



**JOICE APARECIDA DE ASSIS**

**METODOLOGIA DA SECAGEM DRÁSTICA APLICADA  
AO DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMAS DE SECAGEM  
DA MADEIRA JUVENIL DE CLONES DE *Toona ciliata***

**Lavras - MG**

**2018**

**JOICE APARECIDA DE ASSIS**

**METODOLOGIA DA SECAGEM DRÁSTICA APLICADA AO  
DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMAS DE SECAGEM DA MADEIRA JUVENIL  
DE CLONES DE *Toona ciliata***

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

**Orientador**

Prof. Dr. José Tarcísio Lima

**Coorientadores**

Prof. Dr. José Reinaldo Moreira da Silva

Prof. Dr. Sebastião Carlos da Silva Rosado

**LAVRAS – MG**

**2018**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Assis, Joice Aparecida de.

Metodologia da secagem drástica aplicada ao desenvolvimento  
de programas de secagem da madeira juvenil de clones de *Toona*  
*ciliata* / Joice Aparecida de Assis. - 2018.

61 p. : il.

Orientador(a): José Tarcísio Lima.

Coorientador(a): José Reinaldo Moreira da Silva, Sebastião  
Carlos da Silva Rosado.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Rachadura de topo. 2. Colapso. 3. Parâmetros de secagem. I.  
Lima, José Tarcísio. II. Silva, José Reinaldo Moreira da. III.

**JOICE APARECIDA DE ASSIS**

**METODOLOGIA DA SECAGEM DRÁSTICA APLICADA AO  
DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMAS DE SECAGEM DA MADEIRA JUVENIL  
DE CLONES DE *Toona ciliata***

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

APROVADA em 10 de agosto de 2018.

Prof. Dr. José Reinaldo Moreira da Silva

UFLA

Prof. Dr. Raphael Nogueira Rezende

IFSULDEMINAS

Profa. Dra. Claudinéia Olímpia de Assis

UFLA

Prof. Dr. José Tarcísio Lima

Orientador

**LAVRAS - MG**

**2018**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela vida, pela saúde, por minha família, por tudo que tenho conquistado.

À Nossa Senhora da Aparecida e Padre Victor, pelas graças alcançadas.

Aos meus pais Jussiara e Marco, pelo apoio, confiança, ensinamentos, enfim agradeço por me permitir a realização de meus sonhos.

Ao meu namorado Rander, pelo apoio, carinho e paciência.

Ao orientador, Prof. José Tarcísio Lima, por todo apoio, sinceridade, ensinamentos, paciência e amizade.

Aos coorientadores, Prof. José Reinaldo Moreira da Silva e Prof. Sebastião Carlos da Silva Rosado, pelos ensinamentos.

À empresa Bela Vista Florestal, pelo fornecimento do material vegetal utilizadas neste estudo.

Aos amigos de pós- graduação Evelise, Poliane, Caroline, Claudinéia, Yony, Wendel e a todos que se fizeram presentes, pela amizade e ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

Aos membros da banca, pela disposição.

A todos os colegas e amigos pelas diversas ajudas ao longo dessa jornada.

À Universidade Federal de Lavras especialmente ao Programa de Pós graduação em Ciência e Tecnologia da madeira pela oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado, contribuindo com minha formação acadêmica.

## RESUMO

A *Toona ciliata* é uma espécie que tem ampliado a participação na silvicultura Brasileira, visando a produção de madeira alternativa para a redução da exploração sobre as espécies nativas. O estudo das propriedades da madeira da espécie em questão se faz necessário mediante as poucas informações registradas em relação a outras espécies exóticas implantadas no Brasil. Neste contexto, o presente estudo teve o objetivo de avaliar as características anatômicas e o comportamento da madeira juvenil de cinco clones de *T. ciliata* durante a secagem drástica, contribuindo para o desenvolvimento do programa de secagem. Para o desenvolvimento do estudo, foram amostradas a 1,30 metros do solo, quatro árvores por clone oriundas de um plantio clonal, estabelecido na região de Campo Belo – MG, com sete anos de idade. As árvores foram selecionadas, abatidas e seccionadas em toras. Após a serragem foram confeccionados os corpos de prova em três posições radiais do caule, para a caracterização anatômica e ensaios de secagem drástica. Foram avaliadas as dimensões das fibras, ângulo microfibrilar e densidade básica. Durante a secagem a 100°C, foi realizado o monitoramento da perda de massa, do tempo de secagem, da presença de rachadura de topo e colapso, visando a obtenção dos parâmetros de secagem (temperatura inicial, temperatura final e potencial de secagem). Os resultados obtidos permitiram diferenciar os clones. O ângulo das microfibrilas médio apresentou uma redução de 27% no sentido medula-casca, o clone MD apresentou a maior média de 12,27°, enquanto a menor média registrada foi para o clone FE com 10,43°. As dimensões das fibras apresentaram acréscimo no sentido medula-casca. O clone XB expressou maior facilidade no processo de secagem a 100°C, devido à menor densidade básica e maiores taxas de secagem. No entanto, a madeira do clone MD e FE apresentou menor taxa de secagem, maior densidade e maior suscetibilidade ao colapso. Não foram observadas rachaduras de topo durante a secagem a 100°C na madeira de nenhum dos clones estudados. As madeiras dos clones XD, MD e FE apresentaram semelhanças entre os parâmetros de secagem possibilitando agrupá-los em um único programa de secagem. Para os clones XE e XB foram sugeridos programas de secagem específicos. As taxas de secagem dos clone XB e XE mostraram relação moderada com o comprimento da fibra.

Palavras-chave: Rachadura de topo. Colapso. Parâmetros de secagem.

## ABSTRACT

The *Toona ciliata* has been gaining ground in Brazilian forestry, aiming at the production of alternative wood for the reduction of the exploitation of native species. The study of the properties and processes that involve the wood of the species in question is necessary due to the scarce available information in relation to other exotic species implanted in Brazil. In this context, the present study aimed to evaluate the anatomical characteristics and behavior of juvenile wood from five clones of *T. ciliata* during drastic drying, contributing to the elaboration of the drying schedule. For the development of the study, four trees per clone of a seven year old plantation, settled in Campo Belo – MG region, were sampled at 1.30 meters of height from the ground. The trees were selected, cut and sectioned into logs. After the sawing the specimens were prepared in three radial positions of the stem, for anatomical characterization and drastic drying tests. The fiber dimensions, microfibrillar angle and basic density were evaluated. During drying at 100°C, mass loss, drying time, the presence of cracks at the top and collapse were monitored in order to obtain the drying parameters (initial temperature, final temperature and drying potential). The results obtained allowed to differentiate the clones. The average microfibril angle presented a 27% reduction in the pith-bark direction, the clone MD had the highest mean of 12.27°, while the lowest recorded average was of the clone FE with 10.43°. The dimensions of the fibers presented increase in the pith-bark direction. The microfibrillar angle showed reduction with increasing fiber length. Clone XB expressed greater ease in the drying process at 100°C, due to lower basic density and higher drying rates. However, the wood of the MD and FE clones showed lower drying rate, higher density and greater susceptibility to collapse. Top cracks were not observed during drying at 100°C in the wood of any of the clones studied. The wood of the clones XD, MD and FE showed similarities between the drying parameters, allowing them to be grouped in a single drying schedule. Specific drying schedules were suggested for clones XE and XB. The drying rates of clones XB and XE showed moderate relation with fiber length.

Keywords: Top crack. Collapse. Drying parameters.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Amostragem das árvores selecionadas e abatidas, dos clones XB, XD, XE, FE e MD de <i>Toona ciliata</i> aos sete anos de idade na região de Campo Belo – MG.....	25
Figura 2 - Esquema de posicionamento de fibras para determinação do AMF utilizando da técnica de microscopia de luz polarizada. ....	27
Figura 3 - Esquema de amostragem dos corpos de prova em uma tábua para o ensaio de secagem drástica.....	29
Figura 4 - Topo dos corpos de prova fotografado, para a análise de colapso da madeira de <i>Toona ciliata</i> . A = imagem antes da secagem e B = imagem após a secagem, a 100°C. Barra = 1 cm.....	33
Figura 5 - Resultado do teste Scott-knott a 5% de significância, do desdobramento da interação de clone (MD, FE, XB, XD e XE) de <i>Toona ciliata</i> dentro da posição radial, para o ângulo microfibrilar aos sete anos de idade.....	36
Figura 6 - Resultado do teste Scott-knott a 5% de significância, do desdobramento da interação de clone (XB, XD, XE, FE e MD) de <i>Toona ciliata</i> dentro da posição radial, para comprimento de fibra aos sete anos de idade. ....	38
Figura 7 - Valores médios para as contrações da madeira dos clones de <i>Toona ciliata</i> aos sete anos de idade. ....	43
Figura 8 - Curva de secagem drástica da madeira dos clones XB, XD, XE, FE e MD de <i>Toona ciliata</i> aos sete anos de idade. ....	46
Figura 9 – Corpo de prova da madeira de <i>Toona ciliata</i> aos sete anos de idade após a secagem drástica a 100°C. A = corpo de prova com ausência de rachadura e B = topo do corpo de prova com colapso. ....	49
Figura 10 – Agrupamento dos clones XB, XD, XE, FE e MD de <i>Toona ciliata</i> em função dos parâmetros de secagem (TI, TF e PS), por meio da dissimilaridade da distância euclidiana. ....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Origem e características dendométricas média dos clones XB, XD, XE, FE e MD, aos sete anos de idade.....	25
Tabela 2 - Escore atribuído às magnitudes das rachaduras de topo.....	31
Tabela 3 - Classificação do nível de colapso, de acordo com o índice calculado.....	33
Tabela 4 - Estatística descritiva e comparação de médias do ângulo microfibrilar dos clones XB, XD, XE, FE e MD da madeira de <i>Toona ciliata</i> aos sete anos de idade.....	35
Tabela 5 - Estatística descritiva e comparação de médias do comprimento da fibra dos clones XB, XD, XE, FE e MD da madeira de <i>Toona ciliata</i> aos sete anos de idade.....	37
Tabela 6 - Estatística descritiva e comparação de médias da largura da fibra dos clones XB, XD, XE, FE e MD da madeira de <i>Toona ciliata</i> aos sete anos de idade.....	39
Tabela 7 - Estatística descritiva e comparação de médias do diâmetro do lume da fibra dos clones XB, XD, XE, FE e MD da madeira de <i>Toona ciliata</i> aos sete anos de idade.....	40
Tabela 8 - Estatística descritiva e comparação de médias da espessura da parede da fibra dos clones XB, XD, XE, FE e MD da madeira de <i>Toona ciliata</i> aos sete anos de idade.....	40
Tabela 9 – Correlação de Pearson entre o ângulo microfibrilar e as características morfológicas das fibras da madeira dos clones XB, XD, XE, FE e MD de <i>Toona ciliata</i> aos sete anos de idade.....	41
Tabela 10 – Comparação múltipla dos valores médios das contrações da madeira e coeficiente de anisotropia de <i>Toona ciliata</i> dos clones MD, FE, XB, XD e XE, aos sete anos de idade.....	42
Tabela 11 - Correlação de Pearson entre o ângulo microfibrilar, a densidade básica e as contrações da madeira dos clones XB, XD, XE, FE e MD aos sete anos de idade.	44
Tabela 12 -Valores médios da densidade básica, umidade inicial e máximo teor de umidade da madeira de <i>Toona ciliata</i> dos clones MD, FE, XB, XD e XE aos sete anos de idade.....	45

Tabela 13- Valores médios das variáveis do ensaio da secagem drástica a 100°C da madeira dos clones XB, XD, XE, FE e MD de <i>Toona ciliata</i> aos sete anos de idade.....	47
Tabela 14- Valores médios do Índice e nível de colapso da madeira dos clones XB, XD, XE, FE e MD de <i>Toona ciliata</i> aos sete anos de idade.....	48
Tabela 15 - Valores de correlação de Pearson entre as características da madeira dos clones XB, XD, XE, FE e MD, de <i>Toona ciliata</i> com as variáveis da secagem drástica.....	50
Tabela 16 - Parâmetros para a elaboração do programa de secagem dos clones MD, XB, XE, FE e XD de <i>Toona ciliata</i> aos sete anos de idade.....	51
Tabela 17 - Programa de secagem desenvolvido para a madeira do clone XE de <i>Toona ciliata</i> aos sete anos de idade.....	53
Tabela 18 - Programa de secagem desenvolvido para a madeira do clone XB de <i>Toona ciliata</i> aos sete anos de idade.....	53
Tabela 19 - Programa de secagem desenvolvido para madeira dos clone MD, XD e FE de <i>Toona ciliata</i> aos sete anos de idade.....	54

## **LISTA DE SIGLAS**

**AMF** – Ângulo Microfibrilar

**DAP** – Diâmetro à Altura do Peito

**TI** – Temperatura Inicial

**TF** – Temperatura Final

**PS** - Potencial de Secagem

## Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVO .....	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
3.1 <i>Toona ciliata</i> .....	17
3.2 Ângulo microfibrilar.....	19
3.3 Propriedades físicas da madeira .....	20
3.3.1 Densidade .....	20
3.3.2 Variação dimensional da madeira .....	21
3.4 Água na madeira.....	21
3.5 Secagem da madeira .....	22
3.6 Defeitos da secagem .....	23
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4.1 Obtenção do material.....	25
4.2 Análises anatômicas .....	26
4.2.1 Determinação da morfologia das fibras.....	26
4.2.2 Determinação do ângulo microfibrilar por microscopia de luz polarizada .....	27
4.3 Contração.....	28
4.4 Elaboração do programa de secagem .....	29
4.4.1 Confecção dos corpos de prova para secagem .....	29
4.4.2 Determinação da umidade .....	29
Mu = Massa úmida (g); .....	30
4.4.3 Determinação da densidade básica .....	30
4.4.4 Secagem drástica .....	30
4.4.5 Obtenção das variáveis para o programa de secagem .....	30
4.4.6 Determinação dos parâmetros do programa de secagem.....	32
4.4.7 Avaliação do colapso.....	32
4.5 Delineamento experimental e análise estatística .....	33
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	35
5.1 Ângulo microfibrilar.....	35
5.2 Dimensões das fibras .....	37
5.2.1 Comprimento da fibra.....	37

5.2.2 Largura da fibra .....	39
5.1.2.4 Espessura da parede.....	40
5.1.3 Correlação de Pearson entre o AMF e as dimensões das fibras .....	41
5.2 Contração.....	42
5.3 Secagem drástica .....	45
5.3.1 Densidade básica, umidade inicial e máximo teor de umidade .....	45
5.3.2 Variáveis do processo da secagem drástica.....	47
5.3.3 Defeitos.....	48
5.3.4 Correlação entre as características da madeira e as variáveis da secagem drástica .....	49
5.3.5 Parâmetros do programa de secagem .....	51
CONCLUSÕES .....	55
REFERÊNCIAS .....	56
APÊNDICES .....	61

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente busca do mercado por madeiras de qualidade obtida em curto espaço de tempo vem requerendo aumento na produção de matéria prima. Com isso, as florestas plantadas vêm sendo alternativas. E dentre essas, o cedro australiano (*Toona ciliata*) vem mostrando potencial para suprir o mercado com madeira para serraria, possuindo características tecnológicas semelhantes às de Meliáceas nativas, como o mogno e o cedro brasileiro.

Apesar do grande potencial e das várias aplicações da *T. ciliata*, ainda são escassas informações sobre as propriedades de sua madeira juvenil, tornando necessário não só seu estudo, mas também dos potenciais de diferentes materiais genéticos. O conhecimento do comportamento da madeira juvenil durante a secagem é de importância para as diversas finalidades da madeira.

A madeira juvenil é aquela formada durante a fase jovem do câmbio vascular nos primeiros anos de crescimento da planta (RAMAY; BRIGGS, 1986). Geralmente a madeira juvenil possui características menor densidade básica, menores dimensões das fibras, maiores ângulos microfibrilares e menor resistência mecânica em relação à madeira adulta.

Por ser material higroscópico, a quantidade de água presente na madeira interfere diretamente em suas propriedades, afetando sua utilização e qualidade. Dessa forma a secagem é etapa essencial durante o processamento da madeira serrada. A secagem convencional permite o controle da perda de umidade, minimizando a manifestação de defeitos e proporcionando material de maior valor agregado.

A secagem em estufa é um dos métodos mais utilizados pelas indústrias e é realizada seguindo as etapas de acordo com o programa de secagem, visando a redução de tempo e custo. Os programas de secagem são fundamentais para o sucesso da secagem da madeira, porém cada espécie demanda um programa próprio, o que, para a madeira de *T. ciliata*, constitui-se em uma barreira a ser transposta.

O desenvolvimento de programas específicos pode ser lento, dependendo do método a ser utilizado. Em busca de solucionar o problema, Terazawa (1965), citado por Brandão (1989), propôs à metodologia de secagem drástica em estufa de laboratório. Essa metodologia baseia-se na hipótese de que pequenos corpos de prova submetidos à secagem a 100°C, tendem a apresentar comportamentos semelhantes aos que ocorreriam na secagem convencional.

Vários autores empregaram a metodologia de Terazawa como Ciniglio (1998), Andrade et al. (2001), Santos (2002), Barbosa et al. (2005), Batista (2009), Susin (2012), Arruda (2014),

Soares et al. (2016), Sanchez (2017). Todos esses os autores confirmaram a eficácia da metodologia da secagem drástica.

Neste contexto, a aplicação da metodologia da secagem drástica do lenho juvenil de *T. ciliata* e o estudos de suas características pode permitir tanto a elaboração de programa de secagem específicos, como a identificação de clones com potencial para produção de madeira de melhor qualidade.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste estudo foi desenvolver e avaliar programas de secagem da madeira juvenil de clones de *Toona ciliata* amostrada na direção medula-casca do caule, utilizando a metodologia da secagem drástica.

Para alcançar este objetivo, estabeleceu-se as seguintes metas para as madeiras dos cinco clones:

- 1) Determinar o ângulo microfibrilar;
- 2) Determinar as dimensões das fibras;
- 3) Determinar as contrações tangencial, radial, volumétrica e o coeficiente de anisotropia;
- 4) Estimar os parâmetros: temperatura inicial, temperatura final e potencial de secagem;
- 5) Avaliar os defeitos causados pela secagem drástica;
- 6) Correlacionar as características anatômicas com os parâmetros de secagem.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 *Toona ciliata*

*Toona ciliata* M.Roem, conhecida popularmente como cedro australiano, pertencente à família Meliaceae, é uma espécie arbórea decídua, cuja origem se estende desde a Índia e Malásia até o norte da Austrália (LORENZI, 2008). Segundo Pinheiro et al. (2003) a espécie possui similaridade botânica com os cedros nativos do gênero.

A espécie arbórea é classificada como de grande porte, segundo Bygrave e Bygrave (2005) podendo atingir altura de 40 m, com um fuste de um metro de diâmetro na altura a 1,30 m de altura do tronco. Possui copa umbeliforme e ampla (LAMPRECHT, 1990), com tronco retilíneo, às vezes bifurcado, com sapopemas baixas, assimétricas e pouco desenvolvidas, casca grossa, dura, com deiscência em placas retangulares e escamiformes, e com coloração marrom-acinzentada, quando velha possui característica áspera com fissuras reticulares esfoliantes (PINHEIRO et al., 2003).

Em locais de ocorrência natural, o cedro australiano tem seu desenvolvimento prejudicado, em decorrência do ataque da *Hypsipyla robusta*, lepidóptero que constrói galerias no interior da árvore e ataca as gemas apicais, reduzindo, assim, o crescimento da árvore e causando a perda da dominância apical, o que acarreta em uma ramificação do caule e redução drástica do valor comercial (CUNNINGHAM; FLOYD, 2006).

O cedro australiano é considerado promissor para plantações comerciais, pela sua taxa de crescimento, qualidade da madeira e por sua imunidade ao ataque da *Hypsipyla grandella* que é a principal praga do mogno (*Swietenia macrophylla*) e dos cedros brasileiros (*Cedrela fissilis* e *C. odorata*) (MANGIALAVORI et al., 2003; BYGRAVE & BYGRAVE, 2005).

De acordo com Ziech (2008) a madeira de *T. ciliata* apresenta características gerais como coloração de cerne bege-rosado distinto do alburno marrom-claro, de textura média, grã direita, exala cheiro agradável após serrada e é macia ao corte.

Com relação as características anatômicas a nível microscópico da madeira de *T. ciliata* aos 18 anos de idade, Nisgoski et al. (2011) descreveram as fibras como do tipo limbriformes, não septadas, pontoações simples diminutas, curtas, de paredes delgadas a espessas, ausência de espessamento helicoidais.

Segundo o estudo realizado por Ziech (2008) sobre as características tecnológicas da madeira de cedro australiano, desenvolvidas em três municípios diferentes, a madeira de *T.*

*ciliata*, apresentou características anatômicas comuns a família das Meliáceas, como vasos com porosidade em anéis semiporosos, em arranjos radiais com placa de perfuração simples.

A densidade básica da madeira de *T. ciliata* é bem variável de acordo com os valores encontrados na literatura, apresentando valores entre 0,304 g.cm<sup>-3</sup> (RIBEIRO et al., 2011), 0,330 g.cm<sup>-3</sup> (TRIANOSKI et al., 2015), a 0,500 g.cm<sup>-3</sup> (BYGRAVE & BYGRAVE, 2005). A explicação para a variação da densidade básica encontrada, pode ser justificada pela diferença da idade da árvore nos diferentes estudos, assim como também das condições de sítio. Pereyra et al. (2006) estudando as propriedades físicas-mecânicas e o comportamento em processos industriais da madeira de *T. ciliata* e mais três espécies entre 18 e 20 anos de idade, encontraram densidade básica média de 0,337 g.cm<sup>-3</sup>.

A madeira do cedro australiano apresenta alto teor de extrativos totais. Trianoski et al. (2015) estudando a madeira de *T. ciliata* aos dezoito anos de idade, observaram 10% de extrativos totais, 71% de holocelulose e 18% de lignina. Já Ziech (2008) encontraram 15% de extrativos totais, 64% de holocelulose e 20% de lignina, para a madeira de *T. ciliata* aos quatro anos de idade.

Braz et al. (2013) ao estudarem as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *T. ciliata* aos 6, 12 e 18 anos de idade, obtiveram densidade básica média de 0,318 g.cm<sup>-3</sup>. Os autores encontraram contração radial média de 3,6% e contração tangencial média de 9,1%, com coeficiente de anisotropia de 2,7%, classificando a madeira como de baixa estabilidade dimensional para as idades estudadas. Com relação à resistência mecânica, a madeira apresentou valores médios do módulo de elasticidade de 5105 MPa, módulo de ruptura 46 MPa e compressão axial de 27 MPa.

A permeabilidade da madeira de *T. ciliata* observada por Souza et al. (2017) com valores médios de permeabilidade longitudinal ao ar atmosférico de 29,79 cm<sup>3</sup>. (cm.atm.s)<sup>-1</sup>, e à água destilada de 0,45 cm<sup>3</sup>.(cm.atm.s)<sup>-1</sup>, foi menor do que as encontradas para a madeira de Amapá (BARAÚNA et al., 2014), e *Eucalyptus* relatada por (REZENDE et al., 2014).

Dentre as utilizações destaca-se na indústria de laminados e móveis, produção de caixas para charutos, instrumentos musicais e ainda na construção naval e aeronáutica, obras de entalhe e esculturas (PINHEIRO et al., 2003).

Bufalino et al. (2012) utilizaram a madeira de *T. ciliata* proveniente de costaneira e desbaste para quantificar e comparar o seu aproveitamento na fabricação de painéis reconstituídos e energia, e mostraram potencial para a geração de bioenergia em função do poder calorífico. Já para a produção de painéis reconstituídos foi recomendado pré-tratamento com água para a remoção do elevado teor de extrativos apresentado pela costaneira.

Segundo Albino et al. (2010) a madeira de *T. ciliata* apresenta potencial para a fabricação de painéis compensados, por atender os valores mínimos exigidos pelas normas das propriedades mecânicas.

Nisgoski et al. (2011) avaliaram características das fibras da madeira de *T. ciliata* aos 18 anos de idade, para a produção de papel e concluíram que não se deve utilizar a madeira para a produção de papel do tipo embalagem, devido aos valores encontrados para os índices de qualidade da polpa celulósica e recomendam que novos estudos devem ser feitos para aplicação da espécie na produção de papel da linha *tissue*, devido às características apresentadas pelas fibras de *T. ciliata*. Para Braz et al. (2013) a utilização da madeira juvenil de *T. ciliata* deve ser restrita para fins que exijam elevada resistência mecânica e alta estabilidade dimensional.

### 3.2 Ângulo microfibrilar

Nas paredes primária e secundária das células das plantas, encontram-se suas unidades fundamentais, as microfibrilas celulósicas, embebidas em uma matriz de polissacarídeos como pectina, hemiceluloses e lignina (HARRIS, 2006). As microfibrilas estão arrançadas de forma dispersa na parede primária. Já na parede secundária estão dispostas em camadas, seguindo o arranjo helicoidal (WARDROP; PRESTON, 1947).

Para Booker (1993) a camada S2 por apresentar maior espessura que as demais, proporciona maior contribuição nas propriedades químicas e físicas da parede celular da madeira. Embora as camadas S1 e S3 sejam menos espessas, apresentam papel crucial no reforço da célula contra deformação por forças de tensão da água, dureza lateral e resistência ao esmagamento da madeira (BOOKER, 1993). Segundo Donalson (2008), a estrutura cruzada das microfibrilas proporciona à madeira alta rigidez axial, além de alta resistência ao colapso e à ruptura, permitindo que a planta adote hábito de crescimento ereto e faça a condução eficiente da água da raiz até o topo.

O ângulo microfibrilar (AMF) corresponde ao ângulo que se forma entre a microfibrila de celulose e o eixo longitudinal da fibra (BARNET; BONHAM, 2004). Em estudo realizado por Lima et al. (2014), ao analisarem o AMF em relação à idade cambial em *Eucalyptus grandis*, foi constatado que há decréscimo no AMF nos anéis formados mais recentemente em relação aos mais antigos. Ribeiro et al. (2011a) observaram aumento do AMF no sentido base-topo, em estudo da madeira de *T. ciliata*, cultivado em três localidades aos quatro anos de idade.

Lima et al. (2004) avaliaram o AMF de onze clones de *E. grandis* × *E. urophylla* aos oito anos oriundos de quatro locais diferentes. Os autores, observaram diferenças significativas

entre os clones e entre os locais, porém encontraram baixa herdabilidade no sentido amplo para o AMF, dessa forma concluíram que os fatores ambientais interferem mais que o material genético no ângulo microfibrilar.

Segundo Booker e Sell (1998), as variações do AMF nas diferentes idades estão associadas à estrutura do desenvolvimento da árvore. Para os mesmos autores os maiores ângulos microfibrilares permitem maior flexibilidade do caule, necessária para que a árvore suporte o peso da copa e resista as forças geradas pelo vento, sem que ocorra a quebra da haste.

### **3.3 Propriedades físicas da madeira**

#### **3.3.1 Densidade**

A densidade ou massa específica é uma das propriedades físicas mais importantes da madeira, pois ela exerce influência nas propriedades tecnológicas (BURGER; RICHTER, 1991).

De acordo com Panshin e De Zeeuw (1980), a densidade apresenta grande variação entre árvores, dentro da mesma espécie e ainda dentro da mesma árvore. As variações das densidades se devem, principalmente, à estrutura anatômica, e também à quantidade de extrativos em determinado volume. Segundo Kollman e Côté (1968) a variação da densidade básica é influenciada pelos fatores que afetam a estrutura da madeira (genótipo, influências fisiológicas e mecânicas, fatores de sítio e idade da árvore) e pela presença constituintes estranhos da madeira.

Lima et al. (2000) observaram que a densidade básica variou em madeiras de 26 clones de *Eucalyptus* crescidos em quatro locais diferentes, porém a herdabilidade encontrada foi alta, indicando que a densidade está mais relacionada com os fatores genéticos do que com os ambientais.

Ribeiro et al. (2011b) estudaram a madeira de *T. ciliata* cultivado em três municípios na região sul de Minas Gerais, e observaram densidade básica média de  $0,304 \text{ g.cm}^{-3}$ , cujo o efeito local não foi significativo. Braz et al. (2013) encontraram densidade média de  $0,318 \text{ g.cm}^{-3}$  para madeira de cedro australiano aos 6, 12 e 18 anos, tendendo ao aumento em função da idade. Nassur (2010) encontrou valor de densidade média próximo de  $0,314 \text{ g.cm}^{-3}$  para a madeira de cedro australiano aos 18 anos de idade.

### 3.3.2 Variação dimensional da madeira

Kollmann e Côté (1968) ressaltam a importância do conhecimento da relação madeira-água quando se deseja a melhor utilização e aproveitamento da madeira. Pois a saída de água adsorvida (abaixo do ponto de saturação das fibras- PSF) durante a secagem provoca contração da madeira, assim como a absorção de água provoca a expansão da madeira. Segundo Panshin e De Zeeuw (1980) a maior alteração dimensional ocorre na direção tangencial aos anéis de crescimento, seguida pela direção radial e, por fim, na direção longitudinal de forma praticamente desprezível.

Para Kollmann e Côté (1968) muitos dos defeitos ocorridos durante a secagem da madeira podem estar relacionados com a contração e tensões internas associadas, sendo que grande parte é explicada pela maior intensidade de contração ou expansão na direção tangencial, em comparação com a direção radial.

A contração da madeira de cada espécie ocorre de forma distinta, o que torna necessário o conhecimento da madeira que se quer trabalhar, visando maior estabilidade para o melhor aproveitamento da madeira. Em face disso, Ribeiro et al. (2014) estudaram a madeira de *T. ciliata* aos quatro anos de idade e observaram contrações tangenciais e radiais, de 7,2% e 2,7%, respectivamente. Já Nassur et al. (2010) encontraram valores médios de contrações tangencial de 7,8% e 3,2% de contração radial, para madeira de *T. ciliata* aos dezoito anos de idade.

### 3.4 Água na madeira

Durante o crescimento e desenvolvimento da árvore há movimentação de água e sais minerais (seiva bruta) das raízes às folhas e o transporte do produto da fotossíntese (seiva elaborada) das folhas às regiões de crescimento. O processo de transporte de água e sais no lenho se dá por meio de vasos e traqueoides. Já o produto da fotossíntese é realizado pelas células crivadas e de tubos crivados (BURGER; RICHTER, 1991). Desta forma, quando a árvore é recém abatida, seus vasos, canais e lume das células contêm água, que ao ser exposta é perdida da madeira por meio da evaporação.

A água contida na madeira é classificada de forma diferente por alguns autores. Para Kollmann e Côté (1968) a água pode ser encontrada na madeira em quatro fases: como água de constituição, água monomolecular adsorvida, água adsorvida em camadas polimolecular e como água condensada capilar. Segundo Siau (1971) a umidade da madeira é encontrada como a água livre ou de capilaridade, sendo aquela que ocupa as cavidades das células e espaços

intercelulares, bem como vasos e canais resiníferos, seu conteúdo é limitado pela porosidade ou espaços vazios da madeira 30%, e como água adsorvida é absorvida nas paredes das células que é limitado a aproximadamente 30% do peso da madeira. A água livre ou de capilaridade encontra-se acima do ponto de saturação das fibras.

Kollmann e Côté (1968) define o ponto de saturação das fibras como o teor de umidade atingido quando todas as fibras estão completamente saturadas, mas não existe a presença de água livre na estrutura capilar. De acordo com Skaar (1972), o ponto de saturação das fibras compreende de 25 a 30% do teor de umidade.

Para Skaar (1972) a água de adsorção encontra-se nos sítios higroscópicos das paredes celulares das fibras e é ligada à madeira por meio de ligações de hidrogênio. Desta forma, torna a movimentação da água de adsorção mais complexa que a da água livre. A saída da água de adsorção ocorre abaixo do ponto de saturação das fibras (25 a 30% de umidade). Por estar associada à parede celular da madeira, sua retirada pode causar defeitos durante o processo de secagem.

Diante da complexidade estrutural da madeira, o fluxo de água torna-se de importante conhecimento, para a obtenção do produto final de qualidade, pois a madeira pode apresentar comportamentos de diferentes magnitudes até atingir a umidade desejada.

### **3.5 Secagem da madeira**

Martins (1988) define a secagem da madeira, como o processo de redução da umidade, com o objetivo de atingir a umidade desejada, apresentando o mínimo de defeitos, em menor tempo possível e de forma economicamente viável para qual uso se destina.

A secagem é uma etapa importante no processamento da madeira, proporcionando aumento da estabilidade dimensional, melhora a trabalhabilidade, aumenta a resistência mecânica do material, melhora a impregnação da madeira por líquidos preservativos, reduz o ataque de fungos xilófagos e proporciona melhor atuação de vernizes e tintas (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

Segundo Gomide (1977) diversos fatores podem influenciar a velocidade de secagem da madeira, estando relacionado a fatores internos (espécie, tipo de madeira, umidade inicial, direção das fibras, espessura da peça) e fatores externos (temperatura, umidade relativa e velocidade do ar). Neste contexto, deve-se obter conhecimentos sobre o comportamento da madeira de cada espécie em questão de acordo com os recursos disponíveis, visando qualidade

ao final da secagem, de forma viável. Dessa forma, são desenvolvidos programas de secagem de acordo com as características de cada madeira em relação às variáveis do processo.

Galvão e Jankowsky (1985) define programas de secagem como o controle conhecido de temperatura e umidade relativa, a fim de reduzir a umidade da madeira de forma rápida até o teor de umidade pretendido, com o mínimo de defeitos possível. Portanto para a indicação do programa de secagem para determinada espécie é necessário o conhecimento das suas características e de seu comportamento, uma vez que um único programa de secagem não atende a todas as espécies, em decorrência da heterogeneidade existente entre elas.

Devido as variações das características de cada espécie, o tipo de estufa utilizada na secagem industrial, o produto final e o capital disponível, um único programa de secagem não atende todos os tipos de madeira, dessa forma cada espécie deve possuir seu próprio programa de secagem. Buscando uma metodologia alternativa, eficiente e rápida, Brandão (1989), baseando no estudo de Terazawa (1965), testou a hipótese de que pequenos corpos de prova ao serem submetidos à secagem a 100°C em estufa de laboratório, tendem a apresentar comportamentos semelhantes ao que ocorreria na secagem convencional. O resultado permitiu a elaboração de programas de secagem para as espécies estudadas. Com o tempo, a metodologia foi aprimorada definindo os defeitos e características de secagem que mais interferem na elaboração dos programas como: tempo de secagem, velocidade de secagem e rachadura de topo; bem como o desenvolvimento de equações para a estimativa dos parâmetros de secagem: temperatura inicial, temperatura final e potencial de secagem (CINIGLIO, 1998). Barbosa et al. (2005) utilizaram a metodologia de secagem drástica para elaborar programas de secagem de dez clones de *Eucalyptus spp* com idade entre 7,5 e 10,5 anos. Esses autores, concluíram que a metodologia foi eficiente para desenvolver um programa de secagem comum às madeiras dos dez clones.

### **3.6 Defeitos da secagem**

A madeira pode apresentar alguns defeitos durante a secagem, os quais podem estar relacionados ao seu processo de formação, ao desdobro e à secagem, gerando grandes perdas de material. Assim, é necessária a adoção de práticas silviculturais adequadas, técnicas de desdobro e cuidados no processo de secagem, para obter madeira serrada de qualidade.

Na secagem, a madeira chega a umidades abaixo do ponto de saturação das fibras, o que ocasiona contrações nos diferentes planos (PONCE; WATAI, 1985), podendo causar diferentes defeitos. Segundo Galvão e Jankowsky (1985) os defeitos de secagem são gerados em

decorrência das tensões que se desenvolvem na madeira. Os defeitos principais são: empenamentos, rachaduras, encruamento e colapso.

A tensão causada pelas diferenças de contração radial e tangencial da madeira e a diferença de umidade entre as regiões contíguas da peça levam a ruptura da peça causando as rachaduras (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985). A rachadura de topo ocorre pela rápida perda de umidade, nas extremidades da peça em relação ao seu interior, dessa forma o interior não consegue acompanhar a contração da extremidade (MARTINS,1988). A rachadura de topo, ocorre geralmente nos raios constituídos por células parenquimáticas de reduzida resistência mecânica (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

O colapso é um defeito decorrente do processo de secagem, que é evidenciado pelo encolhimento anormal e irregular da madeira, resultando em depressões e elevações irregulares nas superfícies (BROWN et al., 1949). Segundo Kollmann e Côté (1968) o colapso é provocado pelas altas temperaturas no estágio inicial da secagem, tornando a madeira pouco plástica, ocasionando redução da sua resistência à compressão e permitindo o esmagamento interno das células. De acordo com Galvão e Jankowsky (1985) o colapso se define por ondulações nas superfícies da peça da madeira e que de maneira geral ele é influenciado pelo pequeno diâmetro dos capilares, altas temperaturas no início de secagem, baixa densidade e alta tensão superficial da água removida.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Obtenção do material

Neste estudo foram utilizados quatro clones comerciais e um clone não comercial da espécie *T. ciliata*, fornecidos pela empresa Bela Vista Florestal, oriundos de plantio clonal instalado na região de Campo Belo- MG (Tabela 1). O clima em Campo Belo segundo Köppen é Cwa, temperado úmido com inverno seco, verão chuvoso e temperatura do mês mais quente superior a 22°C, com altitude média de 968 m e com precipitação média anual de 1250 mm.

Tabela 1 – Origem e características dendrométricas média dos clones XB, XD, XE, FE e MD de *Toona ciliata* aos sete anos de idade.

Clone	Origem	Clone Bela Vista	DAP(cm)	Altura (m)
XB	Shipton Flat	1321	27,4	16,25
XD	Iron Range	1110	29,5	17,3
XE	Iron Range	1120	26,6	17,0
FE	Iron Range	1151	24,0	17,2
MD	Pascoe River	Não	21,9	15,1

De cada clone foram selecionadas quatro árvores dominantes, aos sete anos de idade, plantadas em espaçamento de 3,0 × 2,0 m. Após a seleção e derrubada destas árvores foram retirados toretes de um metro, entre o DAP e a base destinados à secagem drástica e um disco de 15 cm, próximo ao DAP para análises anatômicas e físicas (FIGURA 1).

Figura 1 - Amostragem das árvores selecionadas e abatidas, dos clones XB, XD, XE, FE e MD de *Toona ciliata* aos sete anos de idade na região de Campo Belo – MG.



Fonte: Do autor.

Os toretes foram levados para o pátio de desdobro e secagem da empresa Bela Vista Florestal, para o corte do pranchão central, posteriormente transportado para a Universidade Federal de Lavras (UFLA). Visando a confecção dos corpos de prova para a secagem drástica, cada pranchão central foi aplainado e cortado para obtenção das tábuas tangenciais no Laboratório de Usinagem da Madeira (DCF/UFLA).

## **4.2 Análises anatômicas**

O estudo das características anatômica, foi realizado em corpos de prova retirados do disco próximo da altura do DAP. Foram retirados três corpos de prova orientados por árvore, nas posições radiais do caule (próxima à medula, intermediária e próxima à casca) com dimensões de  $2 \times 2 \times 2$  cm, totalizando 60 corpos de prova.

### **4.2.1 Determinação da morfologia das fibras**

Para a determinação da morfologia das fibras, foi realizada a dissociação dos elementos celulares segundo o método de Franklin (1945) com ácido acético glacial P. A e peróxido de hidrogênio 30 volumes, proporção 1:1, modificado por Berlyn; Miksche (1976).

Para a obtenção do macerado, foram retirados de cada corpo de prova pequenos fragmentos e reservados em frasco de vidro com solução de ácido acético e peróxido de hidrogênio. Após a identificação e lacre, os frascos foram levados para estufa elétrica com temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$ , por 24 horas. O material deslignificado foi lavado e reservado para o preparo de lâminas temporárias.

As medições de comprimento da fibra, largura da fibra e diâmetro do lume, foram realizadas no microscópio de luz com câmera acoplada. A espessura da parede foi obtida pela diferença entre a largura da fibra e o diâmetro do lume, dividida por dois. Foram realizadas 20 medições por amostra para a obtenção do valor médio das três características analisadas.

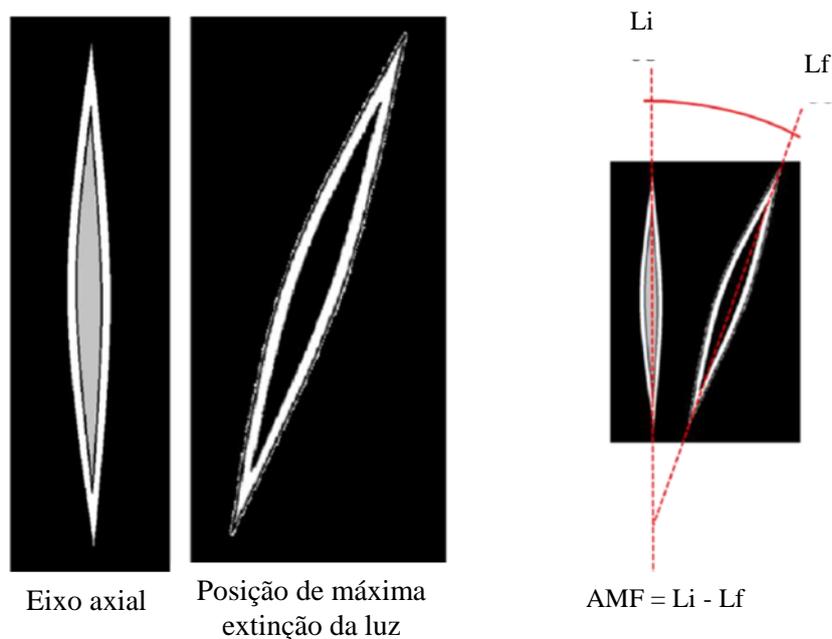
#### 4.2.2 Determinação do ângulo microfibrilar por microscopia de luz polarizada

Para a avaliação do ângulo microfibrilar, foi utilizada a técnica da microscopia de luz polarizada empregada por Lima et al. (2004). Os corpos de prova saturados foram cortados tangencialmente com 7  $\mu\text{m}$  de espessura com o auxílio de um micrótomo de deslize. Para a obtenção do macerado os cortes foram inseridos em frascos de vidro seguindo a mesma metodologia empregada no item 4.2.1.

O AMF foi determinado utilizando microscópio Olympus BX51, equipado com os filtros polarizador e analisador, adotado da mesa giratória graduada de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ . Foram medidas 20 fibras cortadas no sentido longitudinal, por posição radial (próxima à medula, intermediária e próxima à casca) de cada árvore dos clones XB, XD, XE, FE e MD aos sete anos de idade.

As fibras foram orientadas na posição vertical e registrado o ângulo inicial ( $L_i$ ), em seguida a mesa foi girada até a posição de máxima extinção de luz e, novamente registrado o ângulo final ( $L_f$ ). O AMF foi calculado pela diferença entre o ângulo inicial e o ângulo final, conforme pode ser visualizado na Figura 2.

Figura 2 - Esquema de posicionamento de fibras para determinação do AMF utilizando da técnica de microscopia de luz polarizada.



Fonte: Adaptado de Lima (2015).

### 4.3 Contração

Para a determinação das contrações da madeira utilizou-se a norma americana D143-94 da ASTM (1997). Foram confeccionados corpos de prova com dimensões de  $2 \times 2 \times 3$  cm perfeitamente orientados, em três posições radiais (próxima a medula, intermediária e próxima a casca), retirados do disco amostrado na região próxima do DAP. Com o auxílio do paquímetro digital, foram realizadas as medições dos corpos de prova na condição verde e posteriormente na condição seca. De posse dos dados foram determinadas as contrações lineares no sentido radial e tangencial (equação 1), contração volumétrica (equação 2) e o coeficiente de anisotropia (equação 3).

Os valores das contrações foram obtidos pelas seguintes equações:

$$\text{Contração linear (\%):} \quad \beta = \frac{Dv - Ds}{Dv} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

$$\text{Contração volumétrica (\%):} \quad \beta = \frac{Vv - Vs}{Vv} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

$$\text{Coeficiente de anisotropia (\%):} \quad A = \frac{\beta_t}{\beta_r} \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

$Dv$  = Dimensão linear na condição de volume verde ou saturado (mm)

$Ds$  = Dimensão linear na condição seca (mm)

$Vv$  = Volume verde ou saturado em  $\text{mm}^3$

$Vs$  = Volume da amostra em condição seca em  $\text{mm}^3$

$\beta$  = Contração linear tangencial ( $\beta_t$ ) ou radial ( $\beta_r$ ) %

$A$  = Coeficiente de anisotropia

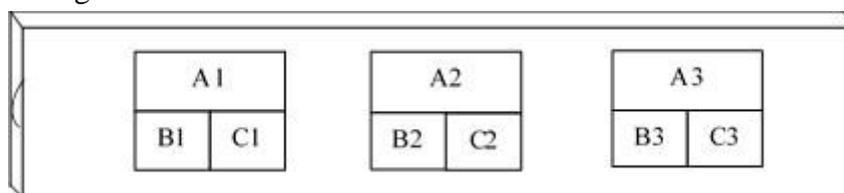
#### 4.4 Elaboração do programa de secagem

Para a elaboração do programa de secagem, utilizou a metodologia empregada por (BRANDÃO, 1989) adaptada por (CINIGLIO,1998).

##### 4.4.1 Confeção dos corpos de prova para secagem

Cada árvore foi representada por três tábuas tangenciais, uma na região próxima à medula, outra na região intermediária e por último na região próxima à casca. A amostragem dos corpos de prova dentro da tábua foi de acordo com a Figura 3. Foram confeccionados ao todo 108 corpos de prova por clone para o ensaio de secagem, sendo 36 destinados ao ensaio de secagem drástica ( $100 \times 50 \times 10$  mm), 36 para densidade básica ( $50 \times 50 \times 10$  mm) e 36 para umidade ( $50 \times 50 \times 10$  mm).

Figura 3 - Esquema de amostragem dos corpos de prova em uma tábua para o ensaio de secagem drástica



- A- Corpo de prova para a secagem em estufa a  $100^{\circ}\text{C}$  ( $100 \times 50 \times 10$  mm)
- B- Corpo de prova para determinação da densidade básica ( $50 \times 50 \times 10$  mm)
- C- Corpo de prova para determinação da umidade inicial ( $50 \times 50 \times 10$  mm)

Para evitar a perda de umidade, os corpos de prova destinados a secagem drástica e umidade devidamente identificados, foram mantidos submersos em água, até o início dos ensaios.

##### 4.4.2 Determinação da umidade

Para a determinação da umidade da madeira, foi aplicado o método gravimétrico de acordo com a Norma NBR 7190 (ABNT, 1997). As amostras úmidas foram submetidas a secagem em estufa a  $(105 \pm 3)^{\circ}\text{C}$  até massa constante, posteriormente foi realizado o cálculo da umidade conforme a equação 4.

$$U = \frac{(Mu - Ms)}{Ms} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

U = umidade (%);

Mu = Massa úmida (g);

Ms = Massa seca (g).

#### 4.4.3 Determinação da densidade básica

A determinação da densidade básica, foi realizada pelo método de imersão conforme a norma NBR 11.941 (ABNT, 2003). Cada corpo de prova foi imerso em água, contido em um béquer sobre a balança digital para obtenção do volume verde. Posteriormente as amostras foram secas em estufa ( $105 \pm 3$ )°C, até a massa constante.

#### 4.4.4 Secagem drástica

Os 36 corpos de prova de cada clone destinados à secagem, foram colocados em estufa sem circulação de ar, a 100°C até atingirem a umidade de 5%. Posteriormente as amostras foram transferidas para estufa com circulação de ar forçada ( $105 \pm 3$ )°C, para a obtenção da massa seca.

Durante o processo de secagem, a perda de umidade dos corpos de prova foi acompanhada periodicamente e a evolução das rachaduras de topo foi avaliada. Devido à alta porcentagem de umidade as amostras foram pesadas em intervalos de duas horas, até atingirem 15% de umidade e em intervalos de uma hora dos 15% a 5% de umidade.

#### 4.4.5 Obtenção das variáveis para o programa de secagem

Para as variáveis como o tempo de secagem ( $T_{5\%}$ ,  $T_{30\%}$  e  $T_{30-5\%}$ ), taxa de secagem ( $TS_{5\%}$ ,  $TS_{30\%}$  e  $TS_{30-5\%}$ ) e rachadura de topo ( $R_{5\%}$ ,  $R_{30\%}$  e  $R_{30-5\%}$ ), que compõem as equações que determinam os parâmetros de secagem, foram adotados três intervalos de umidade:

1. Saída total de água: umidade inicial até 5%;
2. Saída de água livre: umidade inicial até 30%;
3. Saída de água de adesão: umidade 30% até 5%.

A taxa de secagem foi calculada pelos valores de perda de água e tempo de secagem de cada corpo de prova acordo com os intervalos mencionados acima:

TS<sub>5%</sub>: (Taxa de secagem da umidade inicial até 5% de umidade);

TS<sub>30%</sub>: (Taxa de secagem da umidade inicial até 30% (g.cm<sup>-2</sup>.h);

TS<sub>30-5%</sub>: (Taxa secagem de 30% a 5% de umidade (g.cm<sup>-2</sup>.h)).

Conforme a equação 5:

$$TSn = \frac{Mr}{t \times A} \quad \text{Equação 5}$$

Em que:

TSn = Taxa de secagem, g.cm<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>;

Mr = Massa de água removida, g;

T = Tempo de secagem, h;

A = Área superficial do corpo de prova, cm<sup>2</sup>.

Após a avaliação, as rachaduras de topo foram classificadas em escores de acordo com a Tabela 2, para os três intervalos de umidade: U<sub>5%</sub>, U<sub>30%</sub> e U<sub>30-5%</sub>.

Tabela 2 - Escore atribuído às magnitudes das rachaduras de topo.

Escore	Rachadura de topo
1	Ausente
2	CR < 5,0 e LR < 0,5
3	CR > 5,0 e LR < 0,5
4	CR < 5,0 e 0,5 < LR < 1,0
5	CR > 5,0 e 0,5 < LR < 1,0
6	CR > 5,0 e LR > 1,0

CR = comprimento da rachadura (mm); e = espessura da amostra (mm); LR = largura da rachadura (mm). Fonte: Ciniglio (1998)

#### 4.4.6 Determinação dos parâmetros do programa de secagem.

Os parâmetros que compõem a elaboração do programa de secagem (TI - temperatura inicial, TF - temperatura final e PS - potencial de secagem), foram definidos pelas equações desenvolvidas por Ciniglio (1998) (6, 7 e 8), compostas pelas variáveis calculadas com base nos valores dos corpos de provas avaliados.

$$TI = 27,9049 + 0,7881 T_{30\%} + 419,0254 TS_{5\%} + 1,9483 R_{30\%} \quad \text{Equação 6}$$

$$TF = 49,2292 + 1,1834 T_{30\%} + 273,8685 TS_{30\%} + 1,0754 R_{5\%} \quad \text{Equação 7}$$

$$PS = 1,4586 - 30,4418 TS_{30-5\%} + 42,9653 TS_{5\%} + 0,1424 R_{30-5\%} \quad \text{Equação 8}$$

O programa de secagem foi elaborado com auxílio de cartas psicométricas, utilizando os valores dos parâmetros TI, TF e PS.

#### 4.4.7 Avaliação do colapso

Os corpos de prova destinados à secagem drástica, tiveram seu topo fotografado no estado verde e a 0% de umidade, com o auxílio da câmera digital (FIGURA 4).

As imagens de cada corpo de prova foram analisadas pelo software AutoCad® versão educacional 2017, em que cada imagem teve sua área do topo calculada nas duas condições de umidade. De posse dos dados da área verde inicial e das contrações radiais e tangenciais, foram calculadas as contrações dos corpos de prova, para a obtenção da área contraída, então determinada a intensidade de colapso para cada corpo de prova, usando a equação 9:

$$IC = \frac{Ac}{An} \quad \text{Equação 9}$$

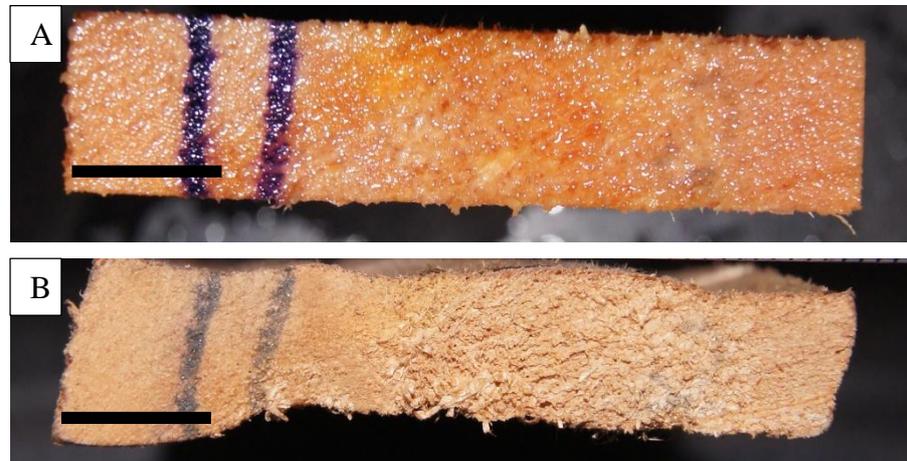
Em que:

IC = índice de colapso;

Ac = área do corpo de prova com colapso, cm<sup>2</sup>;

An = área do corpo de prova com contração normal, cm<sup>2</sup>.

Figura 4 - Topo dos corpos de prova fotografado, para a análise de colapso da madeira de *Toona ciliata*. A = imagem antes da secagem e B = imagem após a secagem, a 100°C. Barra = 1 cm



Fonte: Do autor

A interpretação do índice de colapso foi baseada na classificação empregada por Barbosa (2005), adaptada por Rezende (2014), conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação do nível de colapso, de acordo com o índice calculado

Nível de colapso	Índice de Colapso
Ausente	1,00
Leve	0,95 a 1,00
Moderado	0,90 a 0,95
Forte	< 0,90

Fonte: Adaptado de Barbosa (2003).

#### 4.5 Delineamento experimental e análise estatística

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em parcela subdividida, sendo o clone o efeito da parcela e a posição radial o efeito da subparcela. Conforme o seguinte modelo:

$$Y_{ik} = \mu + C_i + e_i + P_k + CP_{ik} + e_{ik}$$

Em que:

$i = 1, 2, 3, 4, 5$  (clones);

$k = 1, 2, 3$  (posição radial);

$Y_{ik}$  = efeito da i-ésima observação do clone, na K-ésima posição radial;

$\mu$  = média geral;

$C_i$  = efeito do i-ésimo clone, efeito fixo;

$P_k$  = efeito da posição radial de amostragem, efeito fixo;

$e_i$  = erro a (parcela);

$CP_{ik}$  = efeito da interação do i-ésimo clone com a k-ésima posição radial;

$e_{ik}$  = erro b (erro experimental).

O teste de médias adotado foi o de Scoot-knott, ao nível de 5% de significância.

Foi realizada a correlação de Pearson entre as características anatômicas, físicas e as variáveis do programa de secagem. Para a classificação do coeficiente de correlação ( $r$ ) foi utilizado o critério de Callegari-Jacques (2003) que considera, em módulo, as seguintes condições: fraca correlação (baixa) para  $0 < r < 0,60$ ; correlação alta (forte) para  $0,60 \leq r < 0,9$ ; correlação muito forte para  $r \geq 0,90$  e correlação perfeita para  $r = 1,00$ .

Para o agrupamento dos parâmetros de secagem (TI, TF e PS) dos clones, foi realizada a técnica da distância euclidiana utilizando o método hierárquico do vizinho mais próximo.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Ângulo microfibrilar

De acordo com o resumo da análise de variância (Apêndice A), houve diferenças significativas entre clones, entre posições radiais e na interação clone  $\times$  posição radial para o ângulo microfibrilar da madeira de *T. ciliata*.

Os valores médios observados para o AMF da madeira de *T. ciliata* dos clones XB, XD, XE, FE e MD aos sete anos de idade podem ser observados na Tabela 4. Esses valores estão dentro da faixa de classificação para as folhosas que varia de 5° a 20° (BOYD, 1980).

Tabela 4 - Estatística descritiva e comparação de médias do ângulo microfibrilar dos clones XB, XD, XE, FE e MD da madeira de *Toona ciliata* aos sete anos de idade.

Clone	Ângulo microfibrilar (°)				
	Mínimo	Médio	Máximo	Desvio padrão	CV%
XB	9,1	<b>10,9 a</b>	12,6	1,21	11,07
XD	9,3	<b>11,1 a</b>	13,05	1,4	12,6
XE	9,2	<b>10,9 a</b>	13,3	1,31	12,01
FE	8,7	<b>10,4 a</b>	11,8	1,23	11,81
MD	9,2	<b>12,2 b</b>	16,3	2,61	21,28
Média geral	9,1	11,1	13,41	1,552	13,754

As médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a nível de 5% de significância.

Fonte: Do autor

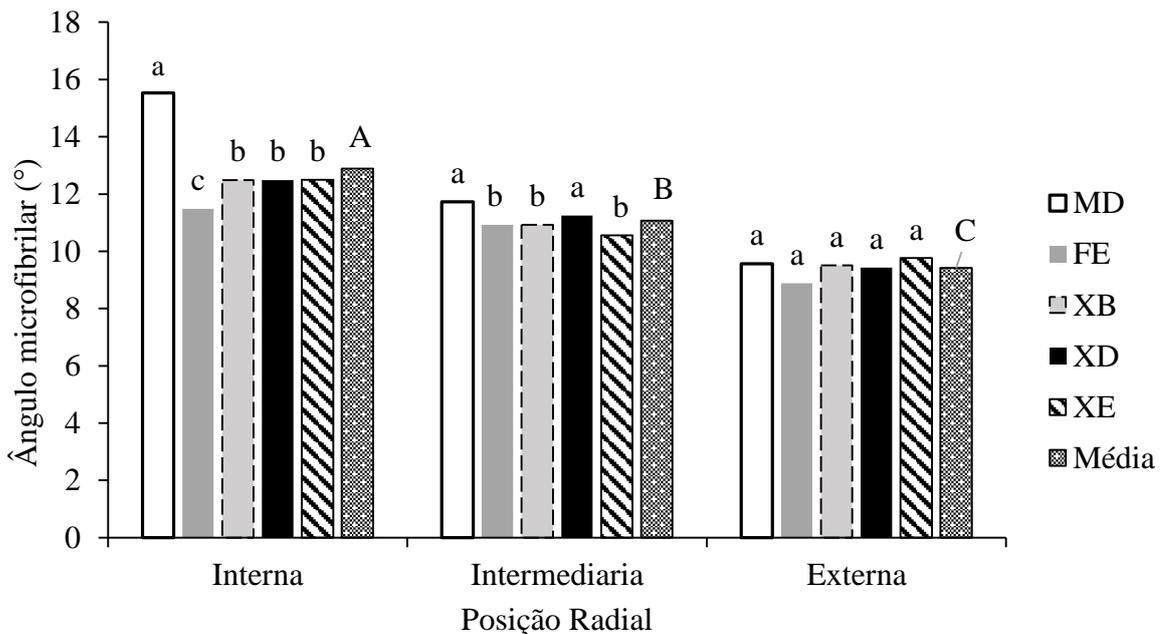
A média geral do AMF entre os clones foi de 11,1°. Esse valor é inferior ao valor de 16,7° encontrado por Ribeiro et al. (2011) que estudaram a mesma espécie, aos quatro anos de idade, de três localidades diferentes. A diferença encontrada entre os trabalhos, pode ser explicada pela diferença de idade, material genético, fatores ambientais e a interação entre o material genético e fatores ambientais (DONALDSON, 2008; LIMA et al., 2004; LIMA et al., 2014).

Analisando a variação do AMF médio entre os clones (Tabela 4), observa-se que o clone MD apresentou a maior média (12,2°), enquanto a menor média foi do clone FE com 10,4°. Lima et al. (2004) também encontraram diferenças do AMF entre onze clones de *Eucalyptus sp* plantados em quatro locais diferentes.

Do ponto de vista do melhoramento genético, a seleção de clones com o menores ângulos microfibrilares, pode refletir em melhor qualidade da madeira, uma vez que a característica em questão está relacionada com a resistência mecânica. Dessa forma o clone MD pode apresentar qualidade inferior aos demais clones, devido aos valores superiores. Porém é necessário o conhecimento da herdabilidade e de outros fatores que podem afetar a característica para a seleção. Lima et al. (2004) avaliaram a variação do ângulo microfibrilar entre clones de *E. grandis* × *E. urophylla* oriundos de quatro locais, e concluíram que os fatores ambientais interferem mais no ângulo microfibrilar do que os fatores genéticos devido à baixa herdabilidade encontrada.

Conforme os resultados da Figura 5, pode-se observar que os clones apresentaram decréscimo do AMF médio da madeira interna (12,9°) para a madeira intermediária (11,1°) e a madeira externa (9,4°), representando redução geral de 26,89%. Diversos autores como Donaldson (2008); Lima et al. (2014); Ramos et al. (2011) e Souza et al. (2017) relataram a redução do AMF, da medula em direção à casca ou com a idade cambial, corroborando com o resultado obtido neste estudo. Lima et al. (2014) observaram redução gradual do AMF do 1° ao 25° anel de crescimento em madeiras de *Eucalyptus grandis* aos 25 anos de idade.

Figura 5 - Resultado do teste Scott-knott a 5% de significância, do desdobramento da interação de clone (MD, FE, XB, XD e XE) de *Toona ciliata* dentro da posição radial, para o ângulo microfibrilar aos sete anos de idade.



Médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma posição radial, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Fonte: Do autor.

## 5.2 Dimensões das fibras

### 5.2.1 Comprimento da fibra

O resumo da análise de variância (Apêndice A) mostrou diferenças significativas entre clones, entre posições radiais e da interação clone  $\times$  posição radial para o comprimento da fibra.

Os valores médios para o comprimento das fibras dos clones da madeira de *T. ciliata* aos sete anos de idade estão apresentados na Tabela 6. A média geral encontrada foi de 992  $\mu\text{m}$ , sendo maior que o valor encontrado por Ribeiro et al. (2011a) de 847  $\mu\text{m}$  para a mesma espécie aos quatro anos de idade.

A madeira do clone XD apresentou maior média para o comprimento de fibra de 1061  $\mu\text{m}$ , enquanto a menor média foi obtida pelo clone FE com 891  $\mu\text{m}$  (FIGURA 6).

Tabela 5 - Estatística descritiva e comparação de médias do comprimento da fibra dos clones XB, XD, XE, FE e MD da madeira de *Toona ciliata* aos sete anos de idade.

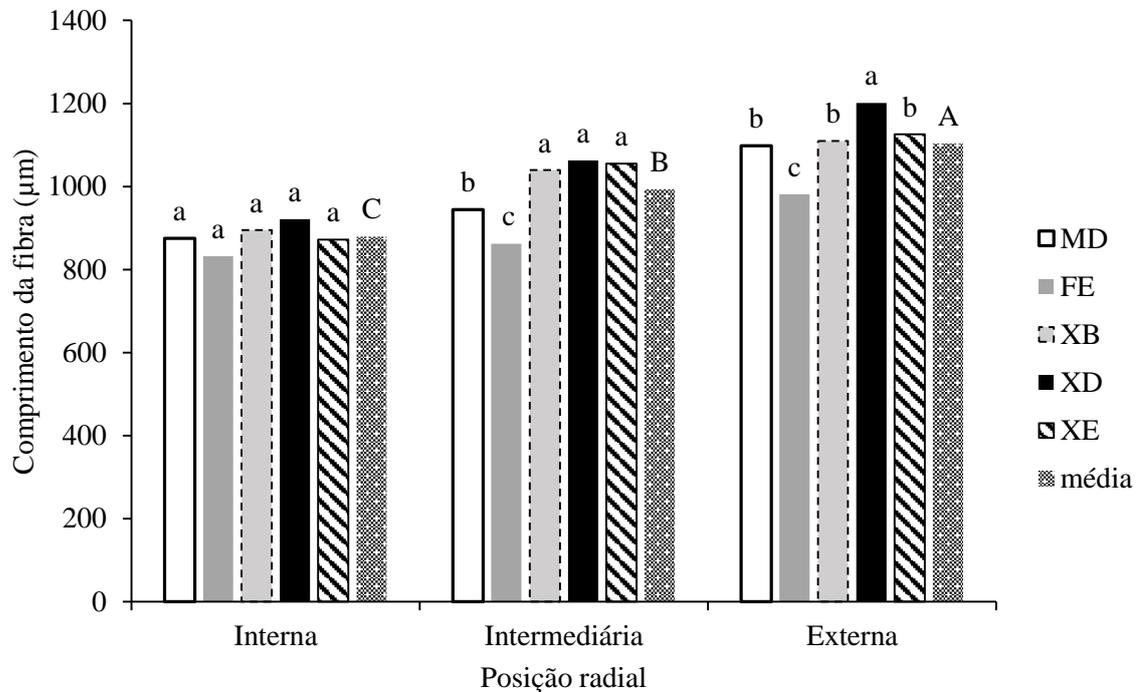
Clone	Comprimento da fibra ( $\mu\text{m}$ )				
	Mínimo	Médio	Máximo	Desvio padrão	CV%
XB	861	<b>1014 b</b>	1123	96,78	9,94
XD	869	<b>1062 a</b>	1242	127,18	11,98
XE	850	<b>1017 b</b>	1196	115,59	11,36
FE	784	<b>892 d</b>	1064	86,29	9,67
MD	850	<b>972 c</b>	1133	101,22	10,41
Média geral	842	991	1151	105,41	10,67

As médias seguidas de mesma letra na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância.

Fonte: Do autor

Conforme os valores apresentados na Figura 6, observa-se que houve aumento do comprimento médio das fibras da região interna para a região externa. Não foi notada diferença significativa a 5%, entre os clones para a posição interna. O clone XD apresentou maiores valores para o comprimento da fibra, porém não foi observada diferença significativa para os demais clones, na posição interna da madeira. O AMF da região intermediária diferenciou dos clones MD e FE, já na posição externa se destacou entre os clones. A madeira do clone FE apresentou as menores médias nas três posições radiais analisadas.

Figura 6 - Resultado do teste Scott-knott a 5% de significância, do desdobramento da interação de clone (XB, XD, XE, FE e MD) de *Toona ciliata* dentro da posição radial, para comprimento de fibra aos sete anos de idade.



Médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma posição radial, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Fonte: Do autor.

Nisgoski et al. (2011) avaliaram os constituintes anatômicos de *T. ciliata* aos 18 anos no sentido medula-casca para a produção de polpa celulósica. Os autores encontraram valores médios do comprimento da fibra na região da medula de 831 µm, na região intermediária de 932 µm e 1081 µm na região próxima à casca, corroborando com os resultados apresentados na Figura 6.

A diferença do comprimento das fibras entre as posições radiais ocorre devido à fase de maturação do câmbio, quando ocorre aumento mais acentuado ao longo dos anéis de crescimento dos anos iniciais (SOUZA et al., 2017).

### 5.2.2 Largura da fibra

No resumo da análise de variância (Apêndice A) observa-se diferenças significativas apenas entre clones para a largura da fibra. A média geral da largura da fibra foi de 25,49  $\mu\text{m}$  (Tabela 6), esse valor é inferior ao valor de 29,6 encontrado por Nisgoski et al. (2011) para a mesma espécie aos 18 anos de idade. Motta et al. (2014) observaram a largura da fibra média de 24,09  $\mu\text{m}$  para a madeira de cedro nativo (*C. fissilis*) cujo valor é próximo ao encontrado neste estudo.

Tabela 6 - Estatística descritiva e comparação de médias da largura da fibra dos clones XB, XD, XE, FE e MD da madeira de *Toona ciliata* aos sete anos de idade.

Clone	Largura da fibra ( $\mu\text{m}$ )				
	Mínimo	Médio	Máximo	Desvio padrão	CV%
XB	27,91	<b>24,24 b</b>	27,91	1,5	6,17
XD	21,77	<b>26,95 a</b>	30,61	2,44	9,07
XE	23,95	<b>27,80 a</b>	30,28	1,96	7,06
FE	20,6	<b>24,06 b</b>	26,42	1,92	7,96
MD	22,72	<b>24,40 b</b>	26,18	1,7	4,37
Média geral	23,39	<b>25,49</b>	28,28	1,90	6,93

As médias seguidas de mesma letra na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância.

Fonte: Do autor.

### 5.2.3 Diâmetro do lume

Quanto ao diâmetro do lume (Apêndice A), foi observada diferença significativa apenas entre os clones. A Tabela 7 apresenta os valores mínimos, médio e máximo para o diâmetro do lume entre os clones de *T. ciliata* aos sete anos de idade. Pode-se observar que o diâmetro do lume variou de 17,30 a 27,14  $\mu\text{m}$  entre os clones. Essa amplitude de variação é superior aos valores encontrados por Ribeiro et al. (2011a) para a mesma espécie aos quatro anos de idade.

Tabela 7 - Estatística descritiva e comparação de médias do diâmetro do lume da fibra dos clones XB, XD, XE, FE e MD da madeira de *Toona ciliata* aos sete anos de idade.

Clone	Diâmetro do lume da fibra ( $\mu\text{m}$ )				
	Mínimo	Médio	Máximo	Desvio padrão	CV%
XB	17,94	<b>20,31 b</b>	24,30	1,65	8,10
XD	18,36	<b>23,18 a</b>	27,14	2,42	10,43
XE	20,21	<b>24,06 a</b>	26,44	1,95	8,10
FE	17,30	<b>19,98 b</b>	22,55	1,75	8,73
MD	20,91	<b>20,92 b</b>	23,01	1,27	6,07
Média geral	18,94	<b>22,38</b>	24,68	1,80	8,28

As médias seguidas de mesma letra na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância.

Fonte: Do autor.

Os clones foram classificados em dois grupos de acordo com o teste de Scott-Knott a 5% de significância (Tabela 7). O primeiro grupo com as maiores médias, é representado pelos clones XD e XE (23,18  $\mu\text{m}$  e 24,06  $\mu\text{m}$ ) respectivamente. O segundo grupo foi composto pelos clones: MD (20,92  $\mu\text{m}$ ), XB (20,31  $\mu\text{m}$ ) e FE (19,98  $\mu\text{m}$ ).

#### 5.1.2.4 Espessura da parede

Foi encontrada diferença significativa apenas entre os clones para a espessura da parede da fibra (APÊNDICE A). A espessura da parede também foi classificada em dois grupos para os clones estudados. Sendo que os clones FE e XB apresentaram as maiores médias com 2,03  $\mu\text{m}$  e 1,97  $\mu\text{m}$ , formando o primeiro grupo. O segundo grupo foi formado pelos clones XD, XE e MD (TABELA 8).

Tabela 8 - Estatística descritiva e comparação de médias da espessura da parede da fibra dos clones XB, XD, XE, FE e MD da madeira de *Toona ciliata* aos sete anos de idade.

Clone	Espessura da parede da fibra ( $\mu\text{m}$ )				
	Mínimo	Médio	Máximo	Desvio padrão	CV%
XB	1,80	<b>1,97 a</b>	2,36	0,15	7,53
XD	1,71	<b>1,89 b</b>	2,20	0,14	7,35
XE	1,69	<b>1,87 b</b>	2,09	0,12	6,43
FE	1,40	<b>2,03 a</b>	2,50	0,34	16,9
MD	1,30	<b>1,74 b</b>	2,00	0,27	15,41
Média geral	1,58	<b>1,90</b>	2,23	0,20	10,72

As médias seguidas de mesma letra na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância.

Fonte: Do autor

Os valores obtidos para a espessura da fibra que variou de 1,30 a 2,36  $\mu\text{m}$  (Tabela 8), são inferiores aos encontrados para a mesma espécie por Ribeiro et al. (2011a) e por Nisgoski et al. (2011). Motta et al. (2014) observaram espessura da parede da fibra média de 4,48  $\mu\text{m}$  para a madeira de cedro nativo, sendo superior ao encontrado neste estudo.

### 5.1.3 Correlação de Pearson entre o ângulo microfibrilar e as dimensões das fibras

A correlação de Pearson entre o ângulo microfibrilar e as características morfológicas das fibras da madeira dos clones de *T. ciliata* aos sete anos de idade estão apresentadas na Tabela 8.

Tabela 9 – Correlação de Pearson entre o ângulo microfibrilar e as características morfológicas das fibras da madeira dos clones XB, XD, XE, FE e MD de *Toona ciliata* aos sete anos de idade.

Clone	Comprimento	Largura	Diâmetro do lume	Espessura
<b>XB</b>	-0,95*	0,41	0,37	0,02
<b>XD</b>	-0,93*	-0,33	-0,26	-0,56*
<b>XE</b>	-0,87*	-0,50*	-0,46	-0,33
<b>FE</b>	-0,61*	-0,22	-0,13	-0,28
<b>MD</b>	-0,90*	-0,31	-0,32	0,19

\*= significativo a nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor

De acordo com a classificação de Callegari-Jacques (2003) o comprimento da fibra apresentou correlação forte significativa com o ângulo microfibrilar para os clones XE e FE, e correlação muito forte para os clones XB, XD e MD (TABELA 9). Esse resultado mostra que o aumento do AMF ocorre com a diminuição do comprimento da fibra.

A relação do AFM com as demais características morfológicas da madeira de *T. ciliata* foi significativamente moderada apenas para o clone XE (largura da fibra), clone XD (espessura da fibra). Não foi encontrada relação significativa do AMF com o diâmetro do lume (TABELA 9).

Alguns autores observaram interação significativa entre o comprimento de fibra e AMF como Lima (2015), Souza et al. (2017a). Ribeiro et al. (2011a), observaram correlação positiva entre o AFM e o comprimento da fibra e uma correlação positiva entre o AMF e a espessura da

parede, estudando a mesma espécie, aos quatro anos de idade em três localidades, sendo uma correlação inversa dos resultados encontrados neste estudo (TABELA 9).

## 5.2 Contração

O resumo da análise de variância (Apêndice B) mostra que os clones diferenciaram estatisticamente apenas para a contração radial.

A comparação múltipla dos valores médios das contrações da madeira de *T. ciliata* dos clones XB, XD, XE, FE e MD aos quatro anos de idade pode ser observada na Tabela 10. O valor médio geral entre os clones para contração tangencial foi de 10,12% enquanto o valor médio geral para contração radial foi de 4,43% (TABELA 9). Os valores médios encontrados são maiores dos relatados por Ribeiro et al. (2014) para a mesma espécie aos quatro anos de idade que observaram contração tangencial média de 7,23% e radial de 2,65%, próximo dos valores obtidos por Nassur (2010) para a madeira de *T. ciliata* aos dezoito anos de idade com contração tangencial média de 7,78% e contração radial de 3,22%

Tabela 10 – Comparação múltipla dos valores médios das contrações da madeira e coeficiente de anisotropia de *Toona ciliata* dos clones MD, FE, XB, XD e XE, aos sete anos de idade.

Clone	Contração radial	Contração tangencial	Contração volumétrica	Coefficiente anisotropia
<b>XB</b>	3,80 b	10,53 a	14,36 a	3,01 a
<b>XD</b>	4,88 b	10,61 a	15,46 a	2,27 a
<b>XE</b>	4,12 b	9,19 a	13,33 a	2,30 a
<b>FE</b>	4,00 b	10,19 a	14,33 a	3,12 a
<b>MD</b>	5,79 a	10,05 a	15,98 a	1,73 a
<b>Média</b>	4,43	10,12	14,6	2,54

As médias seguidas de mesma letra na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância.

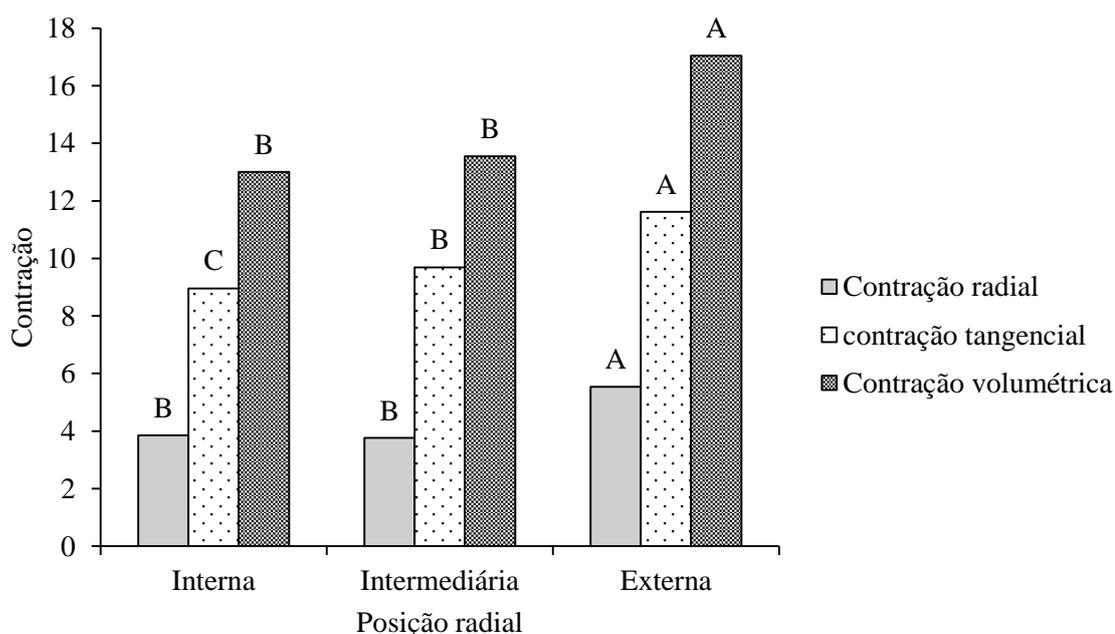
Fonte: Do autor.

Comparando a madeira de cedro australiano com a de cedro nativo observamos que contração radial média de 4,43% obtida para a madeira dos clones de *T. ciliata*, é inferior aos relatados por Delucis et al. (2013) e Motta et al. (2014) para a madeira de *C. fissilis* (cedro). Já os valores médios encontrados para a contração tangencial, volumétrica e coeficiente de anisotropia foram superiores aos observados pelos mesmos autores para a madeira de cedro nativo. Dessa forma a madeira de cedro australiano mostra menor estabilidade dimensional em

comparação com a madeira de cedro tendo coeficiente de anisotropia médio entre 1,16 (MOTTA et al., 2014) a 1,35 (DELUCIS et al., 2013).

Para as contrações radiais, tangenciais e volumétricas foi observada diferenças significativas entre as posições radiais (APÊNDICE B). Observa-se acréscimo no sentido medula-casca para as contrações radiais da madeira interna (3,8%) para a madeira externa (5,54%) totalizando acréscimo geral de 31% (FIGURA 7). Lima (2015) também observou a tendência do aumento das contrações no sentido medula-casca, para híbridos de *E. grandis* × *E. urophylla* aos 6,5 anos de idade. Essa tendência pode estar relacionada com as variações das dimensões das fibras e do ângulo microfibrilar.

Figura 7 - Valores médios para as contrações da madeira dos clones de *Toona ciliata* aos sete anos de idade.



Médias seguidas de mesma letra para a mesma contração, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Fonte: Do autor.

Para a contração tangencial (Figura 7) observa-se acréscimo das contrações tangenciais da madeira interna (8,96%) para a madeira intermediária (9,69%) para a madeira externa (11,62%) resultando em de 23% de acréscimo. Ao comparar os resultados das contrações com os valores do ângulo microfibrilar, podemos observar relação inversamente proporcional das posições no sentido medula-casca. De acordo com Donaldson (2008) as células com baixo AMF tendem a apresentar maiores contrações tangenciais, o que dá suporte aos resultados aqui

obtidos, em que maiores alterações das dimensões foram observadas na posição externa da madeira dos clones de *T. ciliata*, que foi a posição com os menores registros para o AMF.

Ao analisar a Tabela 11, podemos observar correlação moderada a forte significativa do AMF com a densidade básica para os clones XB, XE e MD, mostrando que o AMF desses clones aumenta com a redução da densidade básica. Segundo Donaldson (2008) a relação existente entre o AMF e a densidade básica pode ser provável coincidência, uma vez que o AMF não está relacionado com a espessura de parede, destacando ainda que a existência da relação entre elas, pode ocorrer devido à proporção do lenho juvenil e lenho adulto, por ambos apresentarem interação com a densidade e AMF. Entretanto, deve-se considerar também a possibilidade de haver correlação entre o AMF e fatores que influenciam diretamente a densidade da madeira.

Tabela 11 - Correlação de Pearson entre o ângulo microfibrilar, a densidade básica e as contrações da madeira dos clones XB, XD, XE, FE e MD de *Toona ciliata* aos sete anos de idade.

Clone	Densidade básica	Contração radial	Contração tangencial	Contração volumétrica
<b>XB</b>	-0,65*	-0,74*	-0,40	-0,65*
<b>XD</b>	-0,37	-0,68*	-0,50*	-0,58*
<b>XE</b>	-0,53*	-0,51*	-0,55*	-0,58*
<b>FE</b>	-0,33	0,00	-0,40	-0,48*
<b>MD</b>	-0,61*	-0,05	0,16	0,15

\* significativo a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor

Para a contração radial (Tabela 11), observa-se relação inversa com o AMF significativa apenas para os clones XB, XD e XE. Já a contração tangencial a relação inversa com o AMF foi para os clones XD e XE.

### 5.3 Secagem drástica

#### 5.3.1 Densidade básica, umidade inicial e máximo teor de umidade

A Tabela 12 apresenta os valores médios obtidos para a densidade básica, umidade inicial e máximo teor de umidade da madeira de *T. ciliata* dos clones XB, XD, XE, FE e MD aos sete anos de idade.

Tabela 12 -Valores médios da densidade básica, umidade inicial e máximo teor de umidade da madeira dos clones MD, FE, XB, XD e XE de *Toona ciliata* aos sete anos de idade.

Clone	Densidade básica (g.cm <sup>-3</sup> )	Umidade inicial (%)	Máximo teor umidade (%)
XB	0,272 b	301 c	301 c
XD	0,250 c	331 b	333 b
XE	0,216 d	389 a	390 a
FE	0,273 b	309 c	307 c
MD	0,303 a	266 d	265 d
<b>Média</b>	0,263	319	319
<b>CV</b>	5,28	6,64	6,73

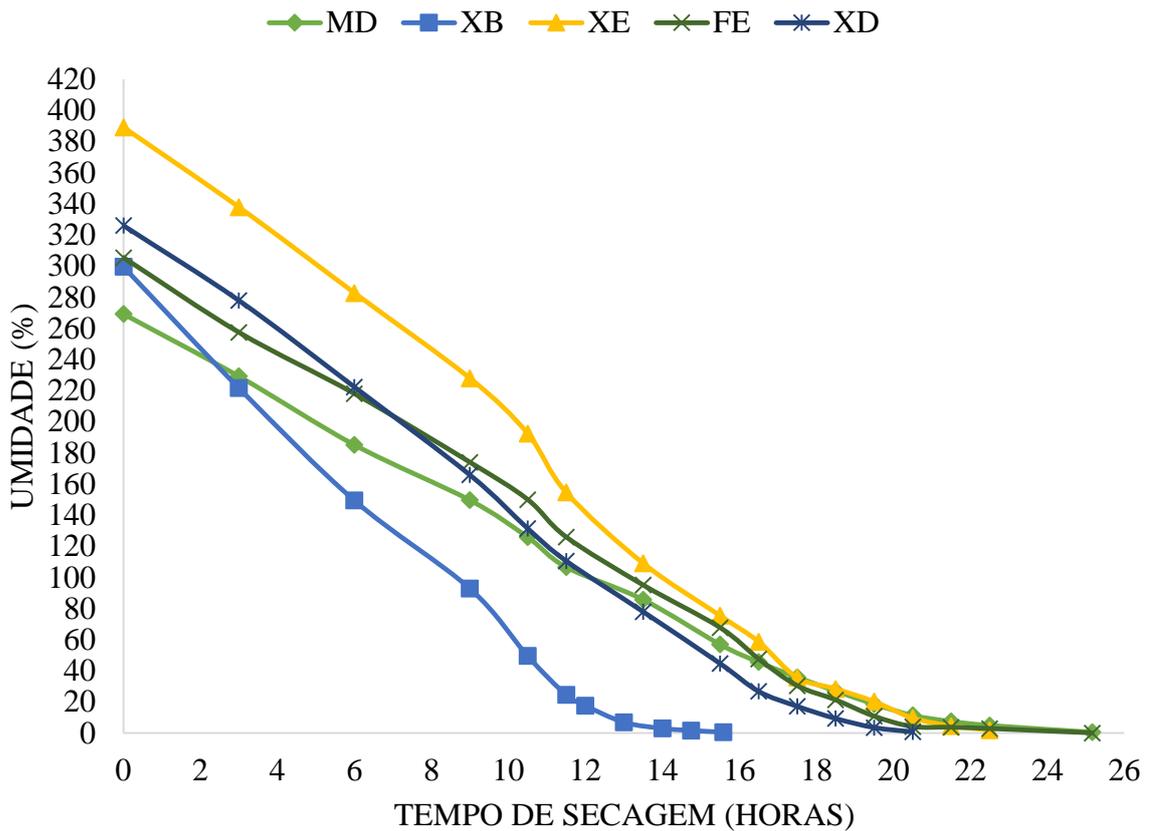
As médias seguidas de mesma letra na mesma coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância.

A madeira do clone MD apresentou maior densidade básica, que foi de 0,303 g.cm<sup>-3</sup>, enquanto a menor densidade básica foi de 0,216 g.cm<sup>-3</sup> apresentada pelo clone XE (Tabela 12). A densidade básica média encontrada foi de 0,263 g.cm<sup>-3</sup>, sendo inferior à encontrada por Ribeiro et al. (2011b) de 0,304 g.cm<sup>-3</sup> ao avaliarem a densidade básica da madeira de *T. ciliata* aos quatro anos, e por Braz et al. (2013) que observaram uma densidade média de 0,318 g.cm<sup>-3</sup> para madeira de 6, 12 e 18 anos, tendendo ao aumento em função da idade, próxima à encontrada por Nassur (2010) para a madeira de 18 anos de idade (DB = 0,314 g.cm<sup>-3</sup>). Apesar dos dados da literatura serem superiores à densidade básica média geral a diferença é pequena. Esse resultado se deve à variação fenotípica existente entre os clones estudados (LIMA et al., 2000) e pode também estar relacionado com a idade da árvore.

Normalmente, madeiras de menor densidade apresentam maior taxa de secagem (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985) e menor propensão ao desenvolvimento de defeitos. A curva de secagem da madeira de *T. ciliata* dos clones XB, XD, XE, FE e MD aos sete anos de idade (Figura 8) expressa a perda de umidade no tempo para cada clone.

Ao analisar os dados de umidade inicial, podemos observar que os valores são inversamente proporcionais aos valores médios de densidade básica apresentado na Tabela 12, que está de acordo com análise feita Skaar (1972), que segundo o autor a relação inversa entre as propriedades é explicada pela menor proporção de espaços vazios que podem ser preenchidos por água em madeiras mais densas. O clone XE apresentou a maior umidade inicial de 389% sendo o clone com menor densidade básica apresentada, assim como o MD com menor umidade inicial de 266% correspondente a maior densidade básica (TABELA 12). Devido à permanência dos corpos de prova imersos em água até a realização dos testes e à baixa densidade da madeira estudada, pode-se observar elevadas umidades iniciais próximas ao máximo teor de umidade (TABELA 12).

Figura 8 - Curva de secagem drástica da madeira dos clones XB, XD, XE, FE e MD de *Toona ciliata* aos sete anos de idade.



Fonte: Do autor

Observando-se a Figura 8, em relação ao tempo da secagem drástica, os clones MD e FE apresentaram maiores tempos de secagem (aproximadamente 25 horas). Analisando a semelhança dos dois clones para essa característica, verifica-se que os mesmos apresentaram

maiores médias de densidade básica, porém o clone FE possuía a maior umidade inicial e pequena diferença de densidade básica do clone MD, ocasionando queda significativamente maior na saída de água livre, o que ocorreu de forma mais branda no clone MD.

O menor tempo de secagem drástica foi do clone XB, com 16 horas (FIGURA 8). De acordo com as variáveis, este clone apresentou valores de densidade básica média e umidade inicial próximas do clone FE. Apesar disso o clone XB apresentou comportamento diferente durante a secagem, demonstrando maior facilidade de perda de umidade. O comportamento apresentado pela madeira do clone XB pode ter influência de outras variáveis como a anatomia e a permeabilidade da madeira (SIAU 1971) conforme verificado por (MONTEIRO et al., 2017) e constatado por (REZENDE et al., 2017) para as variáveis respectivamente.

### 5.3.2 Variáveis do processo da secagem drástica

Na Tabela 13 encontram-se os valores médios gerados pelas variáveis no processo da secagem drástica da madeira de *T. ciliata* para os clones XB, XD, XE, FE e MD aos sete anos de idade. A madeira do clone XB apresentou médias superiores para as taxas de secagem de (TS<sub>5%</sub>, TS<sub>30%</sub> e TS<sub>30-5%</sub>), seguida do clone XD. Os clones XE e FE apresentaram diferenças significativas apenas para a taxa de secagem entre o teor da umidade de 30 a 5% (T<sub>30-5%</sub>). A menor média foi observada no clone MD (TABELA 13).

Tabela 13- Valores médios das variáveis do ensaio da secagem drástica a 100°C da madeira dos clones XB, XD, XE, FE e MD de *Toona ciliata* aos sete anos de idade.

Clone	TS <sub>5%</sub>	TS <sub>30%</sub>	TS <sub>30-5%</sub>	T <sub>5%</sub>	T <sub>30%</sub>	T <sub>30-5%</sub>	R <sub>5%</sub>	R <sub>30%</sub>	R <sub>30-5%</sub>
<b>XB</b>	0,029a	0,031a	0,019a	12,98	10,9	2,08	1	1	1
<b>XD</b>	0,021b	0,023b	0,014b	18,59	16,04	2,54	1	1	1
<b>XE</b>	0,020c	0,021c	0,011c	20,5	18	2,5	1	1	1
<b>FE</b>	0,019c	0,020c	0,012b	20,08	17,16	2,91	1	1	1
<b>MD</b>	0,018d	0,019c	0,010c	21,34	17,4	3,93	1	1	1

As médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância. TS<sub>5%</sub>: = taxa de secagem da umidade inicial até 5% de umidade; TS<sub>30%</sub>: = taxa de secagem da umidade inicial até 30%; TS<sub>30-5%</sub> = taxa de secagem de 30% a 5% de umidade; T<sub>5%</sub> = tempo de secagem da umidade inicial até 5%; T<sub>30%</sub> = tempo de secagem da umidade inicial a 30%; T<sub>30-5%</sub> = tempo de secagem entre 30 a 5% de umidade; R<sub>5%</sub> = rachadura de topo a 5% de umidade; R<sub>30%</sub> = rachadura de topo a 30% de umidade; R<sub>30-5%</sub> = rachadura de topo entre as umidades de 30 a 5%. IC = índice de colapso. Fonte: Do autor.

As madeiras dos clones apresentaram diferenças quanto ao tempo total de secagem, sendo observado que o clone MD apresentou maiores tempos nas três fases da secagem, e o menor tempo foi representado pelo clone XB. Observando-se conjuntamente os resultados da Tabela 13, o clone MD apresentou menores taxas de secagem, o que já era esperado pelo maior tempo gasto durante o processo. A mesma observação vale para os resultados do o clone XB, apresentando maiores taxas de secagem em menor tempo.

### 5.3.3 Defeitos

Durante a evolução da secagem drástica, os corpos de prova não apresentaram nenhum tipo de rachadura para os clones estudados (Figura 9), fato interessante, por ser uma madeira provinda de desbaste, porosa e com teor de umidade inicial elevado. A ausência de rachadura mostra que apesar das dificuldades de saída da água da madeira e tensões originadas, o comportamento mecânico resultante foi positivo, não resultando em rupturas dos tecidos. Desta forma as rachaduras ficaram classificadas com o escore 1 (TABELA 13). Porém os corpos de prova apresentaram colapso (Figura 9), o que denota a dificuldade de remoção de água antes mencionada e suscetibilidade dos componentes celulares da madeira a deformações. Os valores médios para o índice de colapso, estão apresentados na Tabela 14. Os clones FE e MD apresentaram colapso em forte nível. Já os demais clones (XB, XD e XE) mostraram colapso de nível moderado a leve.

Tabela 14- Valores médios do Índice e nível de colapso da madeira dos clones XB, XD, XE, FE e MD de *Toona ciliata* aos sete anos de idade.

Clone	Índice de colapso	Nível de colapso
XB	0,94 a	Moderado
XD	0,95 a	Leve
XE	0,91 a	Moderado
FE	0,88 b	Forte
MD	0,86 b	Forte

As médias seguidas de mesma letra na mesma coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância.

Fonte: Do autor

De acordo com os resultados apresentados para o nível de colapso, deve-se evitar altas temperaturas no início do programa de secagem principalmente para os clones FE e MD.

Figura 9 – Corpo de prova da madeira de *Toona ciliata* aos sete anos de idade após a secagem drástica a 100°C. A = corpo de prova com ausência de rachadura e B = topo do corpo de prova com colapso. Barra = 1cm.



#### 5.3.4 Correlação entre as características da madeira e as variáveis da secagem drástica

De acordo com os resultados da correlação de Pearson (Tabela 15) entre características da madeira e as variáveis da secagem drástica dos clones XB, XD, XE, FE e MD aos sete anos de idade, observa-se que a densidade básica apresentou correlação significativa entre muito forte e perfeita com a umidade da madeira de acordo com a classificação de Callegari-Jacques (2003), indicando a tendência de redução da umidade com o aumento da densidade. Conforme já discutido no item 5.3.1, sabe-se que quanto maior a densidade menor será a quantidade de espaços vazios na madeira, o que causa menor capacidade de retenção de umidade. Já a relação da densidade básica com a taxa de secagem e em relação ao tempo foi de moderada a forte para alguns clones (TABELA 15). Para as demais características anatômicas, cada clone mostrou relação diferente com a taxa de secagem, umidade e tempo de secagem. Os clones FE e MD mostraram correlação significativa moderada entre comprimento da fibra e o tempo de secagem. Os clones XD e XB (Tabela 15) que mostraram correlações significativas moderadas positiva e negativa, respectivamente entre comprimento da fibra e a taxa secagem.

De acordo com os resultados da literatura, a relação dos elementos anatômicos e a permeabilidade da madeira podem apresentar divergências. Baraúna et al. (2014) encontraram correlação positiva entre o comprimento de fibras e a permeabilidade ao líquido estudando a madeira de amapá. Já Monteiro et al. (2017) observaram correlação negativa, em que o aumento

das dimensões das fibras (comprimento, largura e diâmetro do lume) favoreceu o fluxo da água nas madeiras de *Eucalyptus e Corymbia*.

Tabela 15 - Valores de correlação de Pearson entre as características da madeira dos clones XB, XD, XE, FE e MD de *Toona ciliata* com as variáveis da secagem drástica

Variáveis	Clone	Taxa de secagem	Umidade	Tempo
<b>Densidade básica</b>	XB	-0,65*	-0,99*	0,52*
	XD	0,60*	-0,99*	-0,66*
	XE	-0,15	-1,00*	-0,03
	FE	-0,09	-0,95*	0,02
	MD	0,06	-1,00*	-0,28
<b>Comprimento da fibra</b>	XB	-0,52*	-0,65*	0,08
	XD	0,58*	-0,24	-0,43
	XE	0,04	0,01	-0,58*
	FE	0,03	-0,20	-0,51*
	MD	-0,07	-0,87	-0,24
<b>Espessura da parede</b>	XB	0,47	0,06	-0,48
	XD	0,63*	-0,44	-0,44
	XE	-0,32	-0,49	-0,11
	FE	0,10	-0,57*	0,14
	MD	-0,12	-0,25	0,13
<b>Diâmetro do lume</b>	XB	-0,05	0,16	0,29
	XD	-0,13	0,32	0,21
	XE	0,50*	0,01	-0,57*
	FE	-0,05	-0,12	-0,23
	MD	0,06	0,03	0,18

\* = significativo a nível de 5% de probabilidade.

A espessura da parede apresentou correlação moderadamente positiva com a taxa de secagem para o clone XD. Para a relação da espessura de parede com a umidade, apenas o clone XB foi significativa. Não foi observada relação significativa entre a espessura de parede e tempo de secagem. Vários autores (Baraúna et. al., 2014; Monteiro et. al., 2017 e Rezende et. al., 2017) discutem a relação da frequência dos vasos e suas dimensões com a secagem da madeira. Dessa forma trabalhos futuros devem ser realizados utilizando esta característica da madeira para melhor conhecimento da sua influência no comportamento durante a secagem da madeira de *T. ciliata*.

### 5.3.5 Parâmetros do programa de secagem

De posse dos dados da Tabela 13 e dos modelos matemáticos apresentados nas equações 6, 7 e 8, foram calculados os parâmetros do programa de secagem (temperatura inicial, temperatura final e potencial de secagem) da madeira de *T. ciliata* aos sete anos de idade (Tabela 16) visando a elaboração dos programas de secagem.

Tabela 16 - Parâmetros para a elaboração do programa de secagem dos clones MD, XB, XE, FE e XD de *Toona ciliata* aos sete anos de idade

Clone	Temperatura inicial °C	Temperatura final °C	Potencial de secagem
<b>XB</b>	51,00	72,00	2,29
<b>XD</b>	52,00	76,00	2,09
<b>XE</b>	53,00	78,00	2,11
<b>FE</b>	52,00	76,00	2,04
<b>MD</b>	51,00	76,00	2,06

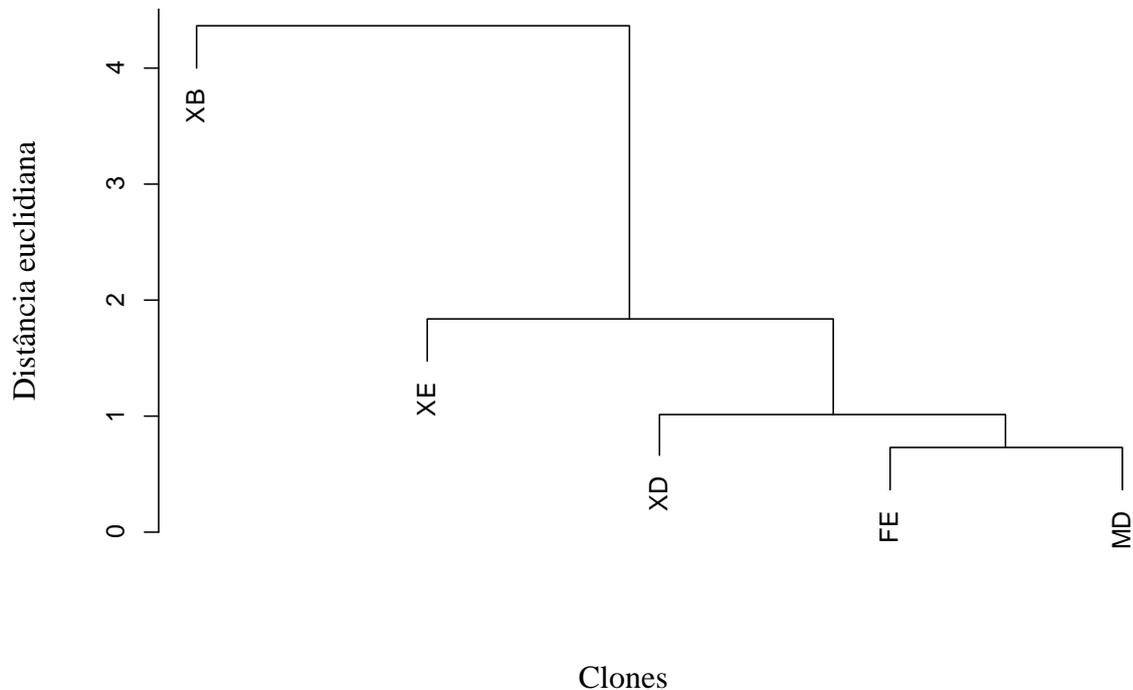
Fonte: Do autor.

Conforme a Tabela 16, observa que o clone XE mostrou maior tolerância a temperatura inicial e final em relação aos demais. O clone XB foi o que apresentou maior potencial de secagem dentre os clones, indicando superioridade a condições mais drásticas durante o processo de secagem, em relação aos outros clones. Relacionando os valores da Tabela 13 e 15, os clones MD, FE e XD apresentam valores da taxa de secagem, o tempo de secagem e os defeitos semelhantes, possibilitando a união em um único programa de secagem, para os mesmos.

Mendes et al. (1998) pesquisaram informações sobre o comportamento de 280 espécies Brasileiras durante a secagem convencional, e dentre as espécies estudadas encontraram dois programas de secagem para a madeira de *C. fissilis* (cedro brasileiro), semelhante ao cedro australiano. Os valores observados nos dois programas de secagem apresentados por esses autores variaram de 55 a 65° (programa 1) e de 58 a 76° (programa 2) para temperatura inicial e temperatura final, respectivamente. Esses valores são próximos aos mostrados na Tabela 15. Analisando os resultados obtidos, foi possível indicar programas de secagem para os clones. Através da análise de agrupamento dos parâmetros da secagem drástica (TI, TF, PS) pela técnica da distância euclidiana (Figura 10), foi observada semelhança dos clones XD, MD e FE

entre os parâmetros de secagem, possibilitando o agrupamento dos mesmos em um único programa de secagem.

Figura 10 – Agrupamento dos clones XB, XD, XE, FE e MD de *Toona ciliata* em função dos parâmetros de secagem (TI, TF e PS), por meio da dissimilaridade da distância euclidiana.



Os clones XB e XE apresentaram maior distância euclidiana em relação aos outros clones (Figura 10), dessa forma foi elaborado programas de secagem específico para os clones XB e XE. A possibilidade do agrupamento dos clones em um único programa de secagem é benéfico para as empresas, deixando de ser necessário manter elevado estoque de cada clone, para carregar o secador com material muito homogêneo. Ao adotar agrupamento de diferentes madeiras em único programa de secagem, é importante ressaltar que as madeiras podem apresentar ligeiras diferenças no comportamento durante a secagem convencional. Na opção de agrupamento de espécies deve-se sempre seguir a espécie com a secagem mais lenta, ou seja, o programa mais suave. Dessa forma o programa de secagem comum aos clones XD, MD e FE, devem seguir os parâmetros do clone MD que apresentou maior tempo de secagem e maior tendência ao colapso.

A partir dos resultados da Tabela 16 e com auxílio de cartas psicométricas, foram propostos três programas de secagem apresentados nas Tabelas 17 (clone XE), Tabela 18 (clone XB) e Tabela 19 (clones XD, MD e FE).

Tabela 17 - Programa de secagem desenvolvido para a madeira do clone XE de *Toona ciliata* aos sete anos de idade.

<b>Etapas</b>	<b>TBS (°C)</b>	<b>TBU (°C)</b>	<b>UR (%)</b>	<b>UE (%)</b>	<b>PS (Un.)</b>
Aquecimento	53	52,5	97	22,6	-
Ui a 45%	53	51,5	92	19	2,11
40% a 35%	53	50,5	87	17	2,11
35% a 30%	53	49	79	14	2,11
30% a 25%	59	53,5	74	12	2,11
25% a 20%	66	58	65	10	2,11
20% a 15%	72	59	53	7	2,11
15% a 10%	78	56	35	5	2,11
Uniformização	78	76	72	10	-
Condicionamento	78	73	80	12	-

TBS = temperatura do bulbo seco; TBU = temperatura do bulbo úmido; UR = umidade relativa; UE = umidade de equilíbrio; PS = potencial de secagem.

Fonte: Do autor

Tabela 18 - Programa de secagem desenvolvido para a madeira do clone XB de *Toona ciliata* aos sete anos de idade.

<b>Etapas</b>	<b>TBS (°C)</b>	<b>TBU (°C)</b>	<b>UR (%)</b>	<b>UE (%)</b>	<b>PS (Un.)</b>
Aquecimento	51	50,5	97	22,8	-
Ui a 45%	51	48,5	87	18	2,29
40% a 35%	51	47,5	81	15	2,29
35% a 30%	51	46,5	76	13	2,29
30% a 25%	56	50	71	11	2,29
25% a 20%	62	53	60	9	2,29
20% a 15%	67	63	49	7	2,29
15% a 10%	72	50	32	4	2,29
Uniformização	72	64,7	70	10	-
Condicionamento	72	67	79	12	-

TBS = temperatura do bulbo seco; TBU = temperatura do bulbo úmido; UR = umidade relativa; UE = umidade de equilíbrio; PS = potencial de secagem.

Fonte: Do autor

Tabela 19 - Programa de secagem desenvolvido para madeira dos clone MD, XD e FE de *Toona ciliata* aos sete anos de idade.

<b>Etapas</b>	<b>TBS (°C)</b>	<b>TBU (°C)</b>	<b>UR (%)</b>	<b>UE (%)</b>	<b>PS (Un.)</b>
Aquecimento	51	50,5	97	22,3	-
Ui a 45%	51	49,5	92	19	2,06
40% a 35%	51	48,5	87	17	2,06
35% a 30%	51	47,5	81	15	2,06
30% a 25%	57	52	75	12	2,06
25% a 20%	64	57	68	9,7	2,06
20% a 15%	70	57	53	7	2,06
15% a 10%	76	56	38	5	2,06
Uniformização	76	69	71	10	-
Condicionamento	76	71	79	12	-

TBS = temperatura do bulbo seco; TBU = temperatura do bulbo úmido; UR = umidade relativa; UE = umidade de equilíbrio; PS = potencial de secagem.

Fonte: Do autor

É necessário que os programas de secagem desenvolvidos sejam testados industrialmente, em virtude da maior disponibilidade de material, para comprovar a eficácia dos programas desenvolvidos no presente estudo.

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e discutidos neste estudo, pode-se concluir para a madeira de *Toona ciliata* que:

- i. As madeiras dos clones XB, XD, XE, FE e MD, apresentaram redução de 26,89% do ângulo microfibrilar médio no sentido medula-casca. A maior média de AMF foi apresentada pelo o clone MD (12,3°) enquanto a menor foi do clone FE (10,4°).
- ii. O clone XD mostrou maiores dimensões para o comprimento da fibra (1061,87  $\mu\text{m}$ ), largura da fibra (24  $\mu\text{m}$ ) e diâmetro do lume (23,17  $\mu\text{m}$ ), enquanto o clone FE teve as menores dimensões, porém apresentou maior espessura de parede (2  $\mu\text{m}$ ).
- iii. Os valores médios da contração radial, tangencial e volumétrica entre os clones foram de 4,43%, 10,12% 14,60% respectivamente e o coeficiente de anisotropia foi de 2,54.
- iv. A maior média de densidade básica da madeira foi do clone MD de 0,302  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  enquanto a menor foi clone XE com 0,216  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ .
- v. O clone XB apresentou menor tempo de secagem drástica (16 horas) e as maiores taxas de secagem em relação aos demais.
- vi. Dos defeitos estudados, os clones não apresentaram rachadura de topo. Os clones FE e MD apresentaram alta susceptibilidade ao colapso.
- vii. Apenas os clones XD e XB mostraram relação da densidade básica com a taxa de secagem e com o tempo de secagem.
- viii. O comprimento da fibra apresentou correlação significativa moderada com a taxa de secagem para os clones XB e XD.
- ix. Foram desenvolvidos dois programas de secagem para os clones XB e XE. As semelhanças das variáveis obtidas permitiram o agrupamento dos clones MD, FE e XD em um único programa de secagem.
- x. A madeira do clone XB apresentou melhores resultados para as características avaliadas, enquanto o clone MD apresentou maior densidade básica, menores taxas de secagem e maiores contrações da madeira, indicando que o programa de secagem desenvolvido por agrupamento, deve levar em conta a madeira do clone MD, por ser o de maior dificuldade de secagem entre os demais.

## REFERÊNCIAS

- ALBINO, V. C. S. et al. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis compensados de *toona ciliata* m. roem. var. *australis*. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 103-108, jan./mar. 2011
- ANDRADE, A.; JANKOWSKY, I. P; DUCATTI, M. A. Grupamento de madeiras para secagem convencional. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, n. 59, p. 89-99, jun. 2001.
- ARRUDA, T. P. M. de. **Secagem da madeira juvenil de *Tectona grandis* L.F.** 98 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **D143/94**: standard methods of testing small clear specimens of timber- Denver, 1997. p. 23-53
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7190**: projetos de estruturas de madeira - rio de janeiro, 1997. 107P
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 11941**: madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.
- BARAÚNA, E. E.P. et al. Efeito da estrutura anatômica e química na permeabilidade da madeira de Amapá. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 4, p. 529-534, 2014.
- BARBOSA, C. G. et al. Elaboração de programa de secagem para madeiras de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne**. Lavras, v. 11, n. 1, p. 40-48, jan./mar. 2005.
- BARNETT, J. R.; V. A. BONHAM. Cellulose microfibril angle in the cell wall of wood fibres. **Biological Reviews**. v.79, p. 461–472. 2004.
- BATISTA, D. C. **Qualidade da secagem convencional conjunta da madeira de nove clones do gênero *Eucalyptus***. 105p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2009.
- BRANDÃO, A. T. de O. **Determinação de metodologia para a indicação de programas de secagem de madeiras**. 100 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.
- BRAZ, R. L. et al. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Toona ciliata* em diferentes idades. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 4, p. 663-670, 2013.
- BOOKER, R. E. The importance of the S3 cell wall layer in collapse prevention and wood hardness. In: forest products research conference, Clayton, Australia. **ANAIS...** p. 1-13, 1993.
- BOOKER, R. E.; SELL, J. The nanostructure of the cell wall of softwoods and its functions in a living tree. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v. 56, n. 1, p. 1, 1998.
- BOYD, J. D. Relationships between fibre morphology, growth strains and physical properties of wood. **Australian Forest Res.** 10: 337-360, 1980.

BROWN, H. P.; PANSIN, A. J.; FORSAITH, C. C. **Textbook of Wood Technology: Structure, Identification, Defects, and Uses of the Commercial Woods of the United States.** McGraw-Hill, 1949.

BUFALINO, L. et al. Caracterização química e energética para aproveitamento da madeira de costaneira e desbaste de cedro australiano. **Pesq. flor. bras**, Colombo, v. 32, n. 70, p. 129-137, abr./jun. 2012.

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

BYGRAVE, F. L.; BYGRAVE, P. L. **Growing Australian red cedar: and other meliaceae species in plantation.** Sydney: RIRDC/FWPRDC/MDBC, 2005. 84 p. (RIRDC, 04/135).

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações.** Porto Alegre: Artmed, 2003. 255 p.

CINIGLIO, G. **Avaliação da secagem de madeira serrada de *E. grandis* e *E. urophylla*.** 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

CUNNINGHAM, S. A.; FLOYD, R. B. *Toona ciliata* that suffer frequent height-reducing herbivore damage by a shoot-boring moth (*Hypsipyla robusta*) are taller. **Forest Ecology and Management**, Canberra, v. 225, n. 1/3, p. 400-403, Apr. 2006.

DELUCIS, R. A. et al. Segregação e variação radial de propriedades físicas da madeira juvenil e adulta de cedro (*Cedrela fissilis* vellozo). **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 41, n. 100, p. 549-556, dez. 2013.

DONALDSON, L. Microfibril angle: measurement, variation and relationships - a review. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 29, n. 4, p. 345-386, 2008.

FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, London, v. 155, n. 3924, p. 51, Jan. 1945.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira.** São Paulo: Nobel, 1985. 111p.

GOMIDE, J. L. **Secagem de madeira.** Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. 1977.

HARRIS, P. J. Primary and secondary plant cell walls: A comparative overview. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, v. 36, n. 1, p. 36-53, 2006.

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

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos.** Eschborn: GTZ, 1990. 343 p.

LIMA, J. T.; BREESE, M. C.; CAHALAN, C. M. Genotype-environment interactions in wood basic density of *Eucalyptus* clones. **Wood Science and Technology**, Alemanha, v. 34, n. 2000, p. 197-206, 2000.

LIMA, J. T.; BREESE, M. C.; CAHALAN, C. M. Variation in microfibril angle in *Eucalyptus* clones. **Holzforschung**, Berlin, v. 58, n. 2, p. 160-166, 2004.

LIMA, J. T.; RIBEIRO, A. O.; NARCISO, C. P. Microfibril angle of *Eucalyptus grandis* wood in relation to the cambial age. **Maderas. Ciencia y tecnologia**, Concepcion, v. 16, n. 4, p. 487-494, 2014.

LIMA, L. C. **Variação do ângulo microfibrilar e do conteúdo de lignina na parede celular das fibras da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla***. 51 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 5 ed. Nova Odessa: Plantarum, 2008. 384 p.

MARTINS, V. A. **Secagem de madeira serrada**. Brasília: IBDF, 1988. 89 p.

MARQUES, M. H. B.; MARTINS, V. A. **Secagem da madeira**. Brasília, DF: IBAMA, 2002. 47 p.

MANGIALAVORI, A. et al. Dasometria en plantaciones comerciales de toona (*Toona ciliata* var. *australis*) em la Provincia de Salta. In: JORNADAS TÉCNICAS FORESTALES Y AMBIENTALES, Eldorado. **Anais...** Eldorado: Facultad de Ciencias Forestales, p. 1-7, 2003.

MENDES, A. S.; MARTINS, V. A.; MARQUES, M. H. B. **Programas de secagem para madeiras brasileiras**. Brasília, DF: IBAMA, 1998. 114 p.

MONTEIRO, T. C. et al. Efeito dos elementos anatômicos da madeira na secagem das toras de *Eucalyptus* e *Corymbia*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 45, p. 493-505, set. 2017.

MOTTA, J. P. et al. Caracterização da madeira de quatro espécies florestais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 12, p. 2186-2192, dez. 2014.

NASSUR, O. A. C. **Variabilidade das propriedades tecnológicas da madeira de *Toona ciliata* M. Roem. com dezoito anos de idade**. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, 2010.

NISGOSKI, S. et al. Anatomia da madeira de *Toona ciliata* características das fibras para produção de papel. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 4, p. 717-728, out./dez. 2011.

PANSHI, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4. ed. New Youk: Mac Graw-Hill, 1980. 722 p.

PEREYRA, O. et al. Estudio de las propiedades fisico-mecánicas y comportamiento en procesos industriales de la madera de kiri, grevillea, paraíso y toona. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 36, n. 2, mai./ago. 2006.

PINHEIRO, A. L.; LANI, J. L.; COUTO, L. **Cedro-australiano: cultivo e utilização (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis* (F. Muell) Bahadur**. Viçosa, MG: UFV, 2003. 42 p.

PONCE, R. M.; WATAI, L. T. **Manual de secagem de madeira**. Brasília: MIC/STI-IPT, 1985. 70 p.

RAMOS, L. M. A. et al. Variação radial dos caracteres anatômicos da madeira de *Eucalyptus grandis* W. HILL Ex Maiden e idade de transição entre lenho juvenil e adulto. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 39, n. 92, p. 411 – 418, dez. 2011.

RAMAY, W.; BRIGGS, D. Juvenile Wood: has it come of age? In: A TECHNICAL WORKSHOP: JUVENILE WOOD - WHAT DOES MEAN TO FOREST MANAGEMENT AND FOREST PRODUCTS. **Proceedings...** Madison: Forest Products Reserch Society, p. 5-11, 1986.

RIBEIRO, A. O.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. Características das dimensões das fibras e análise do ângulo microfibrilar de *toona ciliata* cultivada em diferentes localidades. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 1, p. 47-56, jan./mar. 2011a.

RIBEIRO, A. O. et al. Variação da densidade básica da madeira de *Toona ciliata* Roem cultivada em diferentes localidades. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 359-366, set. 2011b.

RIBEIRO, A. O. et al. Retratabilidade da madeira de *Toona ciliata* M. ROEM proveniente de três municípios do sul de minas gerais. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 3, p. 351-361, out. 2014.

REZENDE, R. N. **Fluxo de ar e água nas madeiras de *Eucalyptus grandis* e de *Eucalyptus dunnii***. 98 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

REZENDE, R. N. et al. Wood Permeability in *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus dunnii*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 25, p. 1-7, 2017.

SIAU, J. F. **Flow in wood**. Syracuse: Syracuse University Press, 1971. 218 p.

SÁNCHEZ, J. Y. C. S. **Extensometria aplicada à determinação das deformações resultantes das tensões de secagem em madeira de *Corymbia citriodora***. 57 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

SANTOS, G. R. V. dos. **Otimização da secagem da madeira de *Eucalyptus grandis* (Hillex Maiden)**. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2002.

SKAAR, C. J. **Water in Wood**. Syracuse: Syracuse University, 1972. 218 p.

SOARES, B. C. D; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M. Analysing the drying behavior of juvenile and mature *Eucalyptus saligna* wood in drastic drying test for optimal drying schedule. **Maderas. Ciencia y Tecnologia**, Concepcion, v. 18, n. 4, p. 543-554, 2016.

SOUZA, M. T. et al. Delimitação estatística dos lenhos juvenil e adulto de *Eucalyptus* e *Corymbia*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.45, n. 116, p. 611-618, dez.2017.

SOUZA, P. P. et al. Permeabilidade longitudinal das madeiras de *E. pilularis*, *E. cloeziana*, *C. citriodora* e *Toona ciliata*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 3., 2017, Florianópolis. **Anais...** Campinas: GALOÁ, 2018.

SUSIN, F. **Avaliação de programas de secagem para madeiras de eucalipto elaborados com base em testes prévios a alta temperatura.** 2012. 161 p. Tese de Doutorado. MS Thesis, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, 2012.

TERAZAWA, S. Methods for easy determination of kiln drying schedule of wood. **Wood Industry**, v. 20, n. 5, 1965.

TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; IWAKIRI, S. Propriedades físicas, químicas e mecânicas da madeira de cedro australiano cultivado em Corupá, SC. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v. 34, n. 80, p. 435-441, out/dez. 2014.

ZIECH, R. Q. de S. **Características tecnológicas da madeira de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem) produzida no sul do Estado de Minas Gerais.** 91 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

WARDROP, A. B.; PRESTON, R. D. Organisation of the cell walls of tracheids and wood fibres. **Nature**, London, v. 160, p. 911-913, Dec. 1947.

## APÊNDICES

APÊNDICE A - Resumo das análises de variância do ângulo microfibrilar e das dimensões da fibra em função de clone, posição radial e da interação clone × posição radial, da madeira de *Toona ciliata*.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado Médio				
		AMF	Comprimento da fibra	Largura da fibra	Diâmetro do lume	Espessura da parede
Clone (C)	4	5,69 *	49478*	36,77*	39,81*	0,14*
Erro a	15	0,19	2392	2,608	2,927	0,06
Posição radial (P)	2	58,68 *	251331*	4,28 ns	4,40 ns	0,11 ns
C x P	8	2,58 *	5206*	5,48 ns	5,95 ns	0,09 ns
Erro b	30	5,86	1411	3,13	2,89	0,02
CV1 (%)		3,95%	4,93%	6,33%	7,88%	13,59%
CV2 (%)		3,97%	3,78%	6,94%	7,84%	7,98%

APÊNDICE B - Resumo das análises de variância das contrações da madeira, coeficiente de anisotropia e densidade básica em função de clone, posição radial e da interação clone × posição radial da madeira de *Toona ciliata*.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado Médio				
		Contração radial	Contração tangencial	Contração volumétrica	Coefficiente de anisotropia	Densidade básica
Clone (C)	4	6,37 *	4,38 ns	9,13 ns	3,71 *	0,0091 *
Erro a	15	1,03	4,45	6,28	1,18	0,0001
Posição radial (P)	2	16,56 *	16,49 *	48,41 *	0,33 ns	0,0031 *
C x P	8	2,95 *	3,54 ns	6,87 ns	1,91 ns	0,0005 *
Erro b	30	1,1	3,65	3,39	2,02	0,0001
CV1 (%)		22,90%	21,48%	17,59%	43,51%	4,71%
CV2 (%)		23,75%	19,46%	12,93%	56,86%	5,08%