

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

SUELLEN RIOS MARTINS

EFEITO DA SECA DE PONTEIRO NA QUALIDADE DA MADEIRA  
DO HÍBRIDO CLONAL DE *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus*  
*urophylla* PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE

JERÔNIMO MONTEIRO  
ESPÍRITO SANTO

2015

SUELLEN RIOS MARTINS

EFEITO DA SECA DE PONTEIRO NA QUALIDADE DA MADEIRA  
DO HÍBRIDO CLONAL DE *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus*  
*urophylla* PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE

Monografia apresentada ao  
Departamento de Ciências  
Florestais e da Madeira da  
Universidade Federal do  
Espírito Santo, como  
requisito parcial para  
obtenção de título de  
Engenheira Industrial  
Madeireira.

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2015

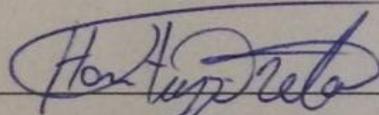
SUELLEN RIOS MARTINS

EFEITO DA SECA DE PONTEIRO NA QUALIDADE DA MADEIRA  
DO HÍBRIDO CLONAL DE *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus*  
*urophylla* PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção de título de Engenheira Industrial Madeireira.

Aprovada em ...08... de ...dezembro... de ...2015...

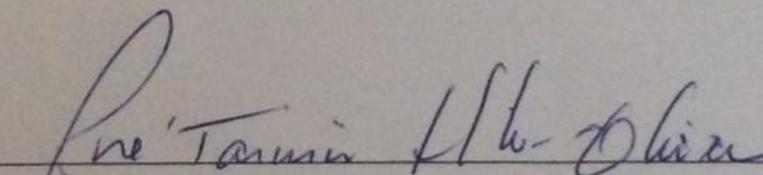
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. DSc. Humberto Fantuzzi Neto

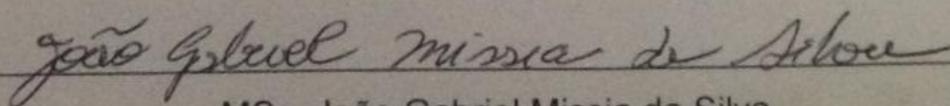
Universidade Federal do Espírito Santo

Orientador



Prof. DSc. José Tarcísio da Silva Oliveira

Universidade Federal do Espírito Santo



MSc. João Gabriel Missia da Silva

Universidade Federal do Espírito Santo

Conselheiro

"No meio da dificuldade  
encontra-se a oportunidade."

*Albert Ainsten*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me sustentar até aqui, me dando discernimento, e muita força para caminhar em meio todas as dificuldades encontradas neste caminho, que foram vencidas graças a Ele.

Ao meu pai, Antônio Cláudio Martins que sempre me incentivou e sempre se dedicou para que eu estivesse aqui adquirindo conhecimento e buscando novos objetivos. A minha mãe, Élide Rios Martins (in memorian), que mesmo não estando presente fisicamente ao meu lado, me educou de maneira que os seus ensinamentos ficassem guardados em mim, e fizeram muita diferença durante as experiências que vivi ao longo deste tempo aqui.

Aos meus avós que sempre se preocuparam comigo e nunca mediram esforços para me ajudar. Em especial ao meu avô Cícero Martins (in memorian) que eu tenho toda certeza que estaria muito feliz ao dividir comigo este momento, pois sempre me incentivou e sempre falava com muito orgulho e respeito desta minha trajetória.

Aos meus familiares por todo apoio que me deram e a Igor Mafra Cardoso por me incentivar desde o início desta minha escolha e por dividir comigo a alegria de concluir esta etapa.

À Universidade Federal do Espírito Santo por proporcionar diversas oportunidades de aprendizado e crescimento durante minha graduação e ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira por conceder a infraestrutura necessária para a realização deste trabalho.

Ao meu professor e orientador Humberto Fantuzzi Neto, pela disponibilidade em orientação e pelo aprendizado dado durante o desenvolvimento do trabalho e durante a graduação.

A todos os meus amigos que participaram diretamente desta trajetória, que sempre me proporcionaram bons momentos. E em especial a todos que se empenharam a me ajudar no desenvolvimento deste presente trabalho.

Aos professores envolvidos no trabalho e aos técnicos do departamento Elecy Palácio Constantino e ao José Geraldo Lima de Oliveira, por todo o apoio e ajuda. E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

A Seca do Ponteiro é uma doença que tem afetado plantios de eucalipto. É caracterizada pela seca das porções apicais das árvores e promove um aspecto amarelado às suas folhas, podendo comprometer o desenvolvimento das árvores e, por consequência, afetar a qualidade da madeira. Devido a importância econômica que as florestas plantadas de eucalipto possuem, é necessário que sejam desenvolvidas pesquisas que permitam conhecer o efeito que as doenças causam na qualidade da madeira, uma vez que, a maior área das florestas plantadas são para fins industriais, e a qualidade desta matéria prima é primordial. Neste estudo, foi analisado o efeito da seca do ponteiro na qualidade da madeira para a produção de polpa celulósica, para isso foi determinada a densidade básica das madeiras atacadas e sadias, e foram realizadas análises químicas e anatômicas, que foram relacionadas com os resultados do cozimento do material. As árvores sadias apresentaram resultados mais satisfatórios no processo de cozimento devido ao melhor rendimento apresentado no processo.

Palavras chaves: Seca do ponteiro. Qualidade da madeira. Produção de celulose

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>1.1 O problema e sua importância .....</b>                                     | <b>2</b>  |
| <b>1.2 Objetivo.....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>1.2.1 Objetivo geral.....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>1.2.2 Objetivos específicos .....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>1. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>1.1 Seca de ponteiro .....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>1.2 Qualidade da madeira .....</b>   | <b>4</b>  |
| <b>1.2.1 Propriedades da madeira que influenciam a produção de celulose .....</b> | <b>5</b>  |
| <b>2. METODOLOGIA.....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>2.1 Origem da madeira .....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>2.2 Amostragem da madeira .....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>2.3 Determinação da densidade básica da madeira .....</b>                      | <b>9</b>  |
| <b>2.4 Análise anatômica da madeira .....</b>                                     | <b>10</b> |
| <b>2.5 Análise química da madeira .....</b>                                       | <b>12</b> |
| <b>2.5.1 Teores de extrativos .....</b>   | <b>12</b> |
| <b>2.5.2 Teores de ligninas .....</b>   | <b>13</b> |
| <b>2.5.3 Teor de Holoceluloses.....</b>   | <b>14</b> |
| <b>2.6 Cozimento Kraft .....</b>  | <b>14</b> |
| <b>2.7 Análise estatística .....</b>  | <b>15</b> |
| <b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>   | <b>16</b> |
| <b>3.1 Dados de densidade básica e anatomia da madeira .....</b>                  | <b>16</b> |
| <b>3.2 Dados de análise química da madeira.....</b>                               | <b>17</b> |
| <b>3.3 Dados de cozimento Kraft.....</b>  | <b>17</b> |
| <b>4. CONCLUSÕES .....</b>  | <b>19</b> |
| <b>5. REFERÊNCIAS .....</b>   | <b>20</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

A área ocupada por florestas plantadas no território brasileiro tem crescido anualmente e possui extrema importância para o desenvolvimento econômico do país. Além das funções que estão relacionadas com o setor produtivo, o plantio de árvores desempenha importante papel na prestação de serviços ambientais, evitando o desmatamento de florestas nativas, recuperando áreas degradadas, contribuindo para a redução das emissões de gases causadores do efeito estufa, e ainda, são fontes de energia renovável.

De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2015), 91% das florestas plantadas são destinadas à produção industrial em diferentes setores. A área ocupada por estas florestas totalizou 7,74 milhões de hectares em 2014, apresentando um aumento de 1,8% em relação ao ano de 2013. Os plantios de eucalipto correspondem a 71,9% do total desta área, correspondendo a cerca de 5,56 milhões de hectares.

O setor de celulose e papel é responsável pela maior parte da demanda das florestas plantadas de eucalipto, o que promove o crescimento contínuo da área plantada, uma vez que, o consumo de celulose e papel tem aumentado. Dados fornecidos pela (IBÁ, 2015) referentes ao ano de 2014, apontam que a produção de celulose e papel é responsável por 34% do total das áreas plantadas de eucalipto. Nota-se então que o desenvolvimento das florestas de eucalipto tem grande importância para a produtividade das indústrias do segmento de papel e celulose.

O desenvolvimento das florestas de eucalipto pode ser comprometido pelo ataque de pragas e doenças que afetam as árvores, gerando prejuízos para as empresas dependentes destes plantios. A Seca de Ponteiro está entre as doenças que já atacaram plantios de eucalipto em diferentes estados no Brasil. Esta doença é caracterizada pela morte das brotações terminais dos ramos do eucalipto e pela desfolha intensa. Dentre as ocorrências já registradas, as causas da doença estão relacionadas à deficiência nutricional do solo, ao estresse hídrico e ao ataque de fungos (FERREIRA, 1997).

## 1.1 O problema e sua importância

Com o crescimento contínuo apresentado pelas áreas de florestas plantadas de eucalipto, é visto que a produção e a qualidade dos produtos florestais dependem do bom desenvolvimento das árvores, pois estas são utilizadas como matéria prima em diversos setores, principalmente para produção de polpa celulósica e papel, que atualmente é o maior consumidor de madeira de eucalipto no Brasil (IBÁ, 2015).

A qualidade da madeira pode sofrer interferência de agentes abióticos como as condições climáticas, composição nutricional do solo, o tipo de manejo, e agentes bióticos como o ataque de pragas e doenças. A seca de ponteiro é uma doença que pode ocorrer tanto por meio de agentes bióticos quanto de agentes abióticos, que quando atacam as árvores comprometem a produtividade do plantio.

A área destinada ao presente estudo, onde as árvores foram diagnosticadas com a seca de ponteiro, pertence a uma empresa de produção de celulose, localizada no estado do Maranhão, tendo uma extensão de 140 hectares. Diante deste contexto, torna-se necessário avaliar o impacto na qualidade na madeira das árvores atacadas no processo de obtenção da polpa de celulose.

## 1.2 Objetivo

### 1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito da seca de ponteiro na qualidade da madeira do híbrido clonal *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* para a produção de polpa celulósica.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar as diferenças nas propriedades anatômicas, químicas e densidade básica das madeiras sadias e atacadas;
- Avaliar o efeito das características dessas madeiras no processo de polpação Kraft.

# 1. REVISÃO DE LITERATURA

## 1.1 Seca de ponteiro

A seca de ponteiro trata-se de uma enfermidade de etiologia complexa, induzida por fatores abióticos e agentes bióticos. O nome da doença deve-se às suas características sintomatológicas de secagem das porções apicais da planta. A primeira constatação da doença foi na região do Vale do Rio Doce, em Minas Gerais no ano de 1976. Além desta e de outras regiões desse Estado, a enfermidade já foi constatada em Goiás, Maranhão, Pará, Paraná e São Paulo (FERREIRA,1997).

A ocorrência da seca de ponteiro pode comprometer o processo de formação das árvores, por ser mais frequente na fase inicial de desenvolvimento, e uma vez instalada no plantio, o seu controle torna-se difícil (FERREIRA,1997).

Segundo Ferreira (1989), esta doença ocorre principalmente em plantios localizados em baixadas, o que poderia supor que a doença seja agravada por má drenagem do solo e afloramento do lençol freático. Os principais sintomas marcadores desta doença são a seca de porções do ápice de galhos e ramos da haste principal, e a incidência de lesões nos ramos e folhas.

Alves (2011) observou que a seca do ponteiro tem sido frequentemente encontrada em plantas de 6 a 18 meses de idade, durante os meses mais secos do ano em várias regiões do Brasil. Sendo muito frequente nos reflorestamentos de eucalipto em solos de cerrado, comprometendo o crescimento das plantas e afetando a produtividade final dos plantios.

De acordo com Colturato (2009) a seca dos ponteiros pode ser causada pelo fungo *Dothyorella* sp. e nos últimos anos, este patógeno vem causando danos severos em *Corymbia citriodora* acarretando em seca dos ponteiros e posteriormente em quebra do fuste, cancro ao longo do ramo principal, afetando também os ramos secundários.

## 1.2 Qualidade da madeira

Existe uma significativa preocupação com a qualidade da madeira que está sendo implantada e produzida nos plantios comerciais de eucalipto. Shimoyama e Barrichelo (1991) definem que qualidade se refere à adequação da madeira para um determinado uso, ou a sua capacidade para atender os requisitos necessários à fabricação de um determinado produto. Conhecendo-se a qualidade da matéria prima e o processo a ser utilizado é possível obter otimização entre ambos e o produto final.

Vários parâmetros podem ser usados para avaliar a qualidade da madeira destinada para o processo de fabricação de celulose. Tais parâmetros são classificados como físicos, sendo o principal entre eles a densidade básica, químicos, como teores de carboidratos, lignina e extrativos, e os anatômicos, como porcentagem e dimensões das fibras, vasos e parênquimas. Outro fator que pode ser citado, além desses parâmetros é o tipo de lignina (siringila/guaiacila) e as características tecnológicas da transformação da madeira em polpa celulósica também devem ser consideradas (FANTUZZI, 2012).

Por muito tempo, os critérios de seleção de clones eram baseados em características silviculturais das árvores, como: crescimento, forma, resistência a pragas e doenças, adaptabilidade, entre outras. Por mais que houvesse a necessidade de incluir as propriedades da madeira em programas de melhoramento florestal, estas não eram consideradas. O termo qualidade da madeira tem assumido um aspecto fundamental na área de produção de celulose, possibilitando a geração de produtos diferenciados para fornecimento a clientes específicos. Para a seleção de clones com esta finalidade devem-se considerar tanto aspectos silviculturais como características de qualidade da madeira, pois ambos afetam o processo e a qualidade final da celulose (SILVA et al., 1996).

## **1.2.1 Propriedades da madeira que influenciam a produção de celulose**

### **1.2.1.1 Densidade básica**

Barrichelo & Brito (1979), afirmam que a densidade básica da madeira para a produção de celulose é uma propriedade física muito importante, devido as suas relações com outras características da madeira, rendimento de processo, refinação da celulose e com as propriedades da celulose e do papel.

Segundo Silva et al. (2001), a densidade básica da madeira para a produção de celulose deve variar entre 400 a 500 Kg/m<sup>3</sup>, caso contrário, pode afetar diretamente a qualidade dos cavacos, efeitos na operação de cozimento e também na qualidade da celulose. Madeiras com densidade básica inferiores a 400 Kg/m<sup>3</sup> podem ser prejudiciais ao processo, podendo reduzir o rendimento da polpa, que pode desencadear na redução de produtividade industrial. Logo, madeiras com densidade básica superiores a 550 Kg/m<sup>3</sup> dificultam o processo de picagem da madeira, ocasionando desgaste superior das facas do picador.

A densidade básica pode variar entre espécies bem como ao longo de uma mesma árvore. Estas variações irão ocorrer de acordo com as mudanças na proporção dos vasos e das espessuras das paredes celulares das fibras. O aumento da espessura da parede celular das fibras ou o aumento na proporção das fibras em relação à proporção dos vasos resulta em um aumento da densidade (OLIVEIRA; SILVA, 2003).

### **1.2.1.2 Propriedades químicas**

De acordo com Oliveira (1997), a madeira é um material orgânico e o seus constituintes químicos (celulose, hemiceluloses, lignina e extrativos) estão diretamente relacionados com as suas propriedades.

Conhecer a composição química da matéria prima que será destinada à produção de celulose é muito importante, pois estes dados fornecerão condições para que sejam estabelecidos parâmetros do processo de polpação, como o consumo dos reagentes químicos para o cozimento, rendimento em celulose e a quantidade de sólidos gerados no licor negro (WEHR, 1991).

Segundo Gomes (2007), as hemiceluloses são constituintes desejáveis na polpação, uma vez que contribuem para o rendimento e apresentam efeitos

favoráveis às ligações interfibras e na resistência de polpa celulósica. Devido às suas qualidades desejáveis, os processos de produção de polpa celulósica, destinadas a produção de papel, procuram remover o mínimo possível de hemiceluloses.

A lignina é um constituinte indesejável para a produção de celuloses químicas. As operações de cozimento e branqueamento visam remover a maior parte possível, sem causar dano às fibras (GONZAGA, 1983). Os teores de lignina e extrativo são características químicas fundamentais, pois influenciam diretamente o consumo de álcali, rendimento de deslignificação e o potencial de produção industrial (SANTOS, 2000).

### **1.2.1.3 Propriedades anatômicas**

Para a produção de celulose e papel os parâmetros anatômicos são considerados importantes na avaliação da qualidade da madeira de eucalipto, pois estão relacionados com a qualidade da polpa e associados às propriedades físico-mecânicas e características superficiais e ópticas do papel produzido (CARVALHO et al., 1998).

O comprimento, largura espessura da parede e diâmetro do lume das fibras da madeira de eucaliptos, representam diferentes estágios de seu desenvolvimento e são controlados por processos fisiológicos distintos (SHIMOYAMA, 1990).

Foelkel (2007) afirma que os vasos são muito importantes tanto para a fisiologia e crescimento das árvores, como para os processos de conversão da madeira em celulose. Sua presença, nas madeiras de folhosas, favorece o processo de impregnação dos cavacos pelo licor de cozimento. Como são elementos grandes e ocos em sua maioria, eles facilitam a passagem do licor para o interior dos cavacos. Além disso, a comunicação dos vasos com as células adjacentes, através de pontoações, permite que o licor de cozimento migre para o interior dos cavacos.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Origem da madeira

Para a realização deste trabalho, foram utilizadas madeiras de um híbrido clonal *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, com 3 anos de idade, pertencentes ao plantio de uma indústria de papel e celulose, plantados sob espaçamento 3,00 x 3,00 m, e localizados no município de Estreito, estado do Maranhão.

### 2.2 Amostragem da madeira

Foram amostradas 30 árvores (Figura 1), sendo 15 sem a presença dos sintomas da seca do ponteiro (sadias), localizadas sob as coordenadas geográficas 47°19'3" W, 6°35'53" S e altitude de 208 m e 15 árvores que apresentaram os sintomas da seca do ponteiro (atacado), a 47°19'10"W, 6°36'59"S, sob altitude 250m. A área possui solo de textura arenosa, com precipitação entre 1600 a 1800 mm.



Figura 1 – A) Plantio diagnosticado com seca do ponteiro; B) Marcação de árvores para a colheita; C) Amostragem dos discos; D) Identificação dos discos

Fonte: A autora (2015).



### 2.3 Determinação da densidade básica da madeira

Um disco de cada posição (base, 25, 50, 75 e 100% da altura) foi utilizado para determinação da densidade básica, amostrando-se cunhas em sentidos opostos para cada disco. As densidades foram determinadas para todas as árvores individualmente.

A densidade básica foi determinada de acordo com a Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 11941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2003). A densidade básica foi determinada pela imersão em água do material, para obter de volume saturado, em balança analítica (Figura 3).

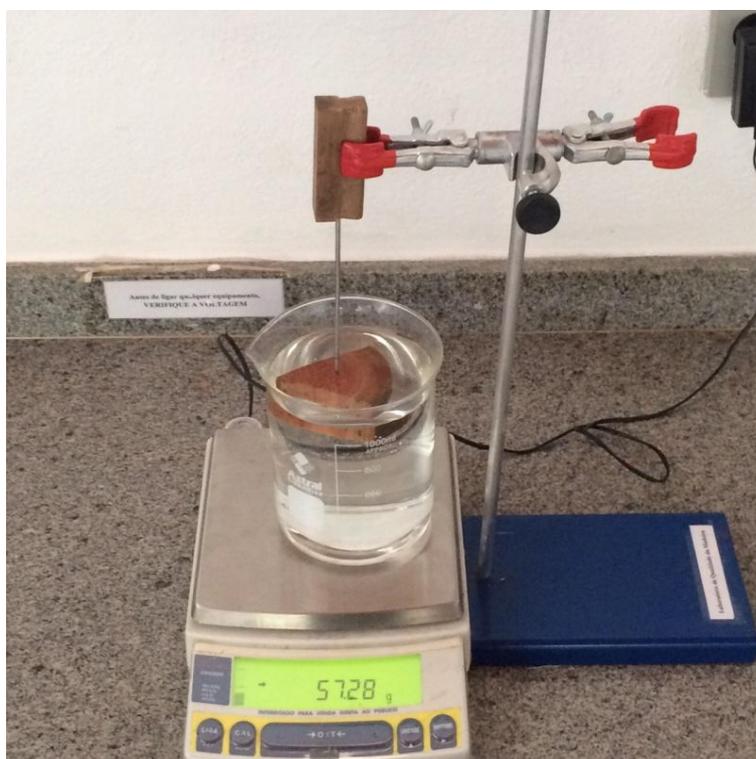


Figura 3 – Obtenção do volume saturado das amostras

Fonte: A autora (2015).

Depois, as amostras foram secas em estufa de ventilação forçada a uma temperatura de  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . A densidade básica foi obtida pela razão entre a massa completamente seca da amostra por seu volume saturado.

## 2.4 Análise anatômica da madeira

Para análises dos elementos anatômicos, a amostragem foi realizada em discos retirados no DAP, na posição do cerne periférico dos mesmos. O estudo microscópico da madeira seguiu as recomendações da Comissão Panamericana de Normas Técnicas (COPANT, 1974). As variáveis anatômicas quantificadas foram: diâmetro tangencial dos vasos ( $\mu\text{m}$ ), frequência (número de vasos / $\text{mm}^2$ ), comprimento de fibra ( $\mu\text{m}$ ), largura da fibra ( $\mu\text{m}$ ), diâmetro do lume da fibra ( $\mu\text{m}$ ) e espessura da parede das fibras ( $\mu\text{m}$ ). Para cada uma destas variáveis foram realizadas 20 repetições.

Para realizar a mensuração dos elementos de vasos foram retirados cortes histológicos do lenho, em blocos de madeira de 1,5 x 1,5 cm de seção transversal e 2,0 cm de direção longitudinal. Após a retirada dos blocos de madeira, os mesmos foram amolecidos em água à temperatura de ebulição e, fixados no micrótomo de deslize para a realização dos cortes histológicos no plano transversal (Figura 4). Em seguida foram preparados em lâminas temporárias, com o uso de glicerina e água.

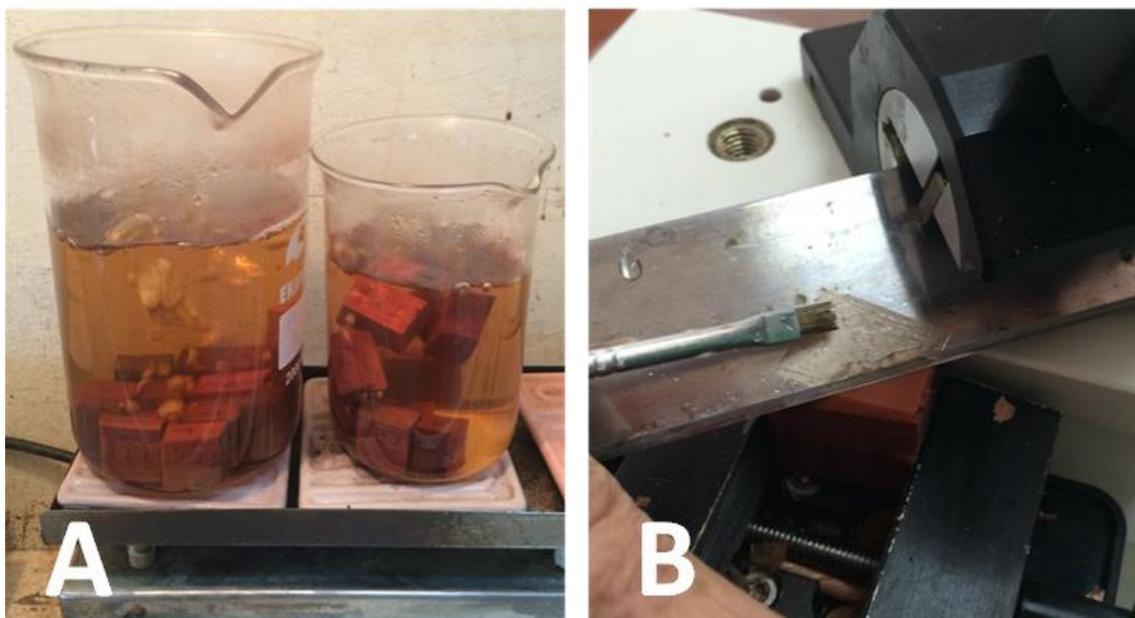


Figura 4 – A) Cozimento das amostras; B) Corte do corpo de prova no micrótomo de deslize  
Fonte: A autora (2015).

As lâminas foram fotografadas por meio de uma câmera digital acoplada a um microscópio e em seguida mensuradas (Figura 5) por meio de um

*software* analisador de imagens, *Axion Vision*. Este mesmo *software* foi utilizado para medição da área dos vasos mudando apenas a função do programa a ser utilizada, onde a circunferência dos vasos era delimitada por pontos, para obter o valor da área correspondente. A medição da área dos vasos foi realizada devido a necessidade de ter mais informações sobre os espaços vazios da estrutura da madeira; não era possível utilizar somente o diâmetro dos vasos porque estes não possui uma forma perfeitamente cilíndrica.



Figura 5 – Medição do diâmetro tangencial dos vasos  
Fonte: A autora (2015).

Para a mensuração das dimensões das fibras, foi realizada a dissociação dos elementos celulares (maceração) de acordo com o método preconizado por Nicholls e Dadswel, descrito por RAMALHO(1987), onde foram retirados pequenos fragmentos de madeira no plano radial, aos quais foram armazenados em frascos de vidro, contendo solução macerante de ácido acético glacial e peróxido de hidrogênio, em proporção 1:1, para individualização dos elementos celulares. Sendo assim, este processo seguiu as seguintes etapas: preparo das finas lascas de madeira; transferência dessas para a solução macerante. Os tubos, contendo a solução macerante e as lascas de madeira, foram lacrados e colocados em estufa a 60°C por 48

horas, após esse período, a solução macerante foi lavada em água corrente em cadinho poroso. As fibras individualizadas foram coloridas com safranina e lâminas montadas com glicerina para a retirada das fotomicrografias ((Figura 6) empregadas na medição das dimensões das fibras. O programa utilizado foi o mesmo empregado nas medições da área e diâmetro dos vasos

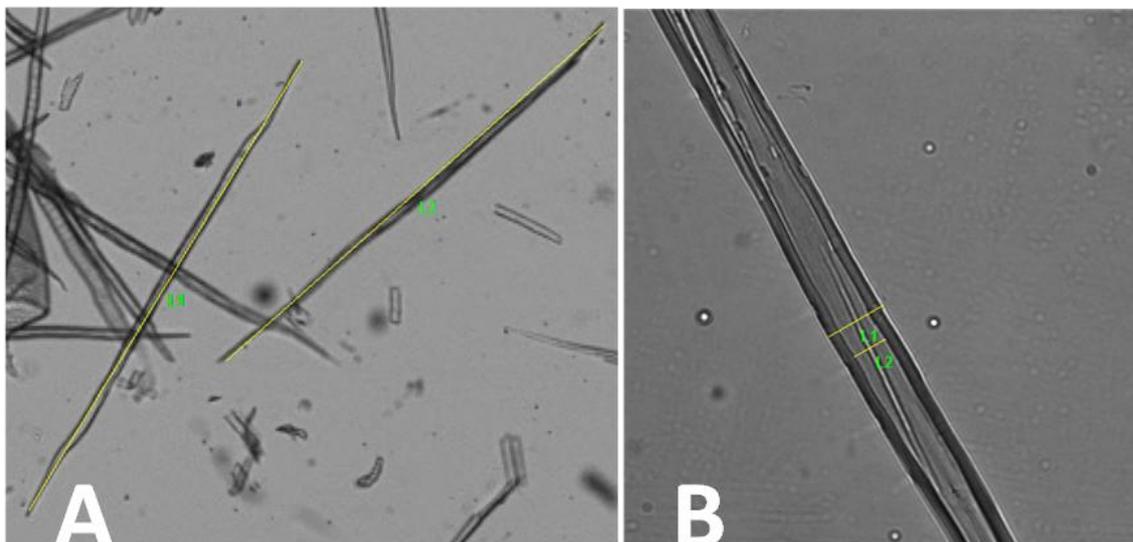


Figura 6 – A) Medição do comprimento das fibras; B) Medição da largura total e diâmetro do lume das fibras

Fonte: A autora (2015).

## 2.5 Análise química da madeira

Os toretes que restaram do fuste, após a extração dos discos foram transformados em cavacos e homogeneizados. O material, após a secagem ao ar, foi fragmentado em moinho do tipo Wiley. As serragens classificadas, que passaram pela peneira de 40 mesh e retidas na peneira de 60 mesh foram empregada nas análises químicas.

### 2.5.1 Teores de extrativos

Os teores de extrativos foram realizados utilizando solvente orgânico (Acetona), segundo a *Technical Association of Pulp and Paper Industry - TAPPI 280 PM-99* (1998).

Em cadinho de fundo poroso foram colocadas 2 gramas de serragem absolutamente seca, sendo utilizado o teor a. s % para correção da água presente na amostra seca ao ar. Balões de fundo chato foram previamente secos e pesados (A), e preenchidos com 120 mL de acetona 99,5%. O conjunto extrator foi montado na sequência: balão – extrator – condensador. Transcorridas 4 a 5 horas, até que fossem realizados 24 ciclos de extração, as amostras foram escoadas e colocadas em sala climatizada para completa evaporação da acetona. Esta serragem foi utilizada para realização de análises do teor de lignina.

Os balões, após a extração, foram colocados em estufa de circulação forçada a  $105^{\circ}\pm 3^{\circ}\text{C}$  pelo período de 1 hora, para evaporação do material solvente. Os balões foram novamente pesados (B) e para quantificação do teor de extrativos foi utilizada a Equação 1.

$$\text{TE (\%)} = \frac{\text{B-A}}{\text{PA}} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

TE: teor de extrativos (%);

A: massa inicial do balão;

B: massa do balão após extração;

PA: Peso seco da amostra.

### **2.5.2 Teores de ligninas**

Na madeira livre de extrativos em acetona, foi realizada a determinação dos teores de ligninas. Em tubos de ensaios foram colocadas, 0,3 g de serragem seca ao ar, corrigidas pelo teor a.s. %. Em cada tubo de ensaio foram colocados 3 mL de ácido sulfúrico a 72% e permanecendo estes em banho-maria a  $30^{\circ}\pm 0,2^{\circ}\text{C}$  por 1 hora. Após este período as amostras foram diluídas em 84 mL de água destilada e depositadas em um frasco fechado hermeticamente, com tampa de borracha e lacre de alumínio, sendo levadas para autoclave com água a  $118^{\circ}\text{C}$ , durante 1 hora. Depois de autoclavadas, as

amostras foram filtradas em cadinhos de porosidade 2 com camada de óxido de alumínio em fibras, e transferidas para estufa à temperatura de  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , até massa constante. Por fim, as amostras foram pesadas e determinados os teores de lignina insolúvel (GOMIDE; DEMUNER, 1986).

Para determinação dos teores de lignina solúvel empregou-se a metodologia proposta por Goldschimid (1971). Em espectrofotômetro UV foram feitas leituras de Absorbância em 215 e 280 nm e os teores determinados pela seguinte forma:

$$\text{Teor de lignina (\% base madeira)} = \frac{(4,53 \times A_{215}) - A_{280}}{300 \times p} \quad (2)$$

Em que:

p: peso da amostra

O teor de lignina total é determinado pelo somatório dos teores de lignina solúvel e insolúvel.

### 2.5.3 Teor de Holoceluloses

A porcentagem de celulose e outros polissacarídeos (holocelulose) foi obtida por diferença em função dos valores de extrativos e ligninas [% holocelulose =  $100 - (\text{teor de extrativo} + \text{teor de lignina})$ ], segundo recomendações da Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel M/68 (ABTCP, 1968) e Norma TAPPI T204 (1998).

## 2.6 Cozimento Kraft

As simulações de cozimentos foram realizadas na empresa no digestor TSI, com aquecimento indireto e circulação forçada de licor, seguindo-se os procedimentos padronizados para os laboratórios da indústria, com rampa de aquecimento da temperatura ambiente até  $170^{\circ}\text{C}$  em 90 minutos, seguido de cozimento por 50 minutos à  $170^{\circ}\text{C}$ . As variáveis operacionais do cozimento foram mantidas constantes, variando somente a carga alcalina para obter polpa

não branqueada, com número Kappa de 16 para o clone atacado e 15 para o clone sadio.

## **2.7 Análise estatística**

A análise estatística foi realizada por meio de delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) com os dois tratamentos, aplicando-se o teste F para testar as hipóteses, para as análises de densidade, química e anatômica.

Não foi aplicada a estatística nos dados de cozimento Kraft, pois as 15 árvores pertencentes a cada tratamento foram misturadas para a realização do cozimento.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Dados de densidade básica e anatomia da madeira

Os valores médios de densidade básica foram de 336 kg/m<sup>3</sup> para o tratamento sadio, e 326 kg/m<sup>3</sup> para o atacado e não apresentaram diferença estatística entre si. Por meio dos dados anatômicos (Tabela 1), é possível perceber que os valores referentes à espessura da parede das fibras também não apresentaram diferença estatística entre si.

Tabela 1 – Dados estatísticos da análise anatômica da madeira.

| Tratamento | DT<br>( $\mu\text{m}$ ) | Área<br>( $\mu\text{m}^2$ ) | FV<br>(n <sup>o</sup> mm <sup>-2</sup> ) | CF<br>( $\mu\text{m}$ ) | DL<br>( $\mu\text{m}$ ) | LF<br>( $\mu\text{m}$ ) | EP<br>( $\mu\text{m}$ ) |
|------------|-------------------------|-----------------------------|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Sadio      | 89,66 a                 | 10.176,5 a                  | 8 a                                      | 767,31 a                | 14,49 a                 | 21,42 a                 | 3,46                    |
| Atacado    | 82,63 b                 | 8.535,66 b                  | 7 b                                      | 726,43 b                | 12,72 b                 | 19,92 b                 | 3,60                    |
| CV (%)     | 27,67                   | 51,70                       | 32,75                                    | 20,11                   | 28,52                   | 19,01                   | 23,51                   |

DT: diâmetro tangencial e Área: área dos vasos; FV: frequência vascular; CF: comprimento, DL: diâmetro do lume, LF: largura total e EP: espessura da parede das fibras. As médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si ( $\alpha > 0,05$ ) pelo teste F.

Fonte: A autora (2015).

O clone sadio apresentou uma quantidade maior de espaços vazios, porém, não foi o suficiente para tornar as densidades diferentes estatisticamente entre os tratamentos. Este fato pode ter ocorrido devido a maior ocorrência de parênquima na estrutura anatômica das árvores sadias, entretanto, o teor de parênquima não foi avaliado neste trabalho. O maior teor de extrativos encontrado no tratamento sadio (Tabela 2), pode ser um indicativo de que estas árvores apresentam um maior teor de parênquima, o que afetaria positivamente a densidade.

### 3.2 Dados de análise química da madeira

Na Tabela 2, estão apresentados os dados referentes a análise química. É possível observar que as árvores pertencentes ao tratamento atacado apresentaram um maior teor de lignina total e menor teor de extrativos. Nas árvores pertencentes ao tratamento sadio, foi encontrado um teor de extrativos maior, menor teor de lignina.

A lignina e os extrativos são componentes da madeira indesejáveis no processo de produção de polpa celulósica e suas retiradas ocorrem durante o cozimento e, posteriormente, no branqueamento. O alto teor de ligninas e extrativos na madeira pode elevar o custo de produção da polpa celulósica, onde altos níveis de alvuras sejam desejados.

Tabela 2 – Dados estatísticos da análise química da madeira.

| Tratamento | Extrativo (%) | Holocelulose (%) | Lignina insolúvel (%) | Lignina solúvel (%) | Lignina total (%) |
|------------|---------------|------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|
| Sadio      | 1,22 a        | 67,49 a          | 27,01 a               | 4,27 a              | 31,28 b           |
| Atacado    | 0,67 b        | 66,59 a          | 28,46 a               | 4,30 a              | 32,76 a           |
| CV(%)      | 54,25         | 2,29             | 6,20                  | 2,8                 | 5,30              |

As médias seguidas de uma mesma letra não diferem entre si ( $\alpha > 0,05$ ) pelo teste F.

Fonte: A autora (2015).

### 3.3 Dados de cozimento Kraft

Nos resultados dos cozimentos (Tabela 3), nota-se que às árvores sadias apresentaram valores mais satisfatórios em relação às árvores atacadas, a carga alcalina aplicada no cozimento foi 2,4% inferior, o que indica menor necessidade de produtos químicos para a separação das fibras durante o cozimento. O número Kappa obtido neste tratamento foi também inferior (Tabela 4), ou seja, a quantidade de lignina residual da polpa é menor, o que provavelmente exigirá menos produtos químicos no branqueamento.

Tabela 3 - Dados referentes ao processo de cozimento.

| Tratamento | AA (%) | Nº Kappa (%) | Rendimento (%) | Viscosidade (dm <sup>3</sup> /kg) | CE (m <sup>3</sup> de mad./ ton de cel.) |
|------------|--------|--------------|----------------|-----------------------------------|--|
| Sadio      | 27,1   | 14,8         | 48,8           | 720                               | 6,06                                     |
| Atacado    | 29,5   | 16,3         | 45,7           | 680                               | 6,68                                     |

AA: carga alcalina; CE: consumo específico.

Fonte: A autora (2015).

O cozimento mais seletivo que ocorreu no tratamento sadio, fez com que o rendimento fosse 3,1% superior em relação ao tratamento atacado, apresentando ainda um maior valor de viscosidade, houve uma menor perda dos carboidratos. As árvores sadias apresentaram teores superiores de holocelulose e menor teor de lignina, como foi apresentado nos resultados de análise química (Tabela 2) o que favoreceram quimicamente esta madeira durante o processo de polpação.

Com os dados de rendimento, e de densidade os consumos específicos foram calculados, resultando em 6,06 e 6,68 m<sup>3</sup> de madeira/ tonelada de celulose para as árvores atacadas e sadias, respectivamente. Esta diferença no consumo específico pode ser explicada pelo rendimento do processo, uma vez que as densidades das amostras foram iguais. O clone atacado demanda um volume superior de 0,62 m<sup>3</sup> de madeira/tonelada de celulose em relação ao sadio, ou seja, um volume de madeira, aproximadamente, 10% superior, o que pode levar a uma maior necessidade de área plantada, que dependerá diretamente do IMA (incremento médio anual – m<sup>3</sup>/ha/ano) da floresta.

#### 4. CONCLUSÕES

- A densidade básica da madeira é a mesma para as árvores atacadas e sadias, assim como, a espessura da parede das fibras.
- As árvores do tratamento sadio apresentaram mais espaços vazios na estrutura anatômica, porém, isso não afetou a densidade.
- As árvores sadias apresentaram maior teor de extrativos e menor teor de lignina total.
- O tratamento sadio apresentou resultados superiores no processo de cozimento. Esta madeira demandou menor carga alcalina, maior rendimento para um maior grau de deslignificação.
- As árvores diagnosticadas com seca de ponteiro apresentaram maior consumo específico de madeira no cozimento, que dependendo da produtividade florestal poderá implicar em maior área plantada para uma mesma produção de polpa celulósica.

## 5. REFERÊNCIAS

ALVES, F. de F. **Seca de Ponteiros e crescimento de clones de eucalipto em diferentes doses de adubação**. 2011. 48f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR-11941: madeira – determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL – ABTCP M68. **Normas técnicas**. São Paulo, 1968.

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

COLTURATO, A. B. **Epidemiologia e manejo da seca de ponteiro de *Corymbia citriodora* (*Botryosphaeria ribis*/ *Dothyorella* sp.)**. 2009. 68f. Tese (Doutorado em Ciências agrônômicas) – Universidade estadual paulista, Botucatu-SP, 2009.

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **Método para la descripción de características generales, macroscópicas de las maderas angiospermas dicotiledóneas**. Santiago. v. 30, p. 1-19, 1974.

FANTUZZI NETO, H. **Qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft**. 2012. 105p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa 2012.

FERREIRA, F.A. A cultura do eucalipto II. Enfermidades do eucalipto no Brasil. Doenças em viveiros de eucalipto. **Informe agropecuário**, 18: 5-19, 1997.

FERREIRA, F.A. **Patologia florestal: principais doenças florestais no Brasil**. Viçosa, MG: SIF, 1989. 570p.

FOELKEL, C. E. B.; MOURA, E.; MENOCELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. **O Papel**, p. 35-40, maio, 1990.

GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARNEN, K. V.; LUDWIG, C. H. **Lignins: occurrence, formation, structure and reactions**. New York: Wiley, 1971. p. 241-298.

GOMES, A. F. **Avaliação das características da madeira e da polpa de *Eucalyptus* mediante aplicação de métodos não destrutivos nas árvores viva**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras. 141 pp. 2007.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, São Paulo, v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.

GONZAGA, J.V. **Qualidade da madeira e da celulose Kraft de treze espécies de *Eucalyptus***. Viçosa: UFV. 1983. 119 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Viçosa, 1983.

GRACE, T. M. et al., (Ed.) Kraft liquor. In: **Pulp and paper manufacture, Alkaline pulping**. Atlanta: Tappi, 1989. v. 1, p. 15-22.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ.. Anuário estatístico 2015 ano base 2014 / IBÁ. – Brasília: 2015.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para construção civil**. 1997. 429p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

OLIVEIRA, J. T. da S.; SILVA, J. de C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.3, p.381-385, 2003.

RAMALHO, R. S. **O uso de macerado no estudo anatômico de madeiras**. Viçosa, MG: UFV, 1987. 4p.

SANTOS, C. R. **Métodos não-convencionais para determinação de celulose como parâmetro de seleção da árvores matrizes visando a produção de polpa Kraft-AQ**. 2000. 117f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeira)-Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz-Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

SHIMOYAMA, V. R. S. ; BARRICHELO, . E. G. Influência de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica de madeira de *Eucalyptus*. In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 24. **Anais ...** São Paulo: ABTCP, 1991. P.23-36.

SILVA JR, F.G.; VALLE, C. F. do ; MUNER, J. C. G. Programa de qualidade da madeira Votorantim Celulose e Papel – VCP. **O Papel**, v.57, n.1, p.35-43, 1996.

SILVA, J. et al,. Importância do eucalipto para a indústria de celulose no Brasil. **Revista de Madeira**, Curitiba, p.90-92, set. 2001. Suplemento especial.

TAPPI - TECHNICAL DIVISIONS AND COMMITTEES.**TAPPI test methods**, Atlanta: Tappi Press, 1998.

WHER, T. R. **Variação nas características da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden e suas influências na qualidade de cavacos em cozimento Kraft**. 1991. 84p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Quairoz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.