees that have been subjected to some form of stress at one point in their development. This chapter is a review of the literature on the occurrence of tension wood and technological characteristics that are important in the process of pulp production. The tension wood is appointed by the presence of gelatinous layer inside the fiber wall, altering the chemical composition of normal wood, with microscopy the most reliable method to detect it. The tension wood is found in the upper part the bend, and exposed to a highly tensioned effort. Because to the difference in growth of the trunks transverse sections with tension wood are eccentric. Anatomically, the vessels of wood tension has lower frequency and are smaller in size, the parenchyma cells are more widely spaced, and the number of vasicentric parenchyma and rays are reduced. The tension wood fibers are tension sclerenchyma specialized cells, characterized by their elongated shape and the presence of gelatinous inside of the cell wall are generally longer, with a greater wall thickness, and in some cases larger. The tension wood density generally higher than normal wood, has a higher content of cellulose in chemical composition, lower content of lignin and extractives.

Keywords: Wood reaction. Technological properties. Gelatinous fibers.

1. INTRODUÇÃO

Considerada como uma madeira anormal, a madeira de reação em folhosas, também conhecida como madeira de tração, está presente em galhos (ZOBEL; JETT, 1984), em árvores que se encontram em terrenos inclinados (FERREIRA, 2007; MONTEIRO et al., 2010), em árvores sujeitas a ação de ventos (SOUSA, 2004), e em árvores com estresse de crescimento, que tendem a produzir este tipo de lenho em algum determinado momento do seu desenvolvimento (RUELLE et al., 2007b; RODRIGUES, 2013).

A madeira de reação está associada ao fuste inclinado ou ao tronco tortuoso, sendo a principal característica encontrada nestes fustes a excentricidade da medula. Todavia, em algumas espécies, o lenho de reação pode ser formado em árvores com o fuste reto, e em alguns casos com pouca evidência de excentricidade no tronco (TIMELL, 1986; BURGER; RICHTER, 1991).

A presença da madeira de tração, dependendo da sua proporção no tecido lenhoso, modifica as propriedades do lenho por causa da presença de fibras gelatinosas, que na maioria dos casos contém uma maior espessura de parede, menor frequência e diâmetro dos vasos, maior teor de celulose cristalina, menor teor de lignina, menor ângulo microfibrilar e maior densidade. . Porém, estudos trazem exceções destas características, principalmente entre madeira de tração e oposta, como o desenvolvido por Jourez et al. (2001) em *Populus euramericana*, Ruelle et al. (2006) em espécies tropicais e Aguayo et al. (2010) em *Eucalyptus globulus*.

Em plantios comerciais de *Eucalyptus* para produção de celulose é comum encontrar árvores inclinadas por ação de ventos, que incrementam em madeira de reação no fuste após a ocorrência do evento, e conseqüentemente possuem características diferentes da madeira normal, que afetam no processo de cozimentos dos cavacos. Sousa (2004) relatou um aumento de 9% no rendimento da polpa de árvores de *Eucalyptus grandis* inclinadas por ventos, além de diminuir o consumo de álcali e manter a viscosidade de uma polpa com árvores retas.

Tendo em vista a diferença das propriedades do lenho de tração, neste capítulo consta uma revisão de literatura sobre a ocorrência da madeira de tração e as suas características tecnológicas de importância para o processo Kraft de produção de polpa celulósica.

2. DEFINIÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DA MADEIRA DE TRAÇÃO

De acordo com o descrito por Wardrop e Dadswell (1948; 1949) e pela Internacional Association of Wood Anatomists Committee on Nomenclature - IAWA (1964) a madeira de tração é designada pela presença da camada gelatinosa no interior da parede das fibras, alterando a composição química da madeira normal. A camada gelatinosa ou camada G é descrita como contendo um maior teor de celulose cristalina e um menor ângulo microfibrilar.

A microscopia é o método mais confiável para detectar a presença de madeira de tração. De modo geral, quando a madeira é recém-cortada, o lenho de tração possui uma coloração mais clara e brilhante, além disto, a superfície da madeira varia de suave a felpuda (GROSSER, 1980).

Existem alguns métodos histoquímicos para detectar a madeira de tração, que são mais rápidos e precisos para se verificar a presença de fibras gelatinosa. O mais comum é o emprego da mistura de reagente safranina, corante específico para material lignificado e *alcian blue*, corante específico para carboidrato. Por possuir maior teor de holocelulose, a madeira de tração se destaca pela coloração azulada (NICHOLSON et al., 1972; 1978; BOYD, 1980).

Outros reagentes são comumente utilizados como a safranina + *fast green* (RAO et al., 1983; BABA et al., 1996), safranina + *light green* (WARDROP; DASWELL, 1948; 1955) e o fluoroglucinol + etanol + ácido clorídrico (WHITE; BOBARDS, 1965; BLETCHLY, 1978; RAO et al., 1983). Todos com o mesmo princípio, tendo um corante específico para destacar as fibras gelatinosas.

Outro método para identificar a madeira de tração foi proposto por Washusen et al. (2002) que desenvolveram um método para avaliar a ocorrência, densidade e distribuição espacial da madeira tracionada com base na alta contração da madeira de tração, uma vez que este tipo de lenho tem elevada contração transversal.

3. FORMAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DA MADEIRA DE TRAÇÃO

Na busca por luz, as árvores tendem a assumir sempre a posição vertical, por intuição fisiológica e por questões de sobrevivência. Assim, quando se trata de

árvores inclinadas ou galhos, as plantas têm a capacidade de restaurar a posição vertical, reduzindo a curvatura do tronco por meio de simetria biomecânica entre o lado inferior e superior, acarretando em uma madeira altamente estressada. Esse material é chamado de madeira de reação (CLAIR et al., 2006; BOWYER et al., 2007; FANG et al., 2007; RUEELLE et al., 2007a; AGUAYO et al., 2010).

Diferente das coníferas, nas folhosas inclinadas por ventos em terreno plano, a madeira de reação é encontrada na parte superior da curvatura, e exposta a um esforço altamente tracionado, denominando assim como madeira de tração (CÔTÊ JUNIOR; TIMELL, 1969; ARCHER, 1986; PILATE et al., 2004). Na parte inferior da curvatura há incremento de uma madeira considerada por alguns autores como madeira normal, no entanto, pesquisas apontam que em algumas espécies, a madeira do lado inferior possui características tecnológicas diferentes da madeira normal, designando como madeira oposta (CLAIR et al., 2006, AGUAYO et al., 2010).

Em decorrência da diferença de crescimento da parte superior tracionada e inferior suprimida da inclinação dos fustes, as seções transversais dos troncos com madeira de reação em folhosas são excêntricas, tanto na forma quanto nos anéis de crescimento desorganizados. Na madeira de tração, o raio maior se localiza na parte de cima da inclinação, e o menor com o crescimento suprimido na parte inferior.

De acordo com Zobel e Jett (1984), a madeira de tração tem a função da manutenção do ângulo do galho, e corrige a curvatura das árvores inclinadas. Por outro lado, Timell (1986) e Clair et al. (2006) trazem evidências de que a madeira de tração pode se formar em fustes não inclinados, apenas com o objetivo da árvore se movimentar no espaço na busca por luz, o que ocorre principalmente em florestas tropicais densas, confirmando que a formação da madeira de tração ocorre no intuito da árvore reorientar gradualmente em busca de algum aspecto, seja por mudanças de luminosidade, por ocupação de um maior espaço no ambiente, ou até mesmo por sobrecarga da copa em árvores jovens com o fuste flexível.

Em plantios comerciais, Washusen (2000a) ressaltou que a madeira de tração pode ser mais comum do que se pensa, em decorrência do espaçamento diferente entre as árvores, além disto, a ação de ventos mesmo quando não inclina o fuste, pode influenciar no estresse de crescimento da árvore e induzi-la a produzir madeira de reação.

4. CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA DE TRAÇÃO

A madeira de reação em folhosas tem diferenças anatômicas consideráveis quando comparada à madeira normal. Hughes (1965) relatou uma série de características anatômicas da madeira tracionada como menor frequência e diâmetro vascular, células de parênquima mais espaçadas, número de parênquima vasicêntrico e raios reduzidos. A tendência dos elementos de vasos também foi constatada por Sousa (2004) em *Eucalyptus grandis*, porém em alguns casos esta tendência não é tão evidente, por exemplo, Washusen (2000b) encontrou em *Eucalyptus globulus* maior frequência de vasos e diâmetro semelhante à madeira normal.

A madeira oposta à tracionada possui características dos elementos de vasos diferentes da mesma. Aguayo et al. (2010) e Ramírez et al. (2009) encontraram na madeira tracionada de *Eucalyptus globulus*, vasos com maior frequência e diâmetro ligeiramente maior do que os vasos encontrados na madeira oposta.

As fibras da madeira de tração é o componente ativo do lenho tracionado, conhecidas como fibras gelatinosas, são células especializadas esclerenquimáticas, caracterizadas pela sua forma alongada e a presença de uma camada de parede no interior da célula com alta contração durante a secagem (CLAIR; THIBAUT, 2001; CLAIR et al., 2008).

Morfologicamente na estrutura da parede das fibras gelatinosas há a presença da camada gelatinosa (camada-G). Bowling e Vaughn (2008; 2009) ressaltaram que ao contrário das células de fibras tradicionais, a camada gelatinosa não é lignificada, e encontra-se na parte interna às camadas da parede celular secundária normal.

Hughes (1965) caracterizou as fibras gelatinosas como mais longas e com maior espessura de parede, e em alguns casos mais largas. Entretanto, Washusen (2000b) não encontrou diferença no comprimento de fibras gelatinosa e normal em *Eucalyptus globulus*. Sousa (2004) encontrou em *Eucalyptus grandis*, na madeira de tração de árvores inclinadas, fibras mais largas, mais compridas e com maior espessura de parede.

5. DENSIDADE BÁSICA DO LENHO TRACIONADO

Alguns estudos demonstraram que a densidade na madeira de tração é maior que na madeira normal (HUGHES, 1965; ALIPON; MARUZZO, 1992). Malan e Gerischer (1987) constataram este efeito em madeira de *Eucalyptus grandis*. Dadswell e Wardrop (1949) comprovaram que a densidade básica da madeira de tração é maior na proporção de 4:3 em relação à da madeira normal.

Washusen et al. (2001) ressaltaram que a densidade básica é um dos parâmetros mais fáceis para identificar a presença de madeira de tração, porém esse parâmetro nunca deve ser utilizado de maneira isolada para a detecção da presença desse tipo de lenho.

Sousa (2004) também encontrou maior densidade no lenho tracionado do que em madeira normal, porém não detectou diferença de densidade básica nas coordenadas (Norte, Sul, Leste e Oeste) estudadas, em árvores retas e inclinadas de *Eucalyptus grandis*.

A densidade básica na madeira de tração nem sempre é maior. Wahlgren (1957) encontrou na madeira de tração de árvores com troncos inclinados de *Populus deltóides*, uma densidade mais baixa.

6. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA DE TRAÇÃO

Uma das características da madeira tracionada é o maior teor de celulose cristalina e o baixo conteúdo de lignina quando comparada à madeira normal. De acordo com Hughes (1965), a severidade da presença de madeira de tração aumenta paralelamente com a quantidade de celulose.

Análises químicas em fibras gelatinosas realizadas por Timell (1969) evidenciou que a camada gelatinosa contém 98,5% de celulose e 1,5% de xilose, ou seja, isenta de lignina.

Baba et al. (1996) encontraram em madeira de *Eucalyptus camaldulensis* teor de lignina de 6,5%, enquanto na madeira normal esse teor foi de 21,1% demonstrando a grande queda no teor de lignina para a madeira de tração. Resultado semelhante foi obtido por Sousa (2004) em *Eucalyptus grandis*, em que a madeira de tração teve uma queda de 7% no teor de lignina, quando comparado ao lenho normal.

O teor de extrativos também tende a diminuir e foi relatado por Baba et al. (1996) e Washusen et al. (2001). Sousa (2004) também encontrou menor teor de extrativos e advertiu que esta diminuição ocorre em decorrência do aumento da densidade da madeira e não de uma diminuição da presença desses compostos, e ressaltou que uma das diferenças química mais notável na madeira de tração é o baixo teor de lignina Klason (insolúvel), com um conseqüente aumento no teor de holocelulose.

Aguayo et al (2010) compararam madeira oposta e de tração em *Eucalyptus globulus* e perceberam na madeira tracionada menor teor de extrativos, maior teor de celulose, maior teor de polioses com o aumento do teor de xiloses, e menor teor de ligninas com maiores quantidades de grupos siringílicos que unidades guaiacílicas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A madeira de reação é comum nos plantios florestais e mais intensa em plantios afetados por ventos, principalmente em árvores inclinadas. Considerando a variabilidade das características tecnológicas deste tipo de lenho, tanto na madeira tracionada como na oposta, exposto neste capítulo, pode-se inferir que seu estudo é de fundamental importância antes de empregar o material ao uso predestinado, para avaliar a viabilidade de seu consumo.

8. REFERÊNCIAS

AGUAYO, M. G; QUINTUPILL, L; CASTILLO, R; BAEZA, J; FREER, J; MENDONÇA, R. T. Determination of differences in anatomical and chemical characteristics of tension and opposite wood of 8-year old *Eucalyptus globulus*. **Maderas: Ciencia y Tecnologia**, v.12, n.3, p.241-251, 2010.

ALIPON, M. A.; MARUZZO, M. M. Tension wood and its effects on end-use properties of wood. **FPRDI Journal**. v.21, n.4, p.43-55, 1992.

ARCHER, R. R. **Growth stresses and strains in trees**. New York: Springer-Verlag, 1986. 240p.

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.

BLETCHLY, F. E. J. A study of reaction wood in European beech (*Fagus sylvatica* L.): variations in chemical composition around the outermost forty-seven growth rings of a branch. **Journal of the Institute of Wood Science**, v.8, n.2, p.76-80. 1978.

BOYD, J.D. Relationships between fibre morphology, growth strains and physical properties of wood. **Australian Forest Research**, v.10, n.4, p.337-360. 1980.

BOWLING, A. J; VAUGHN, K. C. Immunocytochemical characterization of tension wood: gelatinous fibers contain more than just cellulose. **American Journal of Botany**, v.95, p.655-663. 2008.

BOWLING, A. J, VAUGHN, K. C. Gelatinous fibers are widespread in coiling tendrils and twining vines. **American Journal of Botany**, v.96, p.719-727. 2009.

BOWYER, J. L. SHMULSKY, R; HAYGREEN, J. H. **Forest products & wood science: an introduction**. 5. ed. Iowa: Blackwell Publishing, 2007. 674 p.

BURGER, L. M; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. 3. ed. São Paulo: Nobel, 1991. 154p.

CLAIR, B; THIBAUT, B. Shrinkage of the gelatinous layer of poplar and beech tension wood. **IAWA Journal**, v.22, n.2, p.121-131. 2001.

CLAIR, B; RUELLE, J; BEAUCHÊNE, J; PRÉVOST, M. F; FOURNIER, M. Tension wood and opposite wood in 21 tropical rain forest species: occurrence and efficiency of the G-layer. **IAWA Journal**, v.27, n.3, p.329-338, 2006a.

CLAIR, B; GRIL, J; DI RENZO, F; YAMAMOTO, H; QUIGNARD, F. Characterization of a gel in the cell wall to elucidate the paradoxical shrinkage of tension wood. **Biomacromolecules**, v.9, n.2, p.494-498. 2008.

CÔTÉ JUNIOR, W. A.; TIMELL. T. E. A contribution to the ultrastructure of tension wood fibers. **Wood science and Technology**, v.3, n.4, p.257-271. 1969.

DADSWELL, H. E; WARDROP, A. B. What is reaction wood? **Australian Forestry**, v.13, p.22-33. 1949.

FANG, C. H; CLAIR, B; GRIL, J; ALMERAS. T. G-layer tranverse shrinkage and its consequences on shrinkage of poplar tension wood. **Wood science and Technology**, v.41, n.8, p.659-671, 2007.

FERREIRA, S. **Lenho de tração em *Eucalyptus* spp. cultivados em diferentes topografias**. 2007. 170f. Tese (Doutorado em Ciências e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

GROSSER, D. **Defeitos de madeira**. Curitiba: Fupef, 1980. 62p. (Série Técnica, 2).
INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS. COMMITTEE ON NOMENCLATURE - IAWA **Multilingual glossary of terms used in wood anatomy**. Verlagsanstalt Burchdruckerei Konkordia Wintherthur. p.185. 1964.

HUGHES, F. E. Tension wood: a review of literature. I. Occurrence and development of tension wood. II. The properties and use characteristics of tension wood. **Forest Abstracts**, v.26, n.1, p.1-9, v.26, n.2, p.179-186. 1965.

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.

NICHOLSON, J. E; CAMPBELL, G. S; BLAND, D. E. Association between wood characteristics and growth stress level: a preliminary study. **Wood Science**, v.5, p.109-112. 1972.

MALAN, F. S; GERISCHER, G. F. R. Wood property differences in South African grown *Eucalyptus grandis* trees of different growth stress intensity. **Holzforschung**, v.41, n.6, p.331-335. 1987.

MONTEIRO, T. C; SILVA, R. V; LIMA, J. T; BARAÚNA, E. E. P; CARVALHO, D. M; LIMA, M. T. Influência do lenho de tração nas propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus* sp. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**. v. 1, n.1, p.6-11. 2010

PILATE. G; CHABBERT. B; YOSHINAGA. A; LEPLÉ. J. C. Lignification and tension wood. **Comptes Rendus Biologies**, v.327, n.9, p.889-901, 2004.

RAMÍREZ, M; RODRÍGUEZ, J; BALOCCHI, C; PEREDO, M; ELISSETCHE, J.P; MENDONÇA, R.T; VALENZUELA, S. Chemical composition and wood anatomy of *Eucalyptus globulus* clones, its variations and relationships with pulpability and handsheet properties. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, v.29, n.1, p.43-58, 2009.

RAO. R. V; DAYAL, R; SHARMA, B. Studies on the nature and pattern of distribution of tension wood in *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. **Indian Forester**, v.109, n.5, p.286-291. 1983.

RODRIGUES, B. P. **Qualidade do lenho de árvores de clone de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* sob estresse abiótico e o impacto na produção de celulose**. 2013. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2013.

RUELLE, J; CLAIR, B; BEAUCHENE, J; FOURNIER, M. Tension wood and opposite wood in 21 tropical rain forest species 2. Comparison of some anatomical and ultrastructural criteria. **Iawa Journal**, v.27, n.4, p.341-376. 2006.

RUELLE, J; BEAUCHENE, J; THIBAUT, A; THIBAUT B. Comparison of physical and mechanical properties of tension and opposite wood from ten tropical rainforest trees from different species. **Annals of Forest Sciences**, v.64, n.5, p.503-510. 2007a.

RUELLE, J; YAMAMOTO, H; THIBAUT, B. Growth stresses and cellulose structural parameters in tension and normal wood from three tropical rainforest angiosperms species. **BioResources**, v.2, n.2, p.235-251. 2007b.

SOUSA, L. C. **Caracterização da madeira de tração em *Eucalyptus grandis* e sua influência na produção de polpa celulósica**. 2004. 93f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

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

TIMELL, T. E. **The chemical composition of tension wood**. New York, p.173-181. 1969.

WAHLGREN, H. E. Effect of tension wood in a leaning eastern cottonwood. **Forestry Products Journal**, v.7, n.6, p.214-219. 1957.

WARDROP, A. B; DADSWELL, H. E. The nature of reaction wood. Part I. The structure and properties of tension woods fibres. **Australian Journal of Biological Sciences**, v.1, n.1, p.3-16. 1948.

WARDROP, A. B; DADSWELL, H. E. What is reaction wood? **Australian Forestry**, v.13, n.1, p.22-33. 1949.

WARDROP, A.B.; DADSWELL, H.E. The nature of reaction wood. IV. Variation in cell wall organization of tension wood fibres. **Australian Journal of Botany**, v.3, n.2, p.177-189, 1955.

WHITE, D. J. B; BOBARDS, A. W. Gelatinous fibres in ash (*Fraxinus excelsior*) **Nature**, v.205, p.818. 1965.

WASHUSEN, R. The occurrence and characteristics of tension wood and associated wood properties in *Eucalyptus globulus* Labill. 2000. 252p. Thesis (Philosophy Doctor) – University of Melbourne. Cap.2. Literature review on the occurrence and characteristics of tension wood. p. 9-35. 2000a.

WASHUSEN, R. The occurrence and characteristics of tension wood and associated wood properties in *Eucalyptus globulus* Labill. 2000. 252p. Thesis (Philosophy Doctor) – University of Melbourne. Cap.3. The anatomy and morphology of tension wood in plantation-grown in *Eucalyptus globulus* Labill. p. 36-68. 2000b.

WASHUSEN, R; ADES, R; EVANS, R; ILIC, J; VIDEN, 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, n.2, p.176-182. 2001.

WASHUSEN, R; ADES, P; VINDEN, P. Tension wood occurrence in *Eucalyptus globulus* Labill. 1. The spatial distribution of tension wood in one 11-year-old tree. **Australian Forestry**. v.65, p.120–126. 2002.

ZOBEL, B. J.; JETT, J. B. **Genetic of wood production**. Berlin: Spring-Verlag,1984. 337p.

CAPÍTULO II

**PARÂMETROS DENDROMÉTRICOS E EXCENTRICIDADE DA MEDULA DE
ÁRVORES DE CLONE *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* INCLINADAS
POR AÇÃO DE VENTOS PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE**

CAPÍTULO 2. Parâmetros dendrométricos e excentricidade da medula de árvores de clone *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* inclinadas por ação de ventos para produção de celulose

RESUMO

A ação de ventos pode ocasionar danos tanto na produtividade quanto na qualidade da madeira em plantios. Espécies florestais de rápido crescimento são mais instáveis a este tipo de ação, especialmente em árvores jovens. O objetivo deste estudo foi analisar a produtividade de madeira em árvores de plantios comerciais de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* inclinadas por ação de ventos, destinadas à produção de celulose. As árvores foram agrupadas em quatro faixas de inclinação variando de 0° a 50° e estudado os parâmetros dendrométricos, e analisada a presença da madeira de tração pela assimetria da medula. Foi encontrado menor comprimento comercial de fuste e menor diâmetro à altura do peito (DAP), tomado a 1,3 metros do solo, que acarretou em um menor volume de madeira e de casca para as árvores inclinadas, quando comparadas a árvores de fuste reto. O ângulo de inclinação do tronco nas árvores não influenciou na relação cerne: alburno e no teor de madeira e de casca dentro de um mesmo fuste. Conforme a inclinação do tronco aumentou, ocorreu uma tendência de aumento na excentricidade da medula nas árvores, e conseqüentemente uma maior incidência em madeira de tração. Pelos aspectos avaliados, nota-se que a inclinação das árvores nos plantios afetados pelos ventos acarretou em uma perda de volume de madeira, sendo a madeira formada após a inclinação das árvores, lenho de reação. O estudo das características e propriedades tecnológicas deste tipo de lenho deve ser analisado antes da madeira das árvores inclinadas ser conduzida ao processo de polpação.

Palavras chave: Produtividade de madeira. Assimetria da medula. Qualidade da madeira.

CHAPTER 2. Dendrometric parameters and eccentricity of the pith in trees of clone of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* inclined by action of winds to pulp production

ABSTRACT

The action of gusts winds may cause damage to both productivity and wood quality in plantations. Forest species with rapid growth are more unstable in this type of action, especially in young trees. The aim of this study was to verify the occurrence the asymmetry of the pith in the stems, and evaluate dendrometric parameters by analyzing the productivity of wood trees in commercial plantations of clone of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* inclined by wind action in four ranges inclination, adjusted from 0° to 50°, designed to production and cellulose. Was found lower commercial length stem and smaller diameter at breast height, which resulted in a lower volume of wood and bark for leaning trees, when compared to straight stem trees. Conforms the inclination of the trunk increases, has a trend of increase in the eccentricity of the pith in the trees, and therefore a greater increase in wood tension. When considering the lower productivity of wood is not recommended permanence of leaning trees in the stand after the event, when the industrial aim is to get higher productivity of raw materials. However, taking into consideration the quality of the wood, the eccentricity of the pith shows a higher incidence of tension wood in the stem more inclined that can directly interfere with the normal wood properties and parameters pulping.

Keywords: Winds. Asymmetry of the pith. Production of wood. Wood quality.

1. INTRODUÇÃO

Madeira proveniente de espécies florestais de rápido crescimento, como a do gênero *Eucalyptus* para a indústria de celulose, é o principal instigador para o desempenho crescente do setor florestal brasileiro. No entanto, árvores jovens com fuste muito alto, são mais propícias a serem instáveis, especialmente à ação de ventos.

A ação dos ventos é um fator natural e impossível de ser controlada. Esta ocorrência em plantios comerciais pode trazer estresse nas árvores, e afetar a produtividade e a qualidade da madeira, e quando ocorre de forma acentuada, rajadas podem causar danos de forma irreversível. A quebra do tronco e o arrancamento são danos que ocasionam a morte das árvores. Já em fustes inclinados, a árvore continua viva formando madeira.

Após a ocorrência do evento, o incremento de madeira nas árvores inclinadas ocorre de forma anormal, denominado como madeira de tração em espécies de folhosas, que pode afetar na qualidade da madeira, sendo o principal indício a excentricidade da medula. A inclinação do fuste pode contribuir também para modificar as características dendrométricas das árvores, influenciando na quantificação do volume, no teor de madeira e de casca, no diâmetro à altura do peito e nas relações cerne:alburno.

Estudar as características dendrométricas das árvores inclinadas por ação de ventos é fundamental para entender a viabilidade da colheita destas árvores e detectar o potencial de produtividade dos plantios afetados, além de que, analisando a excentricidade da medula, pode-se ter uma informação a respeito da presença da madeira de tração e afirmar na interferência da qualidade da madeira produzida.

Dentro desse contexto, o objetivo deste estudo foi analisar produtividade e verificar a presença da madeira de reação das árvores inclinadas por ventos, em plantios comerciais do híbrido clonal *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* para produção de celulose, por meio da análise dos parâmetros dendrométricos e por assimetria da medula.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Amostragem e caracterização da região

Foi utilizada a madeira proveniente de plantios florestais comerciais de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, do município de Ipaba, localizado na região do Vale do Rio Doce, leste do Estado de Minas Gerais, pertencente à Empresa Celulose Nipo-Brasileira S.A. (CENIBRA). A região encontra-se a 19° 23' 45" de latitude sul e 42° 23' 40" de longitude oeste, com altitude nos locais de plantio variando entre 210 a 290 m.

As árvores foram plantadas em fevereiro de 2007 em terreno de baixada com espaçamento de 3,00 x 3,33 m e com incremento médio anual do povoamento de 47 m³.ha⁻¹.ano⁻¹. O talhão foi atingido pela ação de ventos que provocou danos no povoamento em novembro de 2009, com ventos registrados pela estação meteorológica de até 20 m.s⁻¹ (72 km.h⁻¹). As árvores tinham 33 meses de idade, e algumas foram inclinadas de forma irreversível. O corte das árvores foi procedido em janeiro de 2013, 38 meses após a ocorrência dos ventos no talhão, e 71 meses após a data do plantio.

O solo da região é classificado como cambissolo de fundo de vale, foi preparado para o plantio pela aplicação de adubação conforme o Quadro 1. Na época de plantio houve um controle de formiga, cupins, e de mato-competição.

Quadro 1 - Adubação implantada no talhão em que as árvores foram coletadas

ADUBO				
NPK	KCl+1,2%B+0,5%Zn+1,0%Cu	Borogran	P_Reativo	Calcario/Lama+Mg
g/plantaKg/ha.....			
100	150	50	400	1000

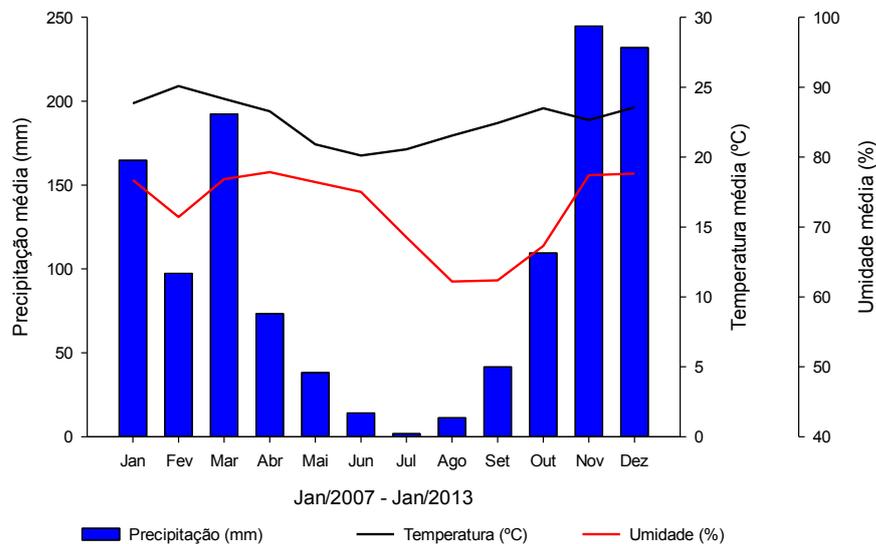
Fonte: CENIBRA (2013).

A classificação climática de acordo com Koppen é do tipo "Aw", denominado subtropical úmido, com inverno seco entre os meses de maio e setembro, e estação chuvosa no verão, ocorrendo entre os meses de novembro a abril.

No período de fevereiro de 2007 a janeiro de 2013, a precipitação média na região variou de 1,8 mm no mês mais seco, e 244,8 mm no mês com maior índice de chuva. A temperatura média esteve entre 20,1 - 25,1°C, em meio às estações

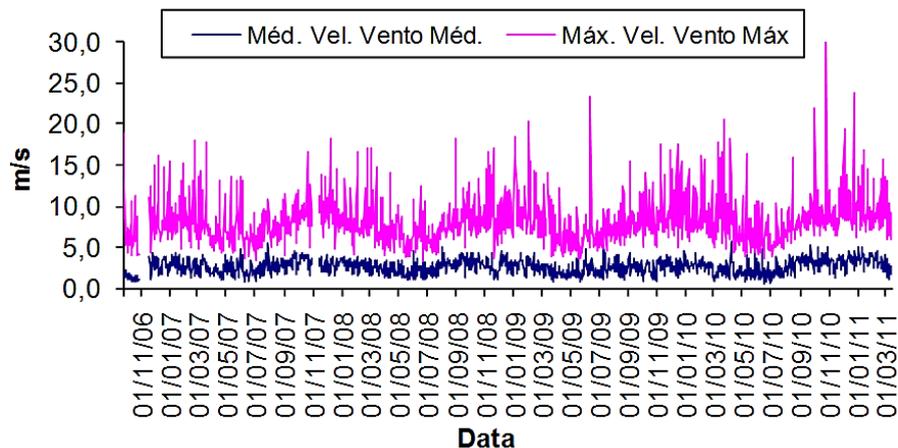
inverno e verão, e a umidade relativa média do ar neste período oscilou entre 62,2 - 77,7% (Figura 1).

Figura 1 – Precipitação média, temperatura média e umidade média do ar entre o período de janeiro de 2007 a janeiro de 2013 (CENIBRA, 2013).



A incidência dos ventos na região é frequente (Figura 2). A velocidade média dos ventos entre a data de plantio até a coleta da amostragem foi de 3 m.s^{-1} (11 km.h^{-1}). Todavia, em alguns períodos de chuvas, a velocidade dos ventos aumenta, havendo registros de ventos com até 30 m.s^{-1} (108 km.h^{-1}).

Figura 2 – Velocidade média e máxima do vento entre jan/2007 - mar/2011, Estação Lagoa perdida (CENIBRA, 2013).

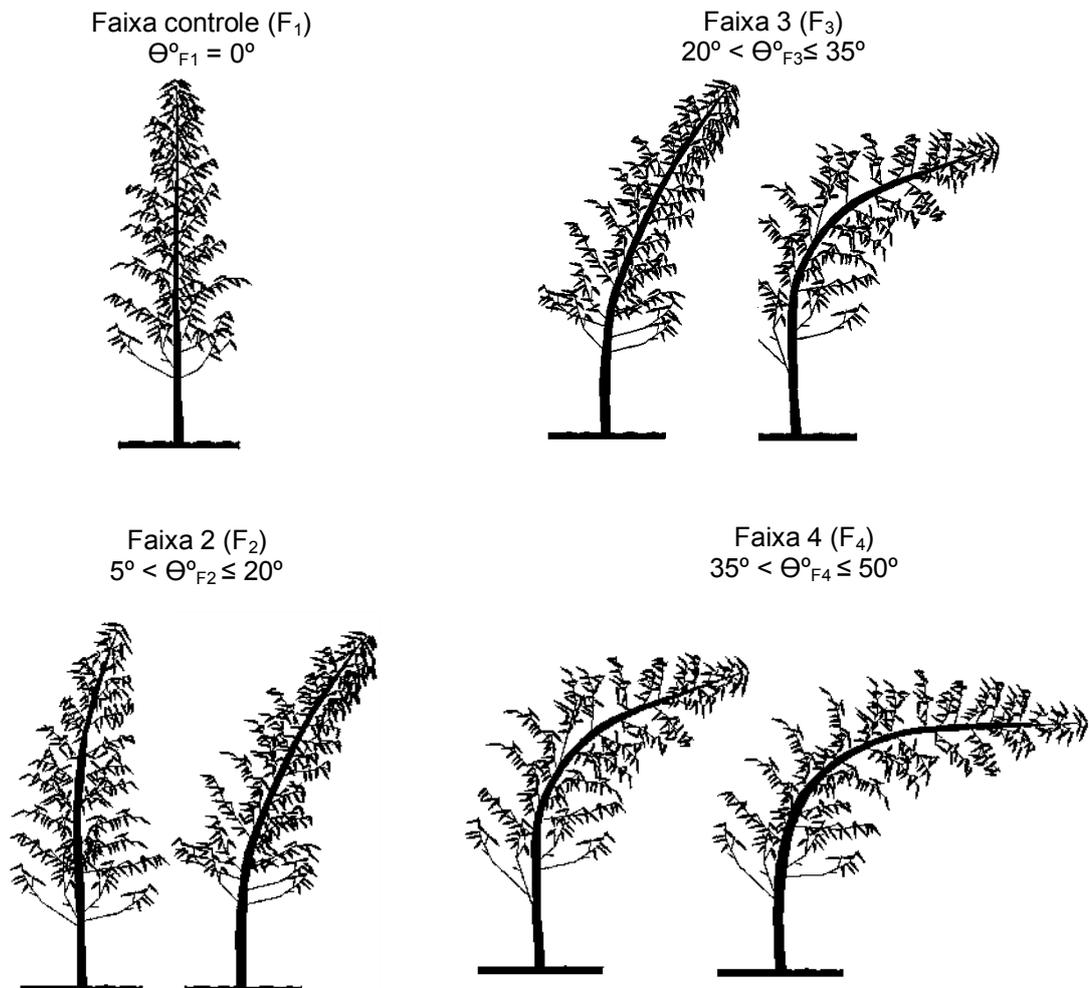


2.2. Caracterização da amostragem

Grande parte das árvores do talhão foi inclinada pela ação de ventos, havendo diferentes graus de inclinação das árvores no mesmo talhão, umas com o fuste mais declinado e outras menos. Desta forma, as árvores foram selecionadas ao acaso e separadas por faixas de acordo com o ângulo de inclinação.

O trabalho foi organizado em quatro faixas de inclinação. Na faixa 1, ou controle, as árvores possuíram inclinação aproximadamente nula. Nas faixas de inclinação 2, 3 e 4, as árvores foram ajustadas e classificadas em ângulos de 15° (Figura 3).

Figura 3 – Faixas de inclinação das árvores.



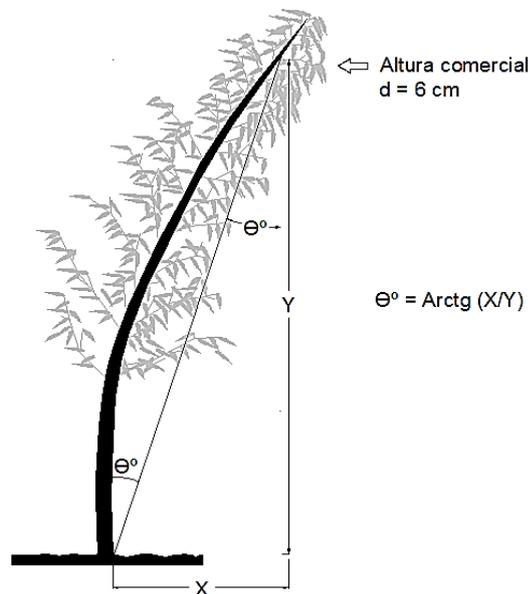
A divisão das árvores por faixa de inclinação permitiu analisar melhor a tendência das características da madeira nas árvores inclinadas com comprimento

de tronco diferentes, no sentido base-topo e, principalmente, na região que formou uma flecha consolidada pela ação dos ventos.

2.3. Determinação do ângulo de inclinação das árvores

Nas árvores com o fuste inclinado, o comprimento comercial do tronco foi caracterizado pelo diâmetro mínimo de 6,0 cm, no diâmetro onde seria a altura comercial das árvores para produção de celulose. Neste ponto, foram medidas a coordenada altura (Y) por meio do aparelho relascópio eletrônico, e a variação do tronco em relação ao solo (X) por medições com trena (Figura 4).

Figura 4 – Metodologia da determinação do ângulo de inclinação.



O ângulo de inclinação das árvores (Θ°) em relação ao eixo vertical foi ajustado pela Equação 1. Desta forma, pode-se ter um parâmetro da flecha formada pela inclinação, da base até a altura comercial, homogeneizando a amostragem.

$$\text{Arctg } \theta^\circ = (x/y) \quad (1)$$

em que:

x é o deslocamento do tronco inclinado em relação ao solo (m); y é a altura comercial vertical da árvore inclinada (m).

2.4. Índice de esbeltez

O índice de esbeltez indica a instabilidade das árvores à ação de ventos, e foi obtido pela relação entre a altura total da árvore e o diâmetro a altura do peito (DAP), medido a 1,30 m do solo, ajustado pela Equação 2.

$$GE = \frac{h}{dap} \quad (2)$$

em que:

GE é o índice de esbeltez; h é a altura total da árvore (m); e o dap é o diâmetro a altura do peito (cm).

É conveniente ressaltar que o índice de esbeltez foi calculado somente para as árvores não inclinadas com os dados obtidos no período em que as mesmas foram coletadas. As árvores inclinadas não foram consideradas esbeltas, pois a altura do fuste (Y) não correspondia ao seu comprimento comercial.

2.5. Volume de madeira e volume de casca

Os discos de 3,0 cm de espessura foram mensurados nas posições 0, 25, 50, 75 e 100% do comprimento comercial das árvores. Pelo método de Smalian foi estimado o volume de cada árvore com casca e o volume de madeira, e pela diferença destes valores foi obtido o volume de casca. O percentual do volume foi calculado pela Equação 3.

$$\%V_{C/M} = \frac{V_{C/M} * 100}{V_{\text{árvore}}} \quad (3)$$

em que:

$\%V_{C/M}$ é o percentual volumétrico de casca ou madeira na tora; $V_{C/M}$ é o volume de casca ou de madeira (m^3); e $V_{\text{árvore}}$ é o volume da árvore com casca (m^3).

2.6. Relação cerne:alburno

Os discos foram mensurados nas posições 0, 25, 50, 75 e 100% do comprimento comercial das árvores, e obteve-se o diâmetro médio do mesmo sem casca e o diâmetro médio do cerne, pela medição do maior e menor diâmetro com o uso de uma régua graduada em milímetros.

Desta forma, foi calculado o volume de madeira sem casca e o volume do cerne pelo método de Smalian, e o volume de alburno foi obtido pela diferença destes valores. O teor de cerne e de alburno foram obtidos por meio das Equações 4 e 5.

$$\%_{\text{cerne}} = \frac{V_{\text{cerne}} * 100}{V_{\text{madeira s/c}}} \quad (4)$$

$$\%_{\text{alburno}} = \frac{V_{\text{alburno}} * 100}{V_{\text{madeira s/c}}} \quad (5)$$

em que:

$\%_{\text{cerne}}$ é o teor de cerne; $\%_{\text{alburno}}$ é o teor de alburno; V_{cerne} é o volume de cerne (m^3); V_{alburno} é o volume de alburno (m^3); $V_{\text{madeira s/c}}$ é o volume de madeira sem casca (m^3).

2.7. Determinação da excentricidade da medula

A excentricidade da medula foi ajustada pela Equação 6. Obtiveram os raios de cada disco, pela utilização de duas marcações ao longo da extensão diametral, incidindo pela medula.

$$EXM = \frac{L_c}{d_m} \times 100 \quad (6)$$

em que:

EXM é a excentricidade da medula (%); L_c é a distância entre o centro geométrico e a medula (cm); d_m é diâmetro médio do disco (cm).

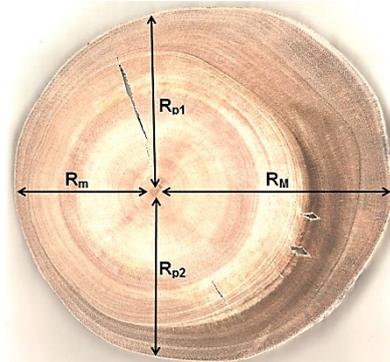
As variáveis da distância entre o centro geométrico e a medula (L_c) foram obtidas pelo procedimento esquematizado na Figura 5, e os cálculos ajustados pela Equação 7, segundo o método proposto por Lima et al. (2007).

$$L_c = R_M - R_{\overline{m}} \quad (7)$$

em que:

R_M é a maior distância entre a medula e a periferia da tora (cm); $R_{\overline{m}} = \frac{R_M + R_m + R_{p1} + R_{p2}}{4}$ é o raio médio (cm); R_m é a menor distância entre a medula e periferia da tora (cm); R_{p1} e R_{p2} são o raio perpendicular 1 e raio perpendicular 2 (cm);

Figura 5 – Variáveis que expressam o deslocamento da medula ao centro geométrico na seção transversal da tora (Adaptado de Lima et al., 2007).



2.8. Análise estatística

Os dados dos parâmetros dendrométricos, o teor de cerne e de albarno, e a relação destes foram analisados ao considerar os tratamentos dispostos em um delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições. Os dados foram avaliados estatisticamente por meio de análise de variância ao adotar um nível de significância de até 5% de probabilidade. De acordo com o resultado do teste F, as médias obtidas para os tratamentos foram comparados pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Para os dados da excentricidade da medula foi adotado um delineamento inteiramente casualizado, considerando os tratamentos dispostos no esquema de parcelas subdivididas com cinco repetições, sendo as parcelas (faixa de inclinação) e subparcelas (posição do tronco). Os dados foram avaliados estatisticamente por meio de análise de variância ao adotar um nível de significância de até 5% de probabilidade. De acordo com o resultado do teste F, as médias obtidas para os tratamentos das parcelas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização dendrométrica das árvores

Os parâmetros dendrométricos das árvores foram afetados pelas diferentes faixas de inclinação do tronco. Algumas características das árvores com o tronco reto foram significativamente maiores que as faixas das árvores inclinadas, conforme a Tabela 1. No Apêndice 1, Tabela 1 A, consta o resumo das análises de variância dos parâmetros dendrométricos referentes a Tabela 1.

Tabela 1 – Valores médios dos parâmetros dendrométricos em árvores de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em diferentes faixas de inclinação, aos seis anos de idade

Parâmetros dendrométricos	Faixa de inclinação			
	0°	5° - 20°	20° - 35°	35° - 50°
Comprimento total do fuste (m)	29,2 a (2,9/10,2)	20,4 b (2,3/11,4)	20,7 b (1/5)	19,6 b (1,1/5,8)
Comprimento comercial do fuste (m)	24 a (3,6/15,3)	16,7 b (1,2/7,3)	17 b (0,8/5,1)	15,1 b (1,4/9,6)
Altura Y (m)	29,2 a (2,9/10,2)	17,6 b (1,9/11,2)	12,9 c (1,4/12)	9,5 c (1,3/14,3)
DAP (cm)	21,45 a (3,93/18,3)	16,17 b (0,66/1,6)	17,57 ab (1,51/8,6)	16,01 b (1,55/9,7)
Volume de madeira sem casca (m³)	0,433 a (0,15/36,6) ¹	0,183 b (0,01/9,2)	0,219 b (0,05/23,8)	0,151 b (0,03/23,2)
Volume de casca (m³)	0,068 a (0,02/39,5)	0,032 b (0,01/14,4)	0,032 b (0,01/26,9)	0,024 b (0,01/8,4)
Teor de madeira (%)	86,5%	84,5%	87,3%	85,8%
Teor de casca (%)	13,5%	15,1%	12,7%	14,2%
Teor de alborno (%)	58,4 (6,4/11,2)	59,7 (2,5/4,2)	61,6 (4,3/7,0)	60,2 (2,1/3,5)
Relação cerne:alborno	0.728 (0,18/25,3)	0.676 (0,07/10,7)	0.627 (0,11/17,5)	0.662 (0,06/9,1)
Índice de esbeltez	1,38	---	---	---

Médias seguidas pelas mesmas letras, minúsculas na horizontal, não diferem estatisticamente pelo teste tukey ($p \geq 0,05$).

Valores entre parêntesis referem-se ao desvio padrão e coeficiente de variação (%), respectivamente.

Na Tabela 1, verifica-se maior média de valores de comprimento comercial e total de fuste nas árvores da faixa controle. Após a ocorrência dos danos provocados pelos ventos, as árvores inclinadas perderam a dominância apical,

cessando o crescimento em altura, apresentando menor comprimento de fuste quando comparado às árvores de fuste reto que continuaram a crescer em altura. Além disto, as árvores inclinadas ficaram com a copa a uma altura mais baixa que às não inclinadas, crescendo em condições desfavoráveis por competição de luz, sendo induzidas a recuperar a dominância apical a partir de brotos no fuste para tentar promover uma nova copa. Estas condições de estresse nas árvores inclinadas nos plantios por competição de luz acarretaram em um menor incremento em diâmetro das mesmas, acusando menor DAP.

Os valores do comprimento comercial do fuste e do DAP das árvores não inclinadas, estão próximos aos encontrados por Santos (2011) e superiores aos de Barbosa (2013) em árvores do mesmo híbrido com a mesma idade plantado em diferentes locais. Isto demonstra que as árvores com o fuste reto não tiveram estresse ao ponto de prejudicar seu crescimento e incremento em madeira, em decorrência da irregularidade no talhão ocorrida pela inclinação de partes das árvores.

As médias do comprimento comercial do tronco para as árvores inclinadas não diferem, conseqüentemente, a altura das árvores em relação ao eixo vertical (Y) diminui quando aumenta a faixa de inclinação, sendo confirmado pela diferença estatística entre as médias aplicando o teste F a 5 % de significância, consolidando a eficiência da metodologia do ângulo de inclinação das árvores em relação ao eixo vertical.

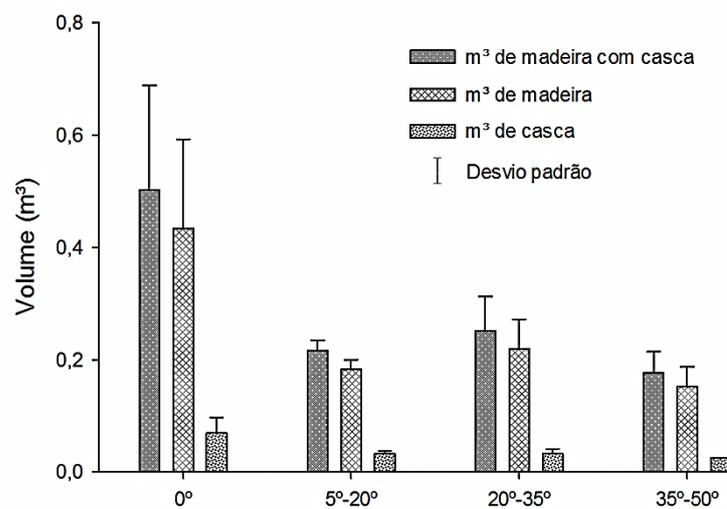
A cubagem das toras é um fator importante para a quantificação do volume de madeira disponível nos plantios, principalmente quando se aborda sobre árvores com o tronco inclinado. Nas árvores inclinadas, em decorrências do menor comprimento de fuste e menor incremento de madeira em diâmetro, tiveram menor volume de madeira que as árvores que não foram inclinadas (Tabela 1).

O volume de madeira médio das árvores com inclinação nula foram superiores aos valores encontrados por Barbosa (2013) em decorrência do maior diâmetro encontrado, em árvores do mesmo híbrido com a mesma idade, plantados em diferentes locais.

O volume de casca reduziu em média 55% nas árvores inclinadas em relação à faixa de inclinação nula, entretanto houve um menor volume de madeira nestas árvores, conforme se pode observar na Figura 6.

A média dos valores de volume de madeira e casca das árvores inclinadas nas faixas 2, 3 e 4 não diferiram estatisticamente (Tabela 1), o que acarretou em 57% menos em volume de madeira quando comparado à faixa controle, reduzindo o volume médio de madeira no talhão onde ocorreu a curvatura dos troncos de parte das árvores pela ação dos ventos.

Figura 6 – Volume médio de madeira e casca em árvores de clone de *Eucalyptus gradis x Eucalyptus urophylla*, em diferentes faixas de inclinação, aos seis anos de idade.



O ritmo de produção das indústrias de celulose é influenciado pela quantidade de matéria prima que a empresa tem disponível, assim, deve-se ter precaução para não superestimar os valores de madeira nos plantios que sofreram danos por ação de ventos.

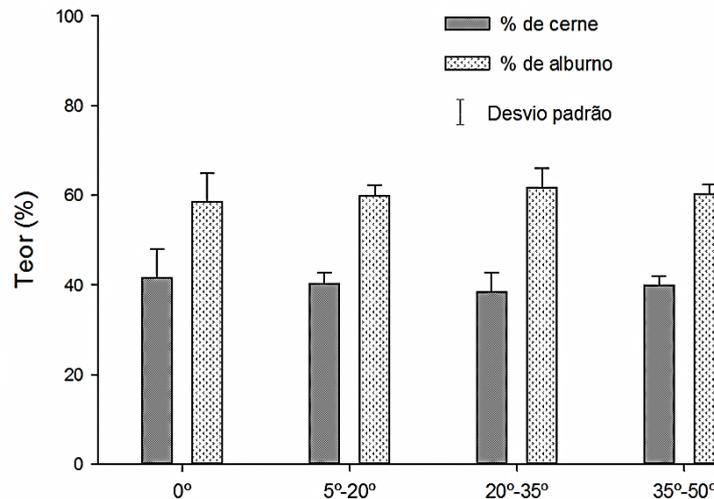
Apesar do menor volume de madeira e casca, as árvores inclinadas tiveram o mesmo teor médio de madeira e casca que as árvores da faixa controle. Isto indica que independente da faixa de inclinação do tronco, as árvores não irão produzir mais madeira que casca ou vice-versa, que as árvores não inclinadas (Tabela 1). Em geral, o fuste de uma árvore acusou ter 15% de casca e 85% de madeira.

O grau de curvatura do fuste em função da ocorrência dos ventos, não influenciou na formação de cerne e albarno no tronco, a relação cerne:albarno médio das árvores estudadas foi aproximadamente 0,65 (Tabela 1).

As médias para os teores de cerne, albarno e a respectiva relação destes, não acusaram diferença significativa pelo teste F a 5% de significância entre as faixas de inclinação.

Na Figura 7, nota-se maior teor de alburno que cerne nas quatro faixas de inclinação, que são explicados pela idade das árvores estudadas, uma vez que quanto menor a idade da árvore, menor teor de cerne.

Figura 7 – Teor de cerne e alburno nas árvores de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, em diferentes faixas de inclinação, aos seis anos de idade.



Todas as faixas de inclinação indicam maior teor de alburno contribuído positivamente para produção de celulose, uma vez que cavacos oriundos do alburno têm maior permeabilidade, sendo facilmente impregnados pelos reagentes no digestor, facilitando a polpação. E menor teor de cerne nas árvores estudadas induz a um menor teor de extrativos, que pode diminuir o consumo de álcali, aumentar o rendimento da polpa e diminuir a taxa de deslignificação na polpação.

O índice de esbeltez calculado para o híbrido estudado, nas árvores com inclinação nula foi superior a 1. Este resultado significa que com o aumento da altura das árvores, a cada metro, incrementou menos que 1 centímetro em DAP, tornando-as menos robustas e mais instáveis a ventos.

O alto índice de esbeltez pode ser explicado pelo fato de que o incremento em diâmetro não acompanha o crescimento em altura, ou seja, a atividade do tecido meristemático apical é muito mais intensa que a atividade do tecido meristemático na região cambial nos primeiros anos de vida das árvores, pois em plantios comerciais, as árvores são induzidas a crescer primeiro em altura em decorrência da competição por luz.

É conveniente ressaltar que a média do índice de esbeltez para as árvores não inclinadas foi ajustada com os dados obtidos no período em que as mesmas foram

colhidas. Acredita-se que, na idade em que as mesmas foram inclinadas, próximo aos três anos, que foi o período crítico em que tiveram maior grau de esbeltez, tornando-as mais instáveis e suscetíveis a ação de ventos.

3.2. Excentricidade da medula

Nos fustes inclinados, as seções transversais foram quase sempre excêntricas na forma e com anéis de crescimento desorganizados. O maior raio encontra-se na parte de cima da inclinação, ou seja, no lado tracionado, e na parte inferior a inclinação do tronco, o crescimento foi suprimido.

Os valores médios de excentricidade da medula das árvores nas faixas de inclinação estão na Tabela 2. No Apêndice 1, Tabela 1 B, consta o resumo das análises de variância referentes aos resultados da excentricidade da medula.

Tabela 2 – Valores médios de excentricidade da medula nas posições no sentido longitudinal do tronco em quatro faixas de inclinação, em árvores de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade

Posição do tronco	Excentricidade da medula (%)			
	Faixa de inclinação			
	0°	5° - 20°	20° - 35°	35° - 50°
0%	4,99 (1,4/27)	1,06 (1,5/22)	6,92 (6,4/92)	8,61 (3,8/44)
25%	3,17 (2,6/84)	6,28 (2,5/40)	10,67 (4,5/42)	9,18 (3,6/40)
50%	2,68 (0,7/26)	6,97 (5,0/73)	6,95 (3,1/45)	5,42 (2,3/43)
75%	3,02 (2,2/71,8)	5,15 (4,0/78)	6,2 (4,0/64)	6,82 (3,7/55)
100%	4,09 (0,9/22)	5,32 (4,2/80)	7,3 (5,1/70)	10,2 (6,2/70)
Média	3,60 b (1,8/50)	6,14 ab (3,4/56)	7,61 a (4,6/61)	8,04 a (4,2/52)

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na horizontal não diferiram estatisticamente pelo teste Tukey ($p \geq 0,05$).

Valores entre parêntesis referem-se ao desvio padrão e coeficiente de variação (%) respectivamente.

Nota-se um aumento da excentricidade da medula conforme ocorreu um incremento na inclinação dos fustes. Os resultados das médias nas faixas de inclinação tiveram diferença estatística quando submetidos ao teste F, no esquema de parcelas subdivididas a 5% de significância.

As árvores da faixa controle tiveram medula excêntrica. Ferreira et al. (2008), também notaram medula excêntrica em árvores com fuste reto em dois clones de *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis* aos sete anos de idade. A média dos valores da excentricidade da medula das árvores para a faixa controle foi de 4,11%. Ferreira et al. (2004), ao estudarem em dez clones com idades de 7 a 10 anos, encontraram excentricidade média da medula de 5,6%.

Não houve um modelo ajustado em nenhuma faixa de inclinação que caracterizasse um perfil de variação de excentricidade da medula no sentido longitudinal. É conveniente advertir que todos os parâmetros avaliados possuíram alto valor de desvio padrão, conforme Tabela 2.

Valores altos de excentricidade são um forte indicativo em incremento de madeira de tração (KOLLMANN; CÔTÉ JUNIOR, 1968; DLOUHÁ et al., 2008; WANG et al., 2010). Em decorrência da assimetria biomecânica no tronco das árvores inclinadas, nas posições com maior excentricidade da medula, possivelmente há um maior incremento em madeira de tração, assim, os resultados da Tabela 2 indicam que há maior incidência de madeira de tração nas posições mais próximas da base e do topo das árvores inclinadas.

Toras com valores altos de excentricidade de medula são mais propensas a formação de fendas circulares (GROSSER, 1980). Esta desvantagem é considerada para produção de madeira serrada e para produção de cavacos, pois dependendo do teor de umidade da tora para a transformação de cavacos, as fendas podem aumentar a quantidade de cavacos finos, que serão descartados do processo de polpação nas peneiras, afetando na produtividade dentro da fábrica.

Além disto, a madeira de tração aumenta a variabilidade do lenho e influencia na qualidade da madeira e nos parâmetros para produção de polpa, e para afirmar sobre a qualidade da madeira destas árvores, tornou-se necessário realizar estudos mais aprofundados das características do lenho das árvores inclinadas, disponível nos Capítulos 3 e 4 deste trabalho.

4. CONCLUSÕES

- As árvores inclinadas pelos ventos diminuem em comprimento comercial de fuste e em diâmetro, acarretando em um menor volume de madeira e de casca do que as árvores com fuste reto.

- O teor de madeira, casca e a relação cerne:alburno não foram influenciados pelas inclinações do tronco.

- Conforme a inclinação do tronco aumentou, houve um aumento de excentricidade da medula.

- Não foi encontrado relação entre excentricidade da medula e posição do tronco no sentido longitudinal para as árvores do clone estudado.

- Contudo, levando em consideração a qualidade da madeira, a excentricidade da medula aponta maior incidência de madeira de tração conforme se aumentou a inclinação do tronco, que interferiu diretamente nas propriedades da madeira normal e nos parâmetros de polpação.

5. REFERÊNCIAS

- BARBOSA, T. L. **Qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* cultivados em cinco regiões do Estado de Minas Gerais para produção de celulose.** 2013. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2013.
- CELULOSE NIPO-BRASILEIRA S.A - CENIBRA. **Avaliação de danos por ventos 2012/2013.** Pesquisa e Desenvolvimento Florestal. 2013.
- DLOUHÁ, J; ALMÉRAS, T; CLAIR, B; GRIL, J; HORACEK, P. Biomechanical performances of trees in the phase of active reorientation. **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**, v.56, n.5, p.39–45. 2008.
- 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. **Cerne**, v.10, n.1, p.10-21. 2004.
- FERREIRA, S; LIMA, J. T; TRUGILHO, P. F; MONTEIRO, T. C. Excentricidade da medula em caules de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias. **Cerne**, v. 14, n.4, p.335-340. 2008.
- GROSSER, D. **Defeitos de madeira.** Curitiba: Fupef, 1980. 62p. (Série Técnica, 2).
- KOLLMANN, F. F. P; CÔTÉ JUNIOR, 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. 2007.
- SANTOS, M. D. **Efeito do espaçamento de plantio na biomassa do fuste de um clone híbrido interespecífico de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*.** 2011. 152 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2011.
- WANG, Y; GRIL, J; CLAIR, B; MINATO, K; SUGIYAMA, J. Wood properties and chemical composition of the eccentric growth branch of *Viburnum odoratissimum* var. awabuki. **Trees**, v.24, n.3, p.541-549. 2010.

CAPÍTULO III

**CARACTERÍSTICAS ANATOMICAS DA MADEIRA DE REAÇÃO E ÍNDICES DE
QUALIDADE DE FIBRAS PARA CELULOSE DE ÁRVORES DE CLONE DE
Eucalyptus grandis x *Eucalyptus urophylla* INCLINADAS POR AÇÃO DE
VENTOS**

CAPÍTULO 3. Características anatômicas da madeira de reação e índices de qualidade de fibra para celulose de árvores de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* inclinadas por ação de ventos

RESUMO

A ação de rajadas de ventos pode ocasionar em plantios comerciais danos tanto na produtividade quanto na qualidade da madeira. Objetivou-se neste estudo avaliar a qualidade da madeira por meio das características anatômicas e os índices de qualidade de fibra no sentido longitudinal do fuste inclinado, nos lados superior e inferior à inclinação, em árvores provenientes de plantio comercial de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* inclinadas por ação de ventos, para produção de celulose. As árvores foram agrupadas em quatro faixas de inclinação variando de 0° a 50° e avaliadas suas características anatômicas e os índices de qualidade de fibra. Foi observado que a frequência e o diâmetro tangencial dos vasos, as dimensões das fibras e os seus respectivos índices de qualidade foram influenciadas pela inclinação das árvores. Na madeira de reação, tracionada e oposta, os vasos reduziram em diâmetro e aumentou a variabilidade em frequência dentro do tronco. As dimensões das fibras foram diferentes entre madeira tracionada, oposta e normal alterando nos índices de qualidade de fibra como o índice de Runkel, fração de parede e o coeficiente de flexibilidade. Por fim, em decorrência da grande variabilidade dos elementos celulares na madeira de reação, tracionada e oposta, concluiu-se que as características anatômicas da madeira de árvores inclinadas por ação de ventos contribuíram para redução na qualidade de lenho para obtenção de polpa celulósica.

Palavras chave: Madeira de reação. Caracterização anatômica. Qualidade da madeira.

CHAPTER 3. Anatomical characteristics of reaction wood and fibers' quality index to cellulose from clonal trees *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* inclined by wind action

ABSTRACT

The action of gusts winds may result in damage in both productivity and quality of commercial wood crop. The objective of this study was to assess the wood quality by the anatomical characteristics and quality index of fibers in the longitudinal direction of inclined stem, in the top and bottom inclination sides, of trees from commercial planting of clonal hybrid *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* affected by the action of winds, designed to produce cellulose. Trees were grouped into four ranges of inclination ranging from 0 ° to 50 ° and their anatomical characteristics and fiber quality index were evaluated. It was observed that the frequency and vessel diameter, the dimensions of the fibers and their respective quality index were influenced by the inclination of trees. In the reaction, tensioned and opposite wood, the vessels were reduced in diameter and increased in frequency variability inside the trunk. The dimensions of the fibers were different between the tensioned, opposite and normal wood, altering the fiber's quality index such as the Runkel index, fraction wall and flexibility coefficient. Finally, due to the great variability of cellular elements in the reaction, tensioned and opposite wood, it was concluded that the anatomical characteristics of leaned trees by winds action contributed to reduce the wood quality to obtain the cellulose pulp.

Keywords: Wood reaction. Anatomical characterization. Wood quality.

1. INTRODUÇÃO

A ação dos ventos é um fator natural e impossível de ser controlada. Árvores jovens com fuste muito alto são mais propícias a ser instáveis a este tipo de ação. Tal ocorrência em plantios comerciais pode causar estresse nas árvores, afetar na produtividade e na qualidade da madeira, e quando ocorre de forma acentuada, às rajadas podem causar danos como a inclinação do tronco em diferentes ângulos em um mesmo plantio.

Os fustes inclinados incrementam com madeira de reação por assimetria biomecânica, na tentativa da árvore voltar ao eixo vertical. Em folhosas, este lenho de reação é denominado de madeira de tração, e ocorre na parte superior do fuste inclinado. A madeira de reação formada do lado oposto à inclinação é pouco estudada em decorrência do incremento suprimido deste lado do fuste.

A madeira de tração possui características anatômicas diferentes do lenho normal, como menor frequência e menor diâmetro dos elementos de vasos, que podem afetar na penetração dos reagentes na polpação. Além disto, as fibras do lenho de tração são diferentes por causa da presença da camada gelatinosa, que possui e de fibras com menor largura, menor diâmetro de lume e maior espessura de parede, afetando nos índices de qualidade de fibra para produção de polpa e, conseqüentemente, no refino das fibras gelatinosas para formação de papel.

Estudar as características anatômicas das árvores inclinadas por ação de ventos é fundamental para compreender a qualidade da madeira das mesmas para a produção de polpa celulósica; é essencial para esclarecer sobre a qualidade das fibras para obtenção de papel; além de estimar a intensidade de madeira de reação que se forma no lenho proveniente das árvores com o fuste inclinado.

Dentro desse contexto, neste estudo objetivou avaliar a qualidade da madeira por meio das características anatômicas e os índices de qualidade de fibra no sentido longitudinal do fuste inclinado, no lado superior e inferior à inclinação, em árvores provenientes de plantio comercial de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* inclinadas por ação de ventos, para produção de celulose.

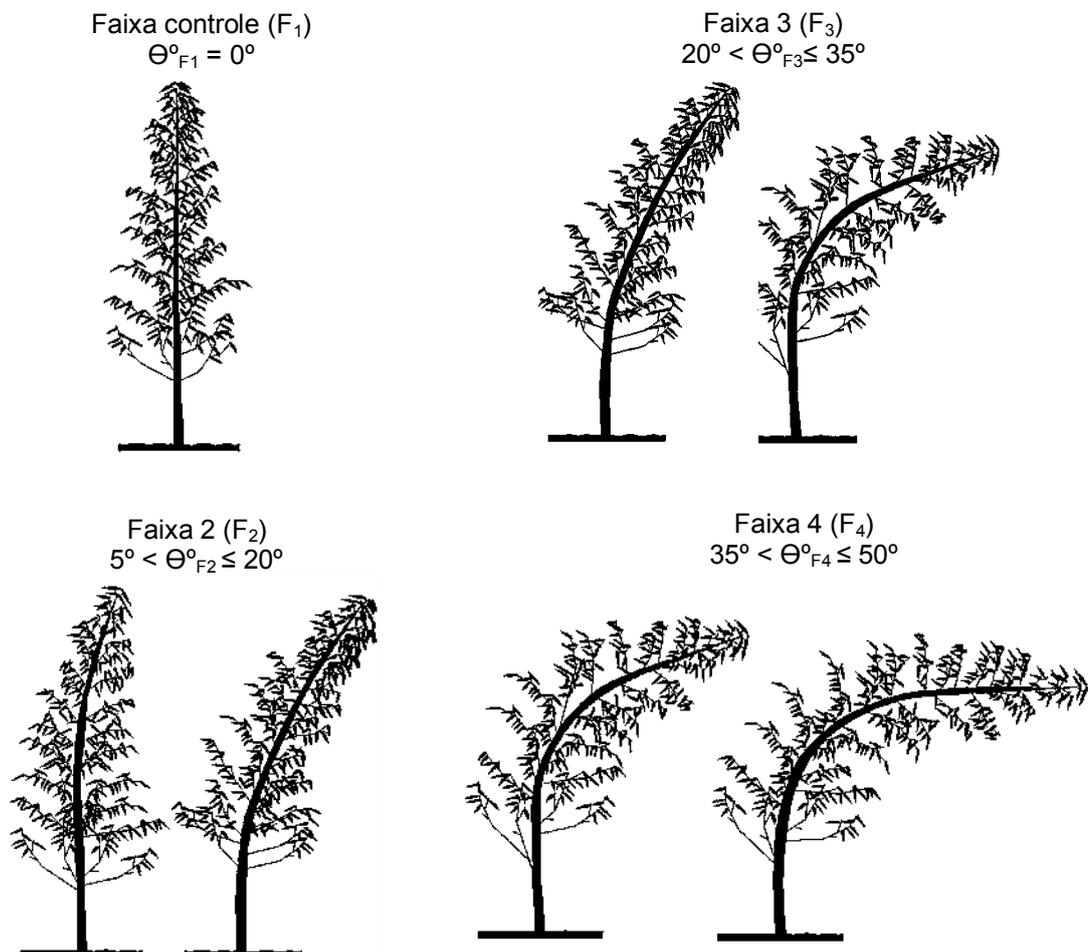
2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da amostragem

Foi utilizada a madeira proveniente de plantios florestais comerciais do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, do município de Ipaba, localizado na região do Vale do Rio Doce, leste do Estado de Minas Gerais. A região localiza-se a 19° 23' 45" de latitude sul e 42° 23' 40" de longitude oeste.

As árvores foram plantadas em fevereiro de 2007 em terreno de baixada com espaçamento de 3,00 x 3,33 m. O talhão foi atingido pela ação de ventos em novembro de 2009, 33 meses após o plantio, com velocidade de até 72 km.h⁻¹. O corte foi procedido em janeiro de 2013, 38 meses após a ocorrência dos ventos no talhão, e 71 meses após a data do plantio. Foram selecionadas 20 árvores ao acaso e separadas por faixas de acordo com o ângulo de inclinação, conforme a Figura 1.

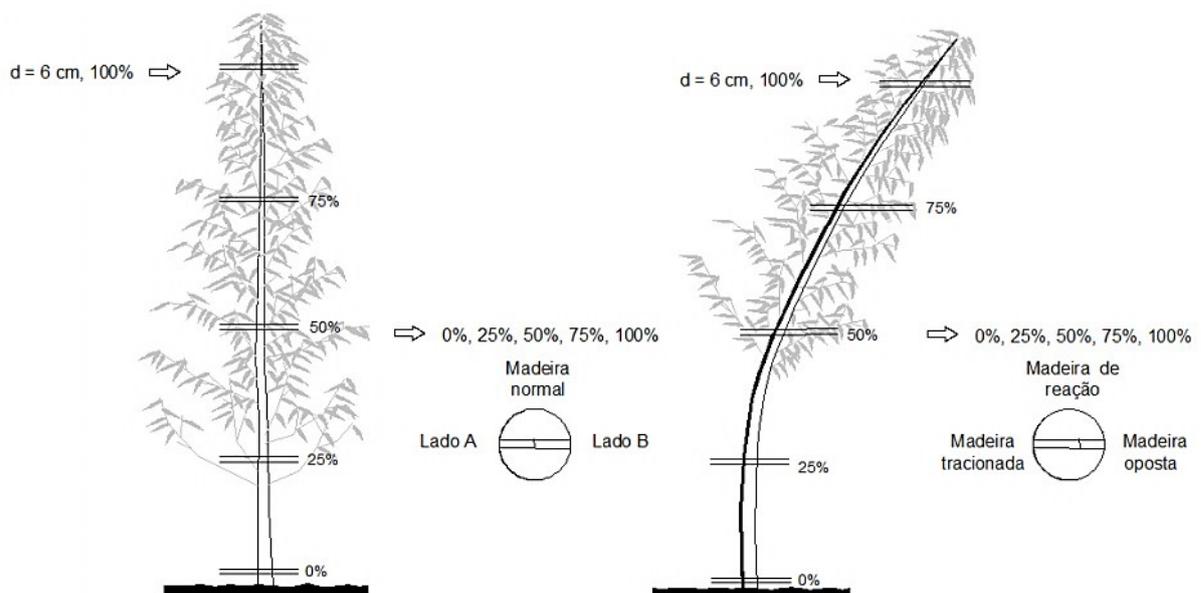
Figura 1 – Faixas de inclinação das árvores.



Na faixa 1 ou controle, as árvores possuíram inclinação nula. Nas faixas de inclinação 2, 3 e 4, as árvores foram classificadas em ângulos de 15°. A divisão das mesmas por faixa de inclinação permitiu analisar melhor as características da madeira nas árvores inclinadas com comprimento de tronco diferentes, no sentido base-topo e, principalmente, na região que formou uma flecha consolidada pela ação dos ventos.

Para cada faixa de inclinação foram coletadas cinco árvores. Cada exemplar foi dividido nas posições: 0, 25, 50, 75, 100% do comprimento comercial do tronco caracterizado por 6,0 cm de diâmetro. Em cada posição, foi retirado um disco de 3,0 cm de espessura (Figura 2). Os discos foram marcados na coordenada superior e inferior a inclinação do tronco, e em cada disco foi retirada duas amostras a partir da medula excêntrica, uma na madeira tracionada e a outra na oposta.

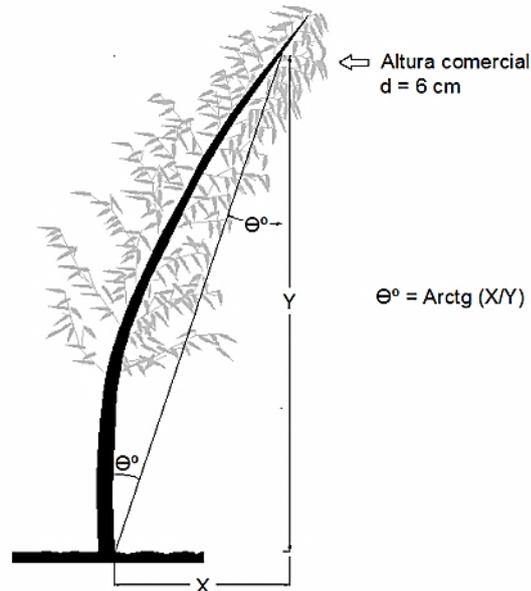
Figura 2 – Esquema da retirada dos discos e das amostras.



2.2. Determinação do ângulo de inclinação das árvores

Nas árvores com o fuste inclinado, o comprimento comercial do tronco foi caracterizado pelo diâmetro mínimo de 6,0 cm, no diâmetro onde seria a altura comercial das árvores para produção de celulose. Neste ponto, foram medidas a coordenada altura (Y) por meio do aparelho relascópio eletrônico, e a variação do tronco em relação ao solo (X) por medições com trena (Figura 3).

Figura 3 – Metodologia da determinação do ângulo de inclinação.



O ângulo de inclinação das árvores (θ°) em relação ao eixo vertical foi ajustado pela Equação 1. Desta forma, pode-se ter um parâmetro da flecha formada pela inclinação, da base até a altura comercial, homogeneizando a amostragem.

$$\text{Arctg}\theta^\circ = (x/y) \quad (1)$$

em que:

x é o deslocamento do tronco inclinado em relação ao solo (m), e y é a altura comercial vertical da árvore inclinada (m).

2.3. Caracterização anatômica da madeira

A descrição anatômica foi realizada a partir de cortes histológicos ao mensurarem a frequência e diâmetro dos poros, e por meio da dissociação dos elementos celulares foram mensurados o comprimento, largura e diâmetro de lume, e indiretamente a espessura da parede celular das fibras, obedecendo aos critérios da Comisión Pan-Americana de Normas Técnicas - COPANT (1974).

Com a finalidade de visualizar a madeira de tração, os cortes histológicos foram clarificados com hipoclorito de sódio (60%) e tingidos pela técnica de coloração dupla, inicialmente corado por safranina, e posteriormente, com corante específico para carboidratos, o azul de astra, conforme Sousa (2004). Por se caracterizar por

ausência ou quantidades menores de lignina, a madeira de tração é destacada pelo corante específico para carboidrato.

As mensurações foram obtidas pelo emprego de fotomicrografias das lâminas com o uso de câmera fotográfica de 7.1 “Mega pixels”, acoplada ao microscópio óptico, e por meio do *software* analisador de imagem Image-Pro Plus 4.5.

Os índices qualitativos de fibras para produção de papel foram estabelecidos de acordo com suas respectivas expressões, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Expressões para cálculo dos índices de qualidade das fibras para produção de papel

Nome	Expressão
Coefficiente de Flexibilidade (<i>CF</i>)	$CF = \frac{DL * 100}{L}$
Fração de Parede (<i>FP</i>)	$FP = \frac{2 * E * 100}{L}$
Índice de Runkel (<i>IR</i>)	$IR = \frac{2 * E}{DL}$

em que:

DL é o diâmetro do lume; *L* é a largura da fibra; e *E* é a espessura de parede da fibra.

2.4. Análise estatística

Os dados relativos às mensurações de elementos de vasos, fibras e índices qualitativos de fibras foram analisados por delineamento inteiramente casualizado, com os tratamentos dispostos no esquema de parcelas sub-subdivididas, sendo as parcelas (faixa de inclinação), subparcelas (posição do tronco) e sub-subparcelas (coordenada do disco).

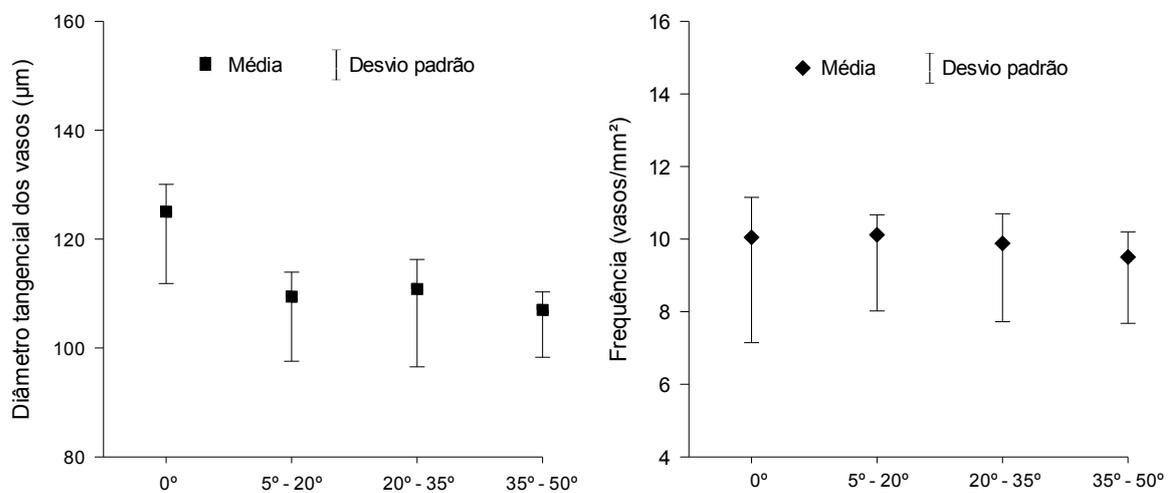
Os valores foram avaliados estatisticamente por meio de análise de variância a um nível de significância de até 5% de probabilidade. De acordo com o resultado do teste F, as médias obtidas para os tratamentos das parcelas foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. As posições do comprimento do tronco foram avaliadas por análise de regressão, e as duas posições do disco foram avaliadas pelo teste F.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Frequência e diâmetro tangencial dos vasos

O diâmetro vascular e a frequência destes elementos foi influenciada pela inclinação das árvores. Os valores médios encontrados para as faixas de inclinação são apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Média do diâmetro tangencial e da frequência vascular na madeira em árvores de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em diferentes faixas de inclinação, aos seis anos de idade.



As médias dos valores do diâmetro tangencial dos vasos nas faixas de inclinação diferiram estatisticamente pelo teste F, indicando vasos com maiores diâmetros nas árvores com fuste reto quando comparados aos das árvores inclinadas. Houve pouca diferença na média geral de frequência vascular, sugerindo que a madeira normal proveniente dos fustes reto possui maior porosidade e conseqüentemente maior facilidade de impregnação dos reagentes no cozimento para polpação kraft.

A frequência e o diâmetro dos vasos da madeira normal foram semelhantes aos valores médios encontrado por Lopes (2013), que caracterizou a anatomia do mesmo clone estudado sem a interferência de ventos, porém em região diferente, indicando que ação dos ventos não afetou nos parâmetros dos elementos dos vasos nas árvores de fuste reto.

O diâmetro tangencial e a frequência dos vasos diferiram entre a madeira normal proveniente de fustes retos e a madeira de reação, tracionada e oposta proveniente

de fustes inclinados (Tabela 2). No Apêndice 1, Tabela 1 C, consta o resumo das análises de variância dos valores do diâmetro tangencial e frequência vascular.

Tabela 2 – Valores médios da frequência e do diâmetro tangencial dos vasos da madeira tracionada e oposta em árvores de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos seis anos de idade por faixas de inclinação

Faixa de inclinação	Diâmetro (μm)			Frequência (vasos. mm^2)		
	Lado A	Lado B	Média	Lado A	Lado B	Média
0°	125,5	124,5	125,0 A	9,3	10,7	10,0 AB
	Madeira tracionada	Madeira oposta		Madeira tracionada	Madeira oposta	
5° - 20°	105,4	113,2	109,3 B	10,8	9,9	10,4 A
20° - 35°	110,1	111,5	110,8 B	11,4	9,3	9,9 AB
35° - 50°	106,5	107,4	106,9 B	9,6	9,4	9,5 B
Média	111,6 b	113 a		10,4 a	9,5 b	

Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúscula na vertical e minúscula na horizontal, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p \geq 0,05$).

Verifica-se na Tabela 2, que nas árvores inclinadas, os elementos de vasos da madeira tracionada diminuíram em diâmetro e aumentaram quantidade, comparados com a madeira oposta teve vasos com maior diâmetro e menor frequência. Este resultado indica um equilíbrio na porosidade do fuste, e evidência a importância dos elementos de vasos na fisiologia vegetal, principalmente no fluxo de seiva da árvore viva. Porém, a variação na porosidade na madeira destinada a produção de polpa celulósica leva a formação de cavacos de porosidade variável, influenciando na penetração do reagente no cozimento e conseqüentemente nos parâmetros de polpação.

Vasos com menores diâmetros é uma das características da madeira de tração (HUGHES, 1965). O menor diâmetro de vasos na madeira tracionada, também foi encontrado por Sousa (2004) em *Eucalyptus grandis* com cinco anos, e Washusen (2000) encontrou pouca diferença em *Eucalyptus globulus* com 11 anos.

Os valores médios da frequência e do diâmetro tangencial dos vasos no sentido longitudinal diferiram pelo teste F, a 5% de significância, conforme a Tabela 3. Observa-se que o maior diâmetro tangencial dos vasos foi encontrado em todas as posições no sentido longitudinal do tronco na madeira normal das árvores com o fuste reto, quando comparado com a madeira de reação tracionada e oposta das

árvores inclinadas, com exceção da posição mais alta. Já na frequência, houve alteração somente na base do tronco e nas posições mais próximas do topo.

Tabela 3 – Valores médios no sentido longitudinal no tronco da frequência e do diâmetro tangencial dos vasos em árvores de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos seis anos de idade por faixas de inclinação

Posição do tronco	Diâmetro (μm)				Frequência (vasos. mm^{-2})			
	Faixa de inclinação				Faixa de inclinação			
	0°	5° - 20°	20° - 35°	35° - 50°	0°	5° - 20°	20° - 35°	35° - 50°
0%	125,3 a	106,4 b	105,0 b	103,1 b	8,7 b	10,6 a	9,8 ab	8,6 b
25%	131,4 a	115,8 b	117,6 b	114,3 b	8,1 a	8,7 a	8,2 a	8,1 a
50%	133,5 a	114,4 b	119,3 b	110,8 b	8,9 a	8,9 a	8,7 a	10,1 a
75%	132,7 a	110,5 b	112,3 b	108,7 b	9,5 ab	11,2 a	10,2 ab	9,3 b
100%	102,4 a	99,8 a	100,1 a	97,9 a	15 a	12,6 b	12,6 b	11,5 b

Médias seguidas pelas mesmas letras, minúscula na horizontal, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p \geq 0,05$).

Na Figura 5, destaca o corte transversal da madeira normal, proveniente das árvores com o fuste reto. Na Figura 6, o corte transversal indica a transição da madeira normal para a de tração, que se destaca pela tonalidade azul em consequência do alto teor de holocelulose na parede das fibras gelatinosas.

A madeira formada antes da madeira de reação possui características anatômicas normais do híbrido estudado, e na madeira tracionada os vasos diminuíram em diâmetro e pouco alteraram em frequência (Figura 6).

Na Figura 7, o corte transversal destaca a transição da madeira normal para a de reação do lado oposto. Observa-se que os vasos da madeira oposta diminuíram de diâmetro, e aumentaram expressivamente em frequência.

Os cavacos com porosidade alta oriundos da madeira oposta são mais permeáveis, e possivelmente até o processo final do cozimento, as fibras destes cavacos serão mais degradadas, alterando os parâmetros da polpa. Além disto, o elevado número de vasos diminui a porcentagem de fibras por unidade de área.

Os valores médios de diâmetro e frequência vascular de cada coordenada estudada foram equilibrados pela madeira normal, formada antes da inclinação dos fustes e pela madeira de reação, tracionada no lado superior a inclinação, e oposta no lado inferior.

Figura 5 – A e B) Fotomicrografias na seção transversal da madeira normal de árvores com o fuste reto de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade.

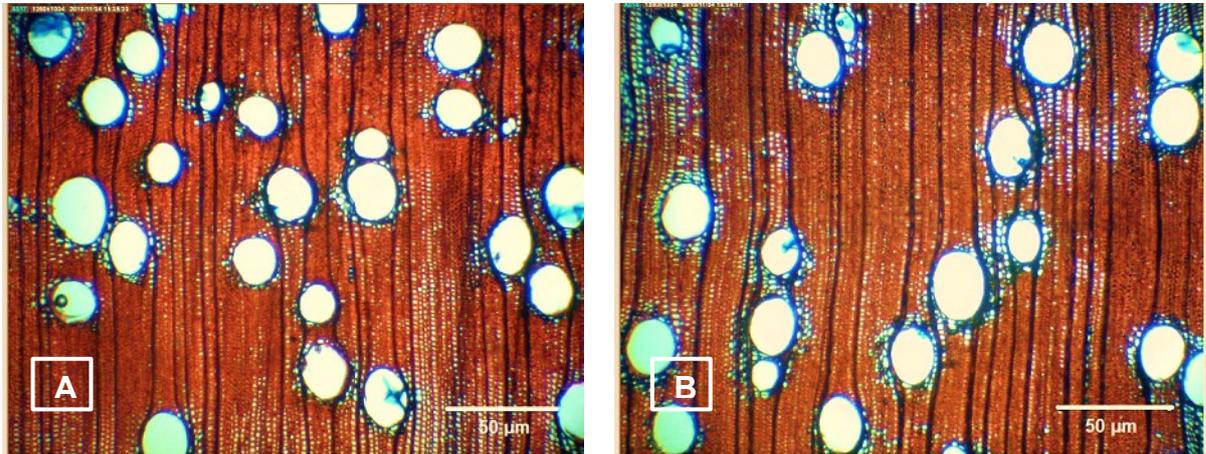


Figura 6 – Fotomicrografias na seção transversal da madeira de tração em árvores de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos seis anos de idade, inclinadas por ventos. A) madeira normal. B e C) faixa de transição entre madeira normal e madeira de tração. D) madeira tracionada.

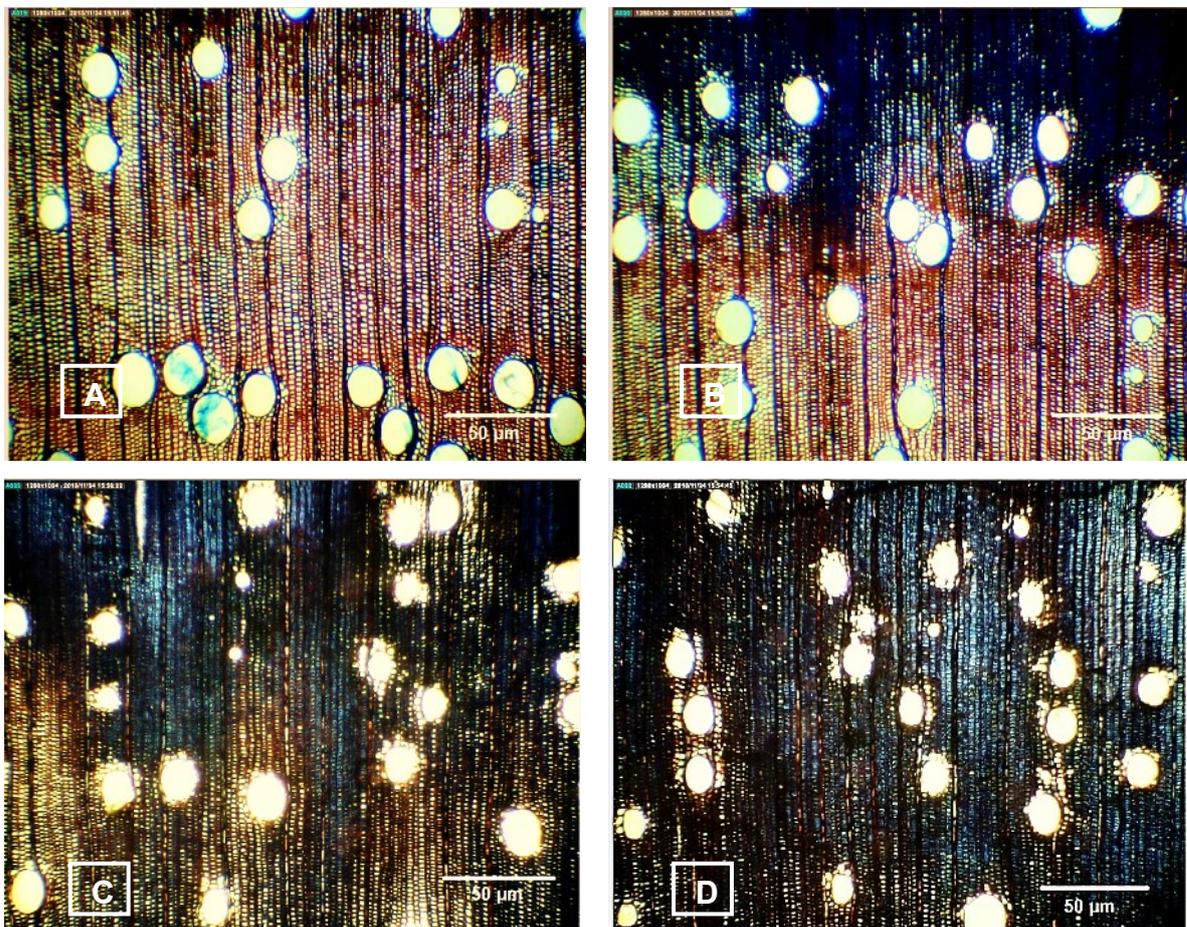
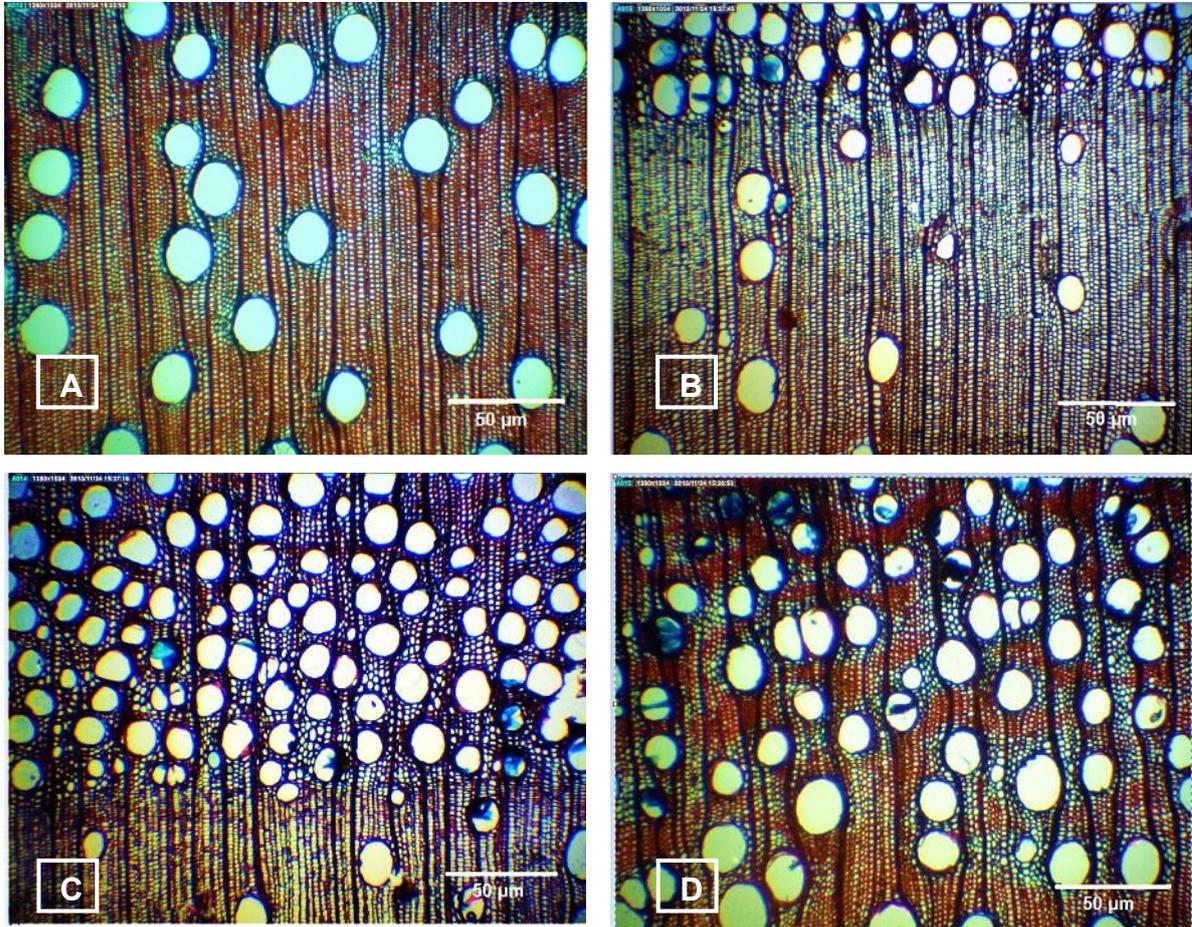


Figura 7 – Fotomicrografias na secção transversal da madeira oposta em árvores de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos seis anos de idade, inclinadas por ventos. A) madeira normal. B e C) faixa de transição entre madeira normal e madeira oposta. D) madeira oposta.



3.2. Caracterização das fibras

Os valores médios de comprimento de fibra e espessura de parede alteraram dentro do fuste nas árvores inclinadas, entre a madeira tracionada e oposta, conforme pode ser observado na Tabela 4.

A inclinação do tronco não influenciou no comprimento e na espessura da parede das fibras da madeira do clone estudado. Os valores médios encontrados para as faixas de inclinação foram aproximadamente 1035 µm de comprimento e 4,85 µm de espessura de parede celular.

Os valores médios obtidos são compatíveis com os valores dos principais clones de *Eucalyptus* das empresas produtoras de celulose Kraft do Brasil, estudado por Gomide et al. (2005), que encontraram valores de comprimento e espessura de parede variando entre 950 a 1070 µm, e 4,6 a 5,2 µm, respectivamente.

Tabela 4 – Valores médios do comprimento e da espessura da parede das fibras da madeira tracionada e oposta, em árvores de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos seis anos de idade por faixa de inclinação

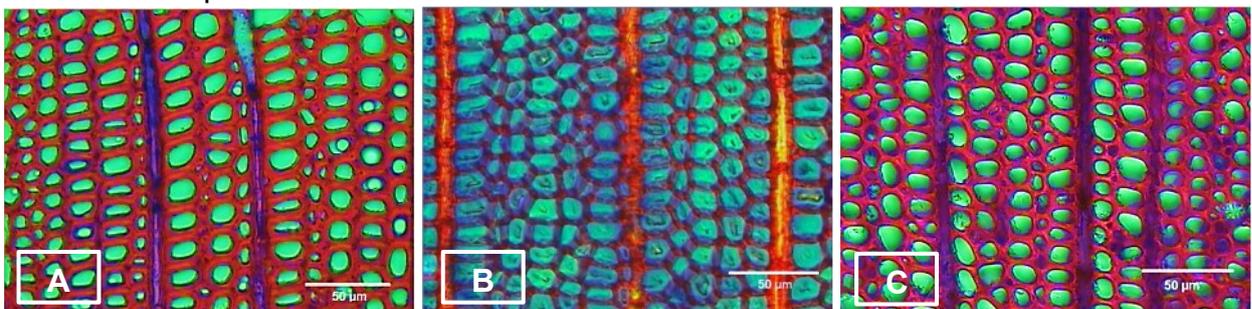
Faixa de inclinação	Comprimento (μm)			Espessura da parede(μm)		
	Lado A	Lado B	Média	Lado A	Lado B	Média
0°	1033 aC	1032 aA	1033	4,6 aC	4,7aA	4,7
	Madeira tracionada	Madeira oposta		Madeira tracionada	Madeira oposta	
5° - 20°	1087 aB	960 bB	1023	5,3aA	4,5 bA	4,9
20° - 35°	1155 aA	962 bB	1059	4,8 aBC	4,8 aA	4,8
35° - 50°	1083 aB	962 bB	1023	5,2 aAB	4,7 bA	4,9
Média	1090a	980b		5,0 a	4,7 b	

Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúscula na vertical, e ou minúscula na horizontal, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p \geq 0,05$).

A inclinação das árvores induziu a formação de fibras com menor comprimento, e menor espessura de parede na madeira oposta, quando comparada com a madeira normal e a madeira tracionada. A diminuição do comprimento das fibras contribui negativamente em algumas propriedades do papel produzido, como menor resistência à tração e menor resistência ao arrebentamento.

A presença da camada gelatinosa na madeira de tração acarretou em um aumento da espessura da parede na madeira quando comparada com a madeira normal e a madeira oposta, de acordo com a Tabela 4 e Figura 7. Paredes muito espessas aumentam a rigidez da fibra, que pode diminuir sua flexibilidade e ligação fibra-fibra na formação do papel, o que dificulta também a operação de refino das fibras.

Figura 7 – Fotomicrografias da seção transversal da madeira de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. A) normal B) tracionada C) oposta.



A inclinação do tronco causou alterações na largura e no diâmetro do lume das fibras na média geral das árvores, conforme se pode notar na Tabela 5. Todavia, não teve diferença estatística entre madeira tracionada e oposta, havendo comportamento semelhante na largura da fibra e no diâmetro do lume entre madeira tracionada e oposta. Apêndice 1, Tabela 1 D, consta o resumo da análise de variância dos resultados dos parâmetros da fibra, e dos índices de qualidade da fibra.

Tabela 5 – Valores médios da largura e diâmetro do lume das fibras da madeira de reação, em árvores de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos seis anos de idade por faixa de inclinação

Faixa de inclinação	0°	5° - 20°	20° - 35°	35° - 50°
Largura (µm)	20,1 b	21,0 a	21,5 a	21,3 a
Diâmetro do lume (µm)	10,5 c	11,2 b	11,9 a	11,4 ab

Médias seguidas pelas mesmas letras, minúscula na horizontal, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p \geq 0,05$).

A madeira de reação, tracionada e oposta das árvores inclinadas, tiveram médias maiores de largura de fibra e diâmetro de lume. Desta forma a madeira de reação alcançou menores quantidades de fibra por grama de celulose, o que poderá reduzir o *coarseness*, dificultar a opacidade, a estabilidade dimensional e a formação do papel produzido (FOELKEL, 1997).

A relação entre as dimensões das fibras fornecem índices indicativos de qualidade da madeira para polpa celulósica e produção de papel. Estes índices foram afetados pela inclinação do tronco, principalmente pela madeira tracionada e oposta (Tabela 6).

A madeira tracionada possui fibras com menor coeficiente de flexibilidade que a madeira normal e oposta, diminuindo a capacidade em realizar ligações na rede fibrosa. Foekel (1978) indicou que índice de flexibilidade menor pode refletir em um papel com menor resistência a tração. Neste contexto, Guimarães (2006) encontrou no papel oriundo de madeira de tração, menor resistência à tração comparada com o papel da madeira normal de *Eucalyptus grandis*.

A fração de parede indica a rigidez da fibra. Os valores médios encontrados na madeira de reação e na madeira normal estão dentro dos valores recomendados por

Foekel (1978), que indicou valores inferiores a 60%, pois fibras muito rígidas dificultam a ligação fibra-fibra.

Tabela 6 – Valores médios de índices indicativos de qualidade das fibras para produção de polpa celulósica e papel, na madeira tracionada e oposta, em árvores de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos seis anos de idade por faixa de inclinação

Faixa de inclinação	Coeficiente de flexibilidade (%)		Fração parede (%)		Índice de Runkel	
	Lado A	Lado B	Lado A	Lado B	Lado A	Lado B
0°	52,3 aA	51,1 aB	47,6 a	48,1 a	1	1
	Madeira tracionada	Madeira oposta	Madeira tracionada	Madeira oposta	Madeira tracionada	Madeira oposta
5° - 20°	48,7 bB	56,5 aA	51,6 a	43,5 b	1,4	0,8
20° - 35°	54,4 aA	54,5 aA	46,3 a	45,7 a	1	0,9
35° - 50°	51,9 bA	54,7 aA	48,1 a	48,0 a	1,3	0,9
Média	51,8 b	54,2 a	48,4 a	46,4 b	1,2 a	0,9 b

Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúscula na vertical, e ou minúscula na horizontal, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p \geq 0,05$).

O índice de Runkel se refere à flexibilidade da fibra para gerar ligações na população fibrosa. As fibras classificadas em até 0,25 são consideradas excelentes para papel, de 0,25 - 0,5 muito boas para papel, 0,5 - 1,0 boas para papel, 1,0 - 2,0 regulares para papel (RUNKEL, 1952; citado por ROCHA; POTIGUARA, 2007). Desta forma as fibras da madeira oposta são mais indicadas para a formação de papel, posteriormente as fibras da madeira normal, e seguida às fibras da madeira de tração.

4. CONCLUSÕES

- A inclinação da árvore influenciou nas características anatômicas da madeira.

- Nos fustes inclinados houve a presença da madeira de tração no lado superior a inclinação. No lado inferior houve a presença de madeira de reação, com características anatômicas diferentes da madeira normal e tracionada, que foi denominada de madeira oposta.

- A madeira de reação, tanto tracionada como oposta, proveniente dos fustes inclinados tiveram diâmetro de vasos menores que a madeira normal.

- Houve uma grande variabilidade na frequência de vasos, entre madeira normal, tracionada e oposta, e no sentido longitudinal do tronco. Esta variabilidade na porosidade contribui para reduzir a qualidade dos cavacos, acarretando em cavacos mais porosos e outros menos.

- As fibras da madeira de reação das árvores inclinadas, tanto tracionada quanto oposta, aumentaram em espessura de parede, largura e diâmetro do lume.

- Os índices indicativos de qualidade de fibra foram diferentes entre madeira tracionada e madeira oposta, em decorrência da variabilidade das dimensões das fibras do lado superior e inferior do tronco inclinado.

- Em decorrência da grande variabilidade dos elementos celulares, fibras e vasos, a madeira de reação poderá contribuir para redução na qualidade de lenho dos fustes inclinados para obtenção de polpa celulósica.

5. REFERÊNCIAS

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS – COPANT – Descripción de características generales, macroscópicas de las maderas angiospermas dicotiledóneas. **COPANT**, v.30, p. 1-19, 1974.

FOELKEL, C. E. B. **Madeira do eucalipto: da floresta ao digestor**. Boletim informativo. Congresso brasileiro sobre qualidade da madeira. São Paulo, 25p. 1978.

FOELKEL, C. E. B. Qualidade da madeira de eucalipto para atendimento das exigências do mercado de celulose e papel. **Eucalyptus online book**, 1997. 11p.

GOMIDE, J. L; COLODETTE, J. L; OLIVEIRA, R. C; SILVA, C. M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, v.29, n.1, p.129-137. 2005.

GUIMARÃES, C. C. J. **Estudo do branqueamento e das propriedades físico-mecânicas e óticas em polpa proveniente de madeira de tração de *Eucalyptus grandis***. 2006. 80 f. Monografia (Especialização em Tecnologia de Celulose e Papel) – Universidade Federal Viçosa, Viçosa, 2006.

LOPES, O. P. **Anatomia e identificação da madeira de genótipos de *Eucalyptus* spp. plantados no Estado de Minas Gerais**. 2013. 93f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

HUGHES, F. E. Tension wood: a review of literature. I. Occurrence and development of tension wood. II. The properties and use characteristics of tension wood. **Forest Abstracts**.v.26, n.1, p.1-9, v.26, n.2, p.179-186. 1965.

ROCHA, C. B. R; POTIGUARA, R. C. V. Morfometria das fibras das folhas de *Astrocaryum murumuru* var.*murumuru* Mart. **Acta Amazônica**, v.37, n.4, p. 511-516. 2007.

SOUSA, L. C. **Caracterização da madeira de tração em *Eucalyptus grandis* e sua influência na produção de polpa celulósica**. 2004. 93f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

WASHUSEN, R. **The occurrence and characteristics of tension wood and associated wood properties in *Eucalyptus globulus* Labill.** 2000. 252f. Thesis (Philosophy Doctor) – University of Melbourne. Cap.3. The anatomy and morphology of tension wood in plantation-grown *Eucalyptus globulus* Labil. p. 36-70. 2000.

CAPÍTULO IV

**QUALIDADE DA MADEIRA E AVALIAÇÃO DA POLPAÇÃO KRAFT DE
ÁRVORES DE CLONE DE *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*
INCLINADAS POR AÇÃO DE VENTOS**

CAPÍTULO 4. Qualidade da madeira e avaliação da polpação Kraft de árvores de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* inclinadas por ação de ventos

RESUMO

A ação de rajadas de ventos pode ocasionar, em plantios comerciais, danos tanto na produtividade quanto na qualidade da madeira. Espécies florestais de rápido crescimento são mais instáveis a este tipo de ação, especialmente árvores jovens. Objetivou-se neste estudo avaliar a qualidade da madeira por meio da determinação da densidade básica e da composição química no sentido longitudinal do fuste inclinado, nos lados superior e inferior à inclinação, em árvores atingidas por ação de ventos e explicar os parâmetros da polpação em decorrência da qualidade do lenho de árvores de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* para produção de celulose. As árvores foram agrupadas em quatro faixas de inclinação variando de 0° a 50°, avaliadas a densidade básica e a composição química no sentido longitudinal do fuste, e o desempenho na polpação kraft avaliado com base no rendimento depurado e número kappa. Foi encontrada menor densidade básica no fuste das árvores inclinadas, tendo a madeira tracionada comportamento semelhante à normal, e a madeira oposta com menor densidade quando comparadas com as madeiras de tração e normal. A redução e a variabilidade da densidade básica da madeira nas árvores inclinadas acarretaram menor rendimento depurado. Quanto à caracterização química, as árvores com fuste inclinado tiveram maior teor de holocelulose e menores teores de extrativos e ligninas, contribuindo positivamente para uma polpa mais deslignificada, com menor número kappa. Desta forma, quanto ao rendimento depurado, às árvores inclinadas não são indicadas para obter uma maior produtividade industrial. Contudo, podem ser indicadas para conseguir uma polpa mais deslignificada no cozimento e que consuma menores quantidades de reagentes no branqueamento.

Palavras chave: Madeira de reação. Propriedades da madeira. Polpa celulósica.

CHAPTER 4. Wood quality and pulping Kraft evaluation of trees of clone of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* inclined by wind action

ABSTRACT

The action of gusts winds may result in damage in both productivity and quality of commercial wood plantations. Fast-growing tree species are more unstable to this type of action, especially young trees. The aim of this study was to evaluate the wood's quality by measuring the basic density and chemical characterization of wood in the longitudinal direction of the leaned stem, in the top and bottom inclination sides, of trees affected by wind action, and to explain the parameters of the pulping as a result of the wood's quality of hybrid clonal *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* to produce cellulose. Trees were grouped into four ranges of inclination ranging from 0 ° to 50 °, basic density and chemical composition were assessed in the longitudinal way of the stem, the performance in the kraft pulping was evaluated based in its deperated efficiency and kappa number. Smaller specific gravity was found in the trees of the inclined stem, tensioned and normal woods showed up similar behavior, when compared to the tensioned wood the formers had higher density. The reduction and variability of the wood's density in leaning trees leads to lower deperated efficiency. Regarding the chemical characterization, trees with inclined stem had higher holocellulose content, lower levels of lignins and extractives, positively contributing to a more delignified pulp with lower kappa number. Therefore, leaning trees are not indicated for industrial production with high productivity and deperated efficiency. However, they can be indicated to achieve a more bleached pulp with lower reagent consumption.

Keywords: Wood reaction. Wood properties. Cellulose pulp.

1. INTRODUÇÃO

A madeira proveniente de espécies florestais de rápido crescimento, como a de híbridos clonais do gênero *Eucalyptus* para a indústria de celulose, é o principal instigador para o desempenho crescente do setor florestal brasileiro. No entanto, árvores jovens com fuste muito alto, são mais propícias a serem instáveis à ação de ventos.

Esta ação é um fator natural e impossível de ser controlada. Tal ocorrência em plantios comerciais pode causar estresse nas árvores, e afetar a produtividade e qualidade da madeira, e quando ocorre de forma acentuada, as rajadas podem causar danos como a inclinação do tronco em diferentes ângulos em um mesmo plantio.

Os fustes inclinados incrementam com madeira de reação por assimetria biomecânica, na tentativa da árvore voltar ao eixo vertical. Em folhosas, este lenho de reação é denominado de madeira de tração, e ocorre na parte superior do fuste inclinado. A madeira de reação formada do lado oposto à inclinação é pouco estudada em decorrência do incremento suprimido deste lado do fuste.

Em consequência da presença de fibras com parede gelatinosa, a madeira de tração é caracterizada com maior densidade básica e maior teor de celulose cristalina que a normal, todavia há controvérsias quanto à caracterização da densidade básica, que pode afetar ou não nos índices de produção e qualidade da polpa na produção de celulose.

Verificar os parâmetros de polpação é fundamental para averiguar a qualidade da madeira proveniente dos plantios. A determinação da densidade básica e a caracterização química da madeira são essenciais para explicar o comportamento do lenho diante dos parâmetros de polpação, principalmente quando se trata de assuntos pouco estudados, como é o caso da madeira de reação no lado tracionado e oposto.

Neste contexto, objetivou-se avaliar a qualidade da madeira por meio da determinação da densidade básica e da composição química no sentido longitudinal do fuste inclinado, nos lados superior e inferior à inclinação, em árvores atingidas por ação de ventos e explicar os parâmetros da polpação em decorrência da qualidade do lenho de árvores de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* para produção de celulose.

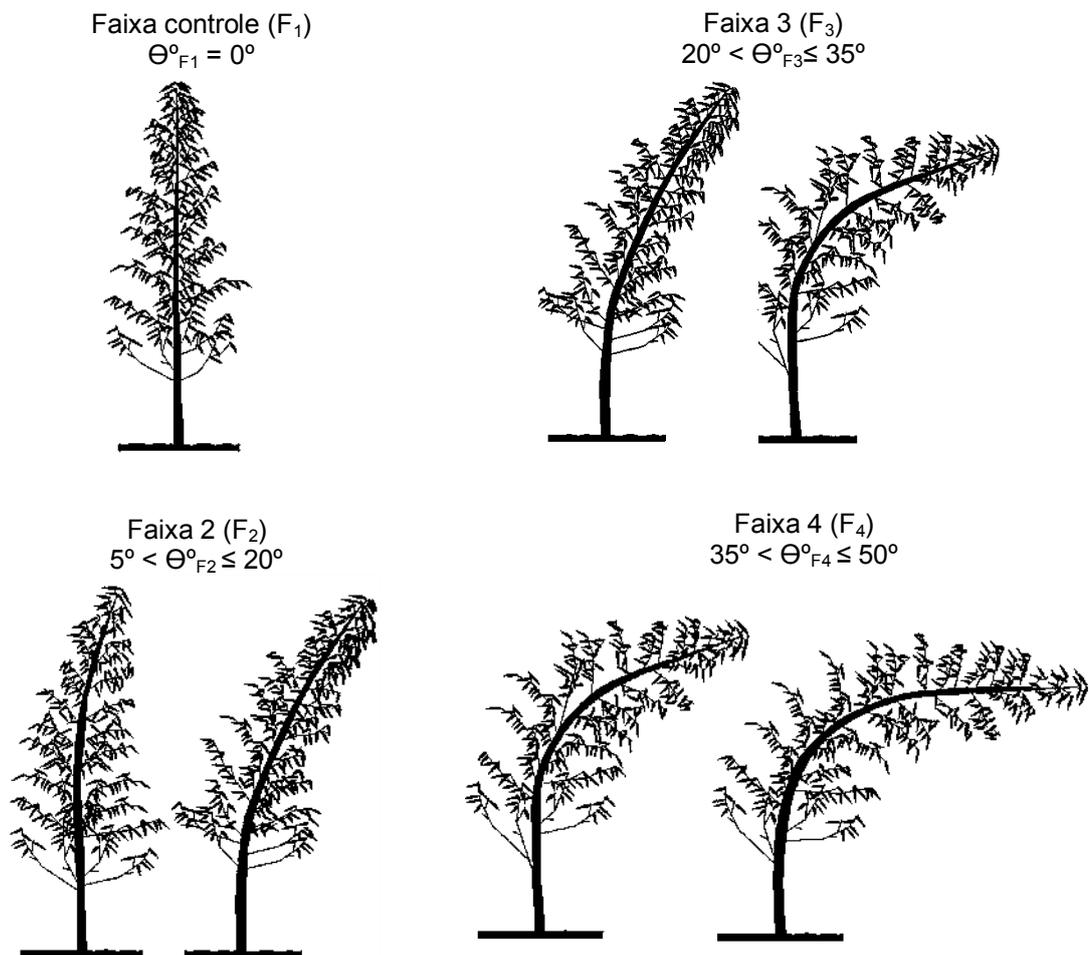
2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da amostragem

Foi utilizada a madeira proveniente de plantios florestais comerciais de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, do município de Ipaba, localizado na região do Vale do Rio Doce, leste do Estado de Minas Gerais. A região localiza-se a 19° 23' 45" de latitude sul e 42° 23' 40" de longitude oeste.

As árvores foram plantadas em fevereiro de 2007 em terreno de baixada com espaçamento de 3,00 x 3,33 m. O talhão foi atingido pela ação de ventos em novembro de 2009, 33 meses após o plantio, com velocidade de até 72 km.h⁻¹. O corte foi procedido em janeiro de 2013, 38 meses após a ocorrência dos ventos no talhão, e 71 meses após a data do plantio. Foram selecionadas 20 árvores ao acaso e separadas por faixas de acordo com o ângulo de inclinação, conforme a Figura 1.

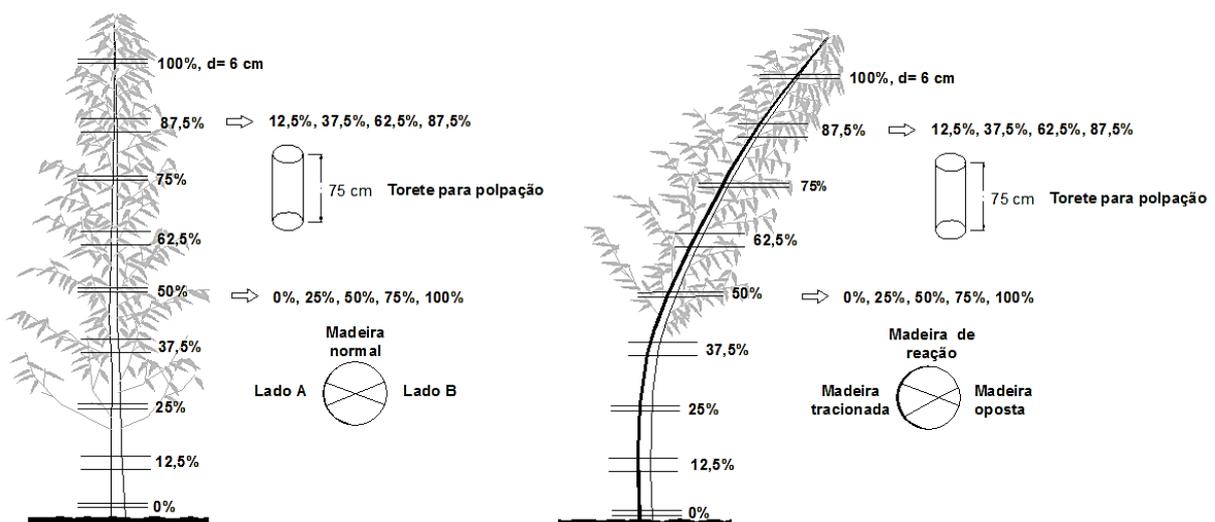
Figura 1 – Faixas de inclinação das árvores.



Na faixa 1 ou controle, as árvores possuíram inclinação nula. Nas faixas de inclinação 2, 3 e 4, as árvores foram classificadas em intervalos de 15°. A divisão das árvores por faixa de inclinação permitiu analisar melhor as características da madeira nas árvores inclinadas com comprimento de tronco diferentes, no sentido base-topo e, principalmente, na região que formou uma flecha consolidada pela ação dos ventos.

Para cada faixa de inclinação foram coletadas cinco árvores. Cada árvore foi dividida nas posições: 0, 25, 50, 75, 100% do comprimento comercial do tronco. Em cada posição, foram retirados dois discos de 3,0 cm de espessura como demonstrado na Figura 2, um para análise de densidade e outro para determinação da composição química. Nos discos das árvores com inclinação nula foi retirada cunhas para amostragem no 'lado a' e 'lado b' da madeira normal. Nos discos das árvores com o tronco inclinado foi retirada cunhas para amostragem nos lados superior e inferior à inclinação, coordenadas tracionada e oposta, respectivamente.

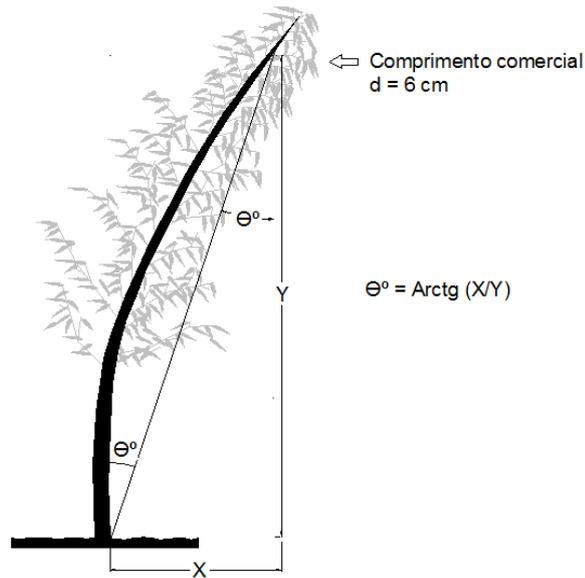
Figura 2 – Esquema da retirada dos discos e das amostras.



2.2. Determinação do ângulo de inclinação das árvores

Nas árvores com o fuste inclinado, o comprimento comercial do tronco foi caracterizado pelo diâmetro mínimo de 6,0 cm, no diâmetro onde seria a altura comercial das árvores para produção de celulose. Neste ponto, foram medidas a coordenada altura (Y) por meio do aparelho relascópio eletrônico, e a variação do tronco em relação ao solo (X) por medições com trena (Figura 3).

Figura 3 – Metodologia da determinação do ângulo de inclinação.



O ângulo de inclinação das árvores (Θ°) em relação ao eixo vertical foi ajustado pela Equação 1. Desta forma, pode-se ter um parâmetro da flecha formada pela inclinação, da base até a altura comercial, homogeneizando a amostragem.

$$\text{Arctg } \theta^\circ = (x/y) \quad (1)$$

em que:

x é o deslocamento do tronco inclinado em relação ao solo (m); y é a altura comercial vertical da árvore inclinada (m).

2.3. Determinação da densidade básica e caracterização química da madeira

Os procedimentos para a determinação da densidade básica foram adaptados da Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 1194, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2003).

De cada disco foram retiradas duas amostras, uma na coordenada tracionada e outra na oposta, obtendo duas densidades distintas. Obteve-se o volume saturado das amostras pelo método da balança hidrostática. As amostras foram climatizadas por 14 dias em condições de laboratório e conduzidas à estufa, a uma temperatura de 103 ± 2 °C onde permaneceram até alcançar massa constante, e realizadas as pesagens para obtenção da massa seca. A densidade básica foi obtida ao dividir a massa seca pelo volume saturado, conforme Vital (1984).

Os discos destinados à análise química foram transformados em uma amostragem composta em forma de cunha (Figura 2), para cada faixa de inclinação, posição no tronco e lado da inclinação. As amostras foram transformadas em palitos e posteriormente em serragem em moinho do tipo Willey. A serragem utilizada foi a que passou pela peneira de 40 e ficou retida na de 60 “mesh”, sendo secas, climatizadas e posteriormente pesadas amostras de 2 g absolutamente secas, para determinação dos teores de extrativos e de lignina total.

Os teores de extrativos na madeira foram determinados de acordo com a “Technical Association of the Pulp and Paper Industry” - TAPPI 264 om-82 (1992). A lignina insolúvel foi determinada pelo método Klason modificado de acordo com o procedimento proposto por Gomide e Demuner (1986). Já a lignina solúvel foi determinada por espectrometria, conforme Goldschimid (1971), tendo considerado o teor de lignina total a soma dos valores da lignina solúvel e insolúvel. O teor de holocelulose foi obtido por diferença [% holocelulose = 100 – (teor de extrativo + teor de lignina)].

2.4. Polpação Kraft da madeira

Os toretes destinados ao cozimento foram transformados em cavacos e posteriormente em uma amostragem composta para cada faixa de inclinação e posição do tronco (Figura 2). Para a polpação foram utilizados 100 g de cavacos absolutamente secos.

Os cozimentos krafts foram realizados com base na NBR ISO 302 (ABNT, 2005) em digestor laboratorial. Os tempos e as temperaturas de cada rampa de cozimento foram estabelecidos e controlados eletronicamente no painel do equipamento. No cozimento foram aplicadas cargas fixas de álcali ativo (15%), e a partir do cozimento foi determinado o rendimento depurado e o número kappa da polpa produzida.

2.5. Análise estatística

Os parâmetros da polpação foram analisados em um delineamento inteiramente casualizado ao considerar os tratamentos dispostos no esquema de parcelas subdivididas. Os dados da densidade básica e da caracterização química foram analisados ao empregar um delineamento inteiramente casualizado, com os tratamentos dispostos no esquema de parcelas sub-subdivididas com cinco

repetições. As parcelas (faixa de inclinação), subparcelas (posição do tronco) e sub-subparcela (coordenada do disco).

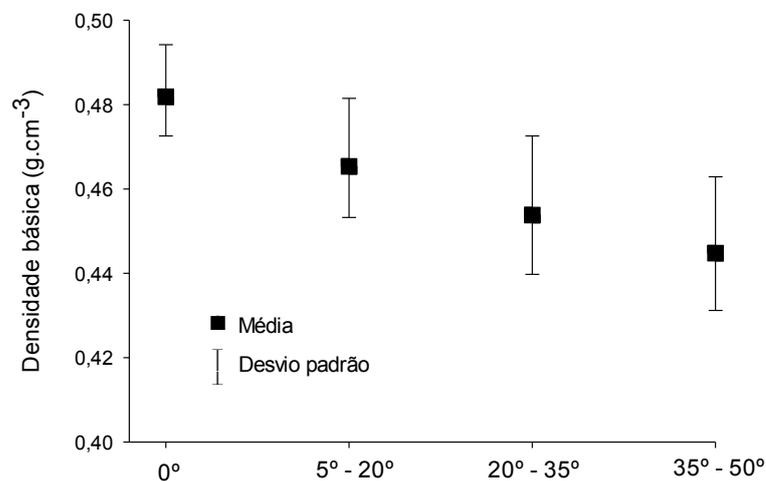
Os dados foram avaliados estatisticamente por meio de análise de variância e, conforme o resultado do teste F, as médias obtidas para os tratamentos das parcelas foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. As posições do comprimento do tronco foram avaliadas por análise de regressão, e as duas posições do disco foram avaliadas pelo teste F.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Densidade básica da madeira

Os valores médios para a densidade básica da madeira, para as faixas de inclinação, estão na Figura 4. Nota-se que, foi encontrado valor médio mais alto de densidade básica da madeira de árvores não inclinadas (controle), e valores mais baixos nas árvores que foram inclinadas pela ação dos ventos.

Figura 4 – Densidade básica média da madeira de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, inclinadas por ventos em diferentes faixas de inclinação, aos seis anos de idade.



Percebe-se na Figura 4, que a dispersão dos valores em torno da média aumentou conforme o incremento da faixa de inclinação, indicando uma maior variabilidade de densidade básica no tronco de árvores que foram inclinadas pela ação dos ventos.

Na indústria de celulose, em decorrência da padronização dos parâmetros da polpa em um cozimento, o ideal é obter a maior homogeneidade de densidade básica nos cavacos. Sendo assim, este estudo procurou evidenciar também a variação da densidade no sentido longitudinal do fuste, e entre as coordenadas tracionada e oposta.

Os valores de densidade básica média diferiram estatisticamente pelo teste Tukey entre as coordenadas tracionada e oposta na mesma faixa de inclinação, e entre as faixas de inclinação na mesma coordenada, Tabela 1. No Apêndice 1,

Tabela 1 E, consta o resumo da análise de variância dos resultados da densidade básica.

Observa-se na Tabela 1 que as médias dos valores no lado tracionado são semelhantes aos da madeira normal de árvores com fuste reto; e o contrário ocorreu no lado oposto, em que a densidade básica média das árvores inclinadas teve valores médios mais baixos que a faixa controle (árvores não inclinadas).

Tabela 1 – Valores médios da densidade básica da madeira tracionada e oposta, nas diferentes faixas de inclinação em árvores de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos seis anos de idade

Faixas de inclinação	Densidade básica da madeira (g.cm ⁻³)		
	Lado A	Lado B	Média
0°	0,483 Aa	0,480 Aa	0,481 A
	Madeira tracionada	Madeira oposta	Média
5° - 20°	0,492 Aa	0,438 Bb	0,465 AB
20° - 35°	0,481 Aa	0,425 Bb	0,453 AB
35° - 50°	0,467 Aa	0,421 Bb	0,434 B
Média	0,481 a	0,441 b	

Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúscula na vertical, e ou minúscula na horizontal, não diferiram estatisticamente pelo teste Tukey ($p \geq 0,05$).

Quando se comparam as madeiras tracionada e oposta, as médias de densidade na tracionada foram maiores em todas as faixas em árvores inclinadas. Sousa (2004) ao estudar o mesmo parâmetro em árvores inclinadas de *Eucalyptus grandis*, encontrou maior valor de densidade no lado tracionado que nas demais coordenadas do fuste, dentre elas a coordenada oposta.

Estes resultados caracterizam a madeira de tração com densidade maior que a oposta, e contradiz alguns autores, dentre eles Esau (1974) e Bowyer et al. (2007), que ressaltaram maior densidade básica na madeira de tração que na normal para diversas espécies de folhosas.

É importante ressaltar a diferença entre madeira normal e oposta. Nesta pesquisa, a madeira normal foi considerada aquela produzida por árvores sem a presença da madeira de tração, podendo ser encontrada em árvores com inclinação nula.

Dadswell e Wardrop (1949) citaram que a densidade básica da madeira de tração é maior que a de madeira normal, na proporção de 4:3. Neste trabalho, foi

encontrada esta mesma proporção citada pelos autores, porém entre madeira de tração e madeira oposta.

Desta forma, a média dos valores de densidade básica da madeira de clone de *Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla* no lado tracionado não se comportou estatisticamente diferente da madeira normal, para as três faixas de inclinação estudadas. No entanto, foi encontrada diferença nos valores de densidade básica entre madeira normal e oposta, e também entre madeira tracionada e oposta.

Os menores valores de densidade básica na madeira oposta podem ser explicados pelo aumento da frequência dos vasos na madeira de reação desta coordenada. Como a madeira oposta é suprimida, madeira incrementada tem uma frequência de vasos muito grande, diminuindo a densidade básica deste lenho, conforme visto no Capítulo 3 “Anatomia da madeira de árvores de clone de *Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla* inclinadas por ação de ventos para produção de celulose”.

Na Tabela 2 observam-se os valores médios, e os modelos ajustados com os valores obtidos de densidade básica no sentido longitudinal do tronco. Notam-se médias menores para a madeira de reação do que para a normal.

Tabela 2 – Valores de densidade básica média da madeira no sentido longitudinal no tronco e equações ajustadas, para as diferentes faixas de inclinação em árvores de clone de *Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla* inclinadas por ventos, com seis anos de idade

Posição longitudinal no tronco	Densidade básica da madeira (g.cm ⁻³)				
	Faixas de inclinação				
	0°	5° - 20°	20° - 35°	35° - 50°	
0%	0,520	0,485	0,489	0,480	
25%	0,468	0,455	0,462	0,462	
50%	0,475	0,465	0,455	0,433	
75%	0,480	0,461	0,431	0,422	
100%	0,466	0,460	0,432	0,425	
Equações ajustadas					
	0°	5° - 20°	20° - 35°	35° - 50°	
Lado A	$\hat{Y} = 0,50 - 0,04x$ R ² = 71,8%	Madeira tracionada Madeira oposta	$P_{\text{Médio}} = 0,49$	$\hat{Y} = 0,51 - 0,05x$ R ² = 87,5%	$\hat{Y} = 0,50 - 0,08x$ R ² = 81,1%
Lado B	$\hat{Y} = 0,50 - 0,04x$ R ² = 58,4%		$\hat{Y} = 0,45 - 0,13x + 0,12x^2$ R ² = 82,8%	$\hat{Y} = 0,47 - 0,17x + 0,12x^2$ R ² = 88,5%	$\hat{Y} = 0,46 - 0,37x + 0,7x^2$ R ² = 99,8%

As equações ajustadas para a faixa controle foram semelhantes em ambos os lados, e apontaram uma tendência linear decrescente em função da altura do fuste, da base ao topo. No entanto, para cada faixa de árvores inclinadas, o comportamento foi peculiar, tanto na madeira oposta quanto na tracionada.

Neste estudo, pode-se inferir que a madeira do lado tracionado não teve relação com a densidade básica. Todavia, deve-se alertar para menor densidade encontrada nas árvores inclinadas, e nos cuidados que se deve tomar quando utilizada a densidade básica de uma árvore como parâmetro de qualidade da madeira para produção de polpa celulósica, em decorrência da variabilidade de densidade encontrada dentro de uma mesma árvore inclinada.

Washusen et al. (2005) também encontrou uma baixa relação entre densidade básica e madeira de tração em *Eucalyptus globulus* com 10 anos, plantado em três regiões distintas na Austrália, e advertiu quanto ao uso deste material para produção de celulose, por causa da heterogeneidade de densidade básica nos cavacos.

De acordo com Guimarães (2006), o papel produzido a partir de madeira de tração de *Eucalyptus grandis* possui qualidade inferior ao proveniente de madeira normal. A não segregação dos cavacos por densidade em um mesmo cozimento, provenientes de árvores inclinadas, irá afetar na padronização da polpa, que pode diminuir sua qualidade e contribuir para um produto de menor qualidade, além de afetar significativamente nos parâmetros como o rendimento depurado, viscosidade da polpa, e dificuldades em se obter o número kappa desejável.

3.2. Caracterização química da madeira

Os valores médios da caracterização química da madeira das árvores afetadas pela ação dos ventos podem ser observados na Tabela 3. No Apêndice 1, Tabela 1 F, consta o resumo da análise de variância dos resultados da caracterização química.

Nota-se que as árvores inclinadas tiveram maior teor de holocelulose quando comparado àquelas de fuste reto, aproximadamente 3,6% a mais. Este resultado é importante para a indústria de celulose, pois para esta finalidade é desejável um maior teor de holocelulose, pois se consegue obter um maior rendimento da polpa,

alcança-se maior produtividade, e consome-se menor quantidade de reagentes no cozimento e no branqueamento da polpa.

Tabela 3 – Valores médios dos teores de extrativos, lignina e holocelulose da madeira tracionada e oposta, e nas diferentes faixas de inclinação em árvores de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* inclinadas por ventos, com seis anos de idade

Madeira		Faixas de inclinação					Média
		0°		5° - 20°	20° - 35°	35° - 50°	
Teor de extrativos (%)	Lado A	3,5 aA	Madeira tracionada	2,4 bB	1,9 cB	2,4 Bb	2,7 B
	Lado B	3,8 aA	Madeira oposta	2,9 bA	2,6 cA	3,0 bA	3,0 A
	Média	3,7 a		2,7 b	2,3 c	2,7 b	
Teor de lignina (%)	Lado A	30,5 aA	Madeira tracionada	27,5bB	27,2bB	27,6bA	28,2 B
	Lado B	30,2 aA	Madeira oposta	28,9 bA	28,2 bcA	27,4 cA	28,7 A
	Média	30,4 a		28,2 b	27,7 b	27,4 b	
Teor de holocelulose (%)	Lado A	65,7 bA	Madeira tracionada	70,0 aA	70,7 aA	70,0 aA	69,1 A
	Lado B	66,1 cA	Madeira oposta	68,0 bB	69,2 abB	69,6 aA	68,2 B
	Média	65,9 b		69,0 a	70,0 a	69,8 a	

Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúscula na vertical, e ou minúscula na horizontal, não diferiram estatisticamente pelo teste Tukey ($p \geq 0,05$).

Foram encontrados maiores valores do teor de holocelulose na madeira de tração quando comparado à oposta. Nas três faixas de árvores inclinadas, a madeira tracionada atingiu 69,1% de holocelulose, enquanto a oposta 68,2%.

As quantificações dos teores de extrativos e de lignina são importantes em diversos usos da madeira, especialmente na indústria de celulose. Em consequência do maior teor de holocelulose na madeira de reação, o teor de extrativos e de lignina proveniente da madeira normal foi maior do que a madeira de reação, tanto na madeira tracionada quanto na oposta, aproximadamente 3,7% de extrativos e 30,4% de lignina na madeira normal e 2,5% de extrativos e 27,7% de lignina na madeira de reação, oposta e tracionada.

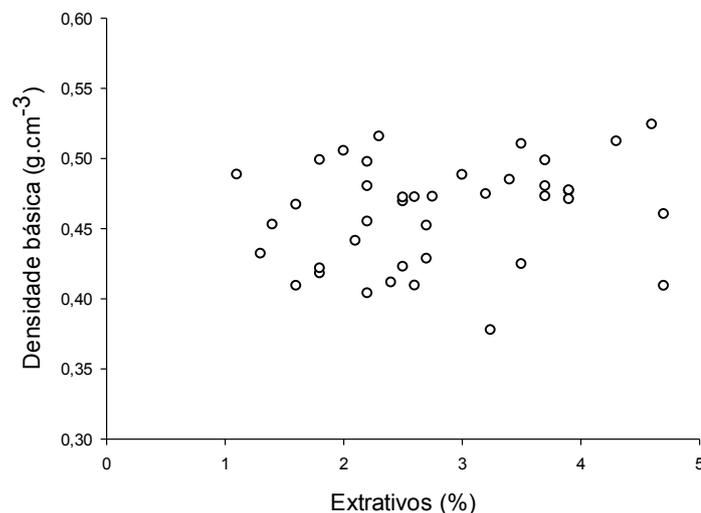
A madeira tracionada teve também menores teores de extrativos e ligninas do que a oposta, porém com menor magnitude do que a normal, com 2,7% de

extrativos e 28,2% de lignina na madeira tracionada, e 3% de extrativos e 28,7% de lignina na oposta. Este resultado está de acordo com Aguayo et al. (2010), que também encontraram menor teor de extrativos e de ligninas na madeira tracionada quando comparada com a oposta em *Eucalyptus globulus*, com oito anos de idade.

Os teores de extrativos e de ligninas mais baixos na madeira de reação são favoráveis na produção de celulose. Maiores teores de lignina e extrativos significam maior consumo de reagentes químicos no processo, e tendem a elevar os custos do mesmo.

Também foi encontrado menor teor de extrativos na madeira de tração em *Eucalyptus globulus* por Washusen e Ilic (2001) e em *E. camaldulensis* por Baba et al. (1996). Sousa (2004) também encontrou menor teor de extrativos em *E. grandis* e advertiu que esta diminuição ocorre em decorrência do aumento da densidade da madeira e não a uma diminuição da presença desses compostos. Neste trabalho, a diminuição do teor de extrativos na madeira de reação não ocorreu por causa da diminuição da densidade básica, pois não houve correlação expressiva a 5% de significância, conforme observado na Figura 5.

Figura 5 – Relação entre o teor de extrativos e a densidade básica.



3.3. Polpação Kraft da madeira

Os valores médios do rendimento depurado e o número kappa da polpa proveniente das árvores inclinadas podem ser visualizados na Tabela 4. No

Apêndice 1, Tabela 1 G, inclui-se o resumo da análise da variância dos parâmetros da avaliação Kraft.

Tabela 4 – Valores médios do rendimento depurado e do número kappa da madeira de reação, em árvores de diferentes faixas de inclinação de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* inclinadas por ventos, com seis anos de idade por posição longitudinal no troco

Faixas de inclinação	Posição longitudinal no tronco				
	Rendimento depurado (%)				
	12,5%	37,5%	62,5%	87,5%	Média
0°	53,0 AB	53,8 A	53,4 A	53,0 A	53,3 A
5° - 20°	53,5 A	53,7 A	52,5 B	51,9 B	52,9 AB
20° - 35°	53,0 AB	53,5 AB	52,4 B	51,8 B	52,7 B
35° - 50°	52,5 B	53,0 B	53,8 A	52,6 A	52,9 AB
Faixas de inclinação	Número kappa				
	12,5%	37,5%	62,5%	87,5%	Média
	0°	16,0 A	15,0 A	14,7 AB	15,1 A
5° - 20°	14,3 BC	13,2 B	15,0 A	13,8 B	14,1 B
20° - 35°	13,6 C	13,4 B	14,4 AB	14,3 AB	13,9 B
35° - 50°	14,8 B	12,9 B	13,8 B	14,3 AB	13,9 B

Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúscula na vertical, não diferiram estatisticamente pelo teste Tukey ($p \geq 0,05$).

Verifica-se na Tabela 4 que a madeira normal proveniente de fustes reto produziu polpa com maior número kappa e maior rendimento depurado que as árvores de fuste inclinado. Nota-se também que os menores rendimentos para cada faixa de inclinação encontram-se na parte mais alta do fuste, justamente onde a madeira tem maior frequência de vasos, e foi encontrada a madeira menos densa.

Os resultados encontrados sugerem que as árvores inclinadas diminuíram em rendimento em consequência da menor densidade básica encontrada nestes fustes, principalmente na madeira oposta, que teve densidade básica menor, significando menor massa fibrosa por unidade de volume. Outro fator que contribuiu para menor massa fibrosa por unidade de volume, e conseqüentemente diminuição em rendimento na madeira de reação, foi um lenho mais poroso na madeira oposta (Capítulo 3), que gerou cavacos contendo uma maior frequência de vasos,

aumentando a permeabilidade destes, na qual as fibras foram facilmente deslignificadas e possivelmente degradadas até o final do cozimento.

Conforme se observa na Tabela 4, em média, a madeira de reação atingiu níveis de deslignificação mais facilmente oscilando em 52,7 - 52,9% no rendimento depurado e kappa 14, quando comparado com 53,3% de rendimento e kappa 15,2 na madeira das árvores de tronco reto.

Nota-se que a variação de rendimento e kappa nas posições do tronco são maiores para a madeira de reação do que para a normal, em decorrência da maior variabilidade das características tecnológicas da madeira encontrada nas árvores inclinadas. Na madeira de reação, houve até 1,8% de diferença de rendimento, comparado a 0,8% na madeira normal.

O número kappa é usado para definir o grau de deslignificação da polpa. Desta forma, a madeira de reação atingiu maiores valores de número kappa em decorrência do menor teor de lignina encontrado, tanto na madeira tracionada quanto na oposta, quando comparado com a madeira normal proveniente de fustes retos. Todavia, de acordo com Caux (2012), menores números Kappa significam maior deslignificação na polpa, e conseqüentemente tende a diminuir o rendimento e, favorecem no branqueamento da polpa.

4. CONCLUSÕES

- A madeira normal e a tracionada tiveram densidades básicas semelhantes. Enquanto a densidade da madeira oposta foi inferior, sendo responsável pela diminuição da densidade básica da madeira das árvores inclinadas pelo vento.

- A madeira de reação, tanto tracionada como oposta, obteve menores teores de extrativos e ligninas, e maior teor de holocelulose.

- Por causa das diferenças de densidade básica e da composição química, a madeira oposta não pode ser designada como madeira normal.

- Em decorrência da menor densidade básica, houve uma redução no rendimento depurado na madeira proveniente das árvores inclinadas, que irá influenciar negativamente na produtividade do processo de polpação.

- Os constituintes químicos foram favoráveis na qualidade da madeira. O aumento do teor de holocelulose e a redução dos teores extrativos e ligninas contribuíram positivamente para obter uma polpa mais deslignificada, diminuindo o número kappa, podendo ser mais facilmente branqueada e, conseqüentemente com menor consumo de reagentes.

5. REFERÊNCIAS

- AGUAYO, M. G.; QUINTUPILL, L.; ROSARIO CASTILLO, R.; BAEZA, J.; FREER, J.; MENDONÇA, R. T. Determination of differences in anatomical and chemical characteristics of tension and opposite wood of 8-year old *Eucalyptus globulus*. **Madera: Ciencia y Tecnologia**, v.12, n.3, p. 241-251, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT- NBR 1194**: madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT- NBR ISO 302**: pastas celulósicas: determinação do número Kappa. Rio de Janeiro, 2005. 11p.
- 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.
- BOWYER. J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. H. **Forest products & wood science**: an introduction. 5.ed. Iowa: Blackwell Publishing, 2007. 674 p.
- CAUX, L. S.; DALVI, L. C. Impacto das variações do número kappa sobre a composição e qualidade do licor preto. 45º International Pulp and Paper Congress – ABTCP. 2012. 9p.
- DADSWELL, H. E; WARDROP, A. B. What is reaction wood? **Australian Forestry**, v.13, n.1, p.22-33. 1949.
- ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1974. 203p.
- GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V; LUDWIG, C. H. (Ed.) **Lignins**. New York: Wiley Interscience, p. 241-266, 1971.
- GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O papel**, v.47, n.8, p. 36-38, 1986.
- GUIMARÃES, C. C. J. **Estudo do branqueamento e das propriedades físico-mecânicas e ópticas em polpa proveniente de madeira de tração de *Eucalyptus grandis***. 2006. 80f. Monografia (Especialização em Tecnologia de Celulose e Papel) – Universidade Federal Viçosa, Viçosa, 2006.
- SOUSA, L. C. **Caracterização da madeira de tração em *Eucalyptus grandis* e sua influência na produção de polpa celulósica**. 2004. 93f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY– TAPPI. **Tappi test methods**. Atlanta, 1992.
- VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, 1984. 21 p. (Boletim Técnico, 1).

WASHUSEN, R. K; ILIC, J. 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.; 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, n.2, p.176-182. 2005.

CONCLUSÕES FINAIS

O volume de madeira das árvores inclinadas foi menor do que em árvores com o tronco reto. Desta forma, o volume de madeira no plantio foi reduzido, e dependendo da intensidade de árvores inclinadas no talhão, pode-se acarretar em perda de matéria prima significativa.

As propriedades tecnológicas inerentes à qualidade da madeira de árvores inclinadas para polpação foram necessárias para obter o entendimento dos parâmetros da polpação Kraft. A madeira de reação das árvores inclinadas, tracionada e oposta, teve comportamento diferente da madeira normal e da forma esperada de acordo com base em estudos em madeira de tração, principalmente no que tange às propriedades da madeira oposta.

Propriedades da madeira como menor densidade, derivada principalmente dos caracteres anatômicos estudados, conferiu à madeira de reação menor rendimento depurado na polpação Kraft. Por outro lado, as propriedades químicas da madeira de reação atribuíram a este tipo de lenho uma maior deslignificação na polpação.

Por fim, a qualidade da madeira de reação no híbrido clonal estudado foi inferior à madeira normal. A continuação deste trabalho, analisando os parâmetros do branqueamento da polpa, refino e as propriedades do papel formado a partir deste lenho podem conferir a viabilidade do uso ou não da madeira de árvores inclinadas para produção de celulose e papel.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAZ, R. L. **Caracterização do lenho de árvores de clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em áreas sujeitas a danos por ventos.** 2011. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2011.

CARDOSO, A. L. **Desrama artificial em eucalipto e seu efeito na resistência a danos por vento e nós da madeira.** 2011. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2011.

CELULOSE NIPO-BRASILEIRA S.A - CENIBRA. **Avaliação de danos por ventos 2012/2013.** Pesquisa e Desenvolvimento Florestal. 2013.

FERREIRA, S; LIMA, J. T; TRUGUILHO, P. F; SILVA, J. R. M. S; ROSADO, A. M; MONTEIRO, T. C. Resistência mecânica de caules de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias. **Cerne**, v.16, suplemento, p. 133-140. 2010.

ROSADO, A. M; ATAÍDE, G. M; CASTRO, R. V. O; CORREIA, A. C. G. Avaliação da tolerância à quebra por vento em árvores de eucalipto via teste de resistência. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.33, n.75, p.309-315. 2013.

SOUSA, L. C. **Caracterização da madeira de tração em *Eucalyptus grandis* e sua influência na produção de polpa celulósica.** 2004. 93f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

APÊNDICES

APÊNDICE 1. Resumo das análises de variâncias dos parâmetros dendométricos, da caracterização tecnológica, e da avaliação da polpação Kraf da madeira de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, em árvores com seis anos de idade por faixas de inclinação.

Tabela 1 A - Resumo das análises de variâncias dos parâmetros dendométricos

Características	Fonte de variação	G.L.	Quadrados Médios
Comprimento total do fuste	Tratamento	3	101,57**
	Resíduo	16	4,19
Comprimento comercial do fuste	Tratamento	3	77,19**
	Resíduo	16	4,48
Altura Y	Tratamento	3	381,40**
	Resíduo	16	4,21
Volume de madeira sem casca	Tratamento	3	0,0813**
	Resíduo	16	0,0074
Volume de casca	Tratamento	3	0,0019**
	Resíduo	16	0,002
Teor de madeira	Tratamento	3	5,29ns
	Resíduo	16	2,09
Teor de casca	Tratamento	3	5,29ns
	Resíduo	16	2,09
Teor de cerne	Tratamento	3	9,16ns
	Resíduo	16	17,82
Teor de alburno	Tratamento	3	9,16ns
	Resíduo	16	17,82
Relação cerne:alburno	Tratamento	3	0,0087ns
	Resíduo	16	0,0137

**significativo em nível de 1% de probabilidade ($p < 0.01$); *significativo em nível de 5% de probabilidade ($0.01 \leq p < 0.05$); ns não significativo ($p \geq 0.05$), pelo teste de F.

Tabela 1 B - Resumo da análise de variância dos resultados da excentricidade da medula

Fonte de variação	G.L.	Quadrados Médios
Faixas (A)	3	81,37*
Resíduo-a	16	17,7
Posição longitudinal do fuste (B)	3	18,62ns
Int. AxB	19	13,47ns
Resíduo-b	3	14,27

** significativo em nível de 1% de probabilidade ($p < 0.01$); ns não significativo ($p \geq 0.05$), pelo teste de F.

Tabela 1 C - Resumo das análises de variância dos resultados do diâmetro tangencial e da frequência dos elementos de vasos

Fonte de variação	G.L.	Quadrados Médios	
		Diâmetro tangencial	Frequência
Faixas (A)	3	3326,53**	6,61*
Resíduo-a	516	108,96	1,95
Posição longitudinal do fuste (B)	4	2744,37 --	125,8 --
Int. AxB	12	159,49*	9,14**
Resíduo-b	2064	67,12	2,14
Coordenada do disco (C)	1	383,64	39,6**
Int. AxC	3	141,17 ns	3,44 ns
Int. BxC	4	274,31*	3,86 ns
Int. AxBxC	12	128,18*	1,70 ns
Resíduo-c	2580	82,63	1,94

-- Os tratamentos são quantitativos. O Teste F não se aplica. ** significativo em nível de 1% de probabilidade ($p < 0.01$); * significativo em nível de 5% de probabilidade ($0.01 \leq p < 0.05$); ns não significativo ($p \geq 0.05$), pelo teste de F.

Tabela 1 D - Resumo das análises de variância dos resultados dos parâmetros da fibra e dos índices de qualidade da fibra

Fonte de variação	G.L.	Quadrados Médios			
		Comprimento	Espessura da parede	Largura	Lume
Faixas (A)	3	140358 ns	3,5 ns	195**	155**
Resíduo-a	196	19707	3,0	20	15
Posição longitudinal do fuste (B)	4	20877481 --	18,0 --	84 --	117 --
Int. AxB	12	155656**	5,5*	53**	71**
Resíduo-b	784	22505	2,8	18	13
Coordenada do disco (C)	1	5980645**	34,5**	9	75*
Int. AxC	3	781411**	34,2**	34	84**
Int. BxC	4	43561 ns	20,3**	21	86**
Int. AxBxC	12	65184**	6,3*	17	32**
Resíduo-c	980	20633	2,8	18	14

Fonte de variação	G.L.	Quadrados Médios		
		Coefficiente de flexibilidade	Índice de Runkel	Fração de parede
Faixas (A)	3	675**	3,5**	448 ns
Resíduo-a	196	159	0,6	375
Posição longitudinal do fuste (B)	4	2122 --	5,8 --	1655 --
Int. AxB	12	846**	3,5**	868**
Resíduo-b	784	135	0,55	336
Coordenada do disco (C)	1	2858**	33,3**	2150*
Int. AxC	3	1970**	9,4**	2040**
Int. BxC	4	2217**	4,4**	1039*
Int. AxBxC	12	634**	3,7**	1551**
Resíduo-c	980	145	0,6	350

-- Os tratamentos são quantitativos. O Teste F não se aplica. ** significativo em nível de 1% de probabilidade ($p < 0.01$); * significativo em nível de 5% de probabilidade ($0.01 \leq p < 0.05$); ns não significativo ($p \geq 0.05$), pelo teste de F.

Tabela 1 E - Resumo da análise de variância dos resultados da densidade básica

Fonte de variação	G.L.	Quadrados Médios
Faixas (A)	3	0,012*
Resíduo-a	16	0,003
Posição longitudinal do fuste (B)	4	0,014 --
Int. AxB	12	0,001 ns
Resíduo-b	64	0,0009
Coordenada do disco (C)	1	0,078**
Int. AxC	3	0,007**
Int. BxC	4	0,002**
Int. AxBxC	12	0,001**
Resíduo-c	80	0.0006

-- Os tratamentos são quantitativos. O Teste F não se aplica. ** significativo em nível de 1% de probabilidade ($p < 0.01$); * significativo em nível de 5% de probabilidade ($0.01 \leq p < 0.05$); ns não significativo ($p \geq 0.05$), pelo teste de F.

Tabela 1 F - Resumo das análises de variância dos resultados da caracterização química

Fonte de variação	G.L.	Quadrados Médios		
		Extrativos	Lignina	Holocelulose
Faixas (A)	3	7,2**	34,5**	71**
Resíduo-a	4	0,05	0,96	1,2
Posição longitudinal do fuste (B)	4	6,7 --	34,8 --	66,2 --
Int. AxB	12	1,1**	10**	14,3**
Resíduo-b	16	0,06	1,75	1,8
Coordenada do disco (C)	1	2,7**	5*	15**
Int. AxC	3	0,9**	3,4*	6**
Int. BxC	4	0,6**	11,8**	8,5**
Int. AxBxC	12	1**	5**	6**
Resíduo-c	20	0.04	0,75	0,8

-- Os tratamentos são quantitativos. O Teste F não se aplica. ** significativo em nível de 1% de probabilidade ($p < 0.01$); * significativo em nível de 5% de probabilidade ($0.01 \leq p < 0.05$); ns não significativo ($p \geq 0.05$), pelo teste de F.

Tabela 1 G - Resumo das análises de variância dos parâmetros da avaliação Kraft

Fonte de variação	G.L.	Quadrados Médios	
		Rendimento depurado	Número kappa
Faixas (A)	3	0,55*	3,04**
Resíduo-a	4	0,07	0,09
Posição longitudinal do fuste (B)	3	1,95 --	1,67 --
Int. AxB	9	0,55**	0,62*
Resíduo-b	12	0,06	0,16

-- Os tratamentos são quantitativos. O Teste F não se aplica. ** significativo em nível de 1% de probabilidade ($p < 0.01$); * significativo em nível de 5% de probabilidade ($0.01 \leq p < 0.05$); ns não significativo ($p \geq 0.05$), pelo teste de F.