



BRUNO CHARLES DIAS SOARES

**DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMAS DE
SECAGEM PARA AS MADEIRAS JUVENIL E
ADULTA DE *Eucalyptus saligna* E *Eucalyptus
cloeziana***

LAVRAS - MG

2015

BRUNO CHARLES DIAS SOARES

**DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMAS DE SECAGEM PARA AS
MADEIRAS JUVENIL E ADULTA DE *Eucalyptus saligna* E *Eucalyptus
cloeziana***

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
Processamento e Utilização da
Madeira, para obtenção do título de
Mestre.

Orientador

Ph. D. José Tarcísio Lima

LAVRAS - MG

2015

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

Soares, Bruno Charles Dias.

Desenvolvimento de programas de secagem para as madeiras
juvenil e adulta de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* /
Bruno Charles Dias Soares – Lavras: UFLA, 2015.
66 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico) – Universidade Federal de
Lavras, 2015.

Orientador: José Tarcísio Lima.

Bibliografia.

1. Lenho juvenil. 2. Lenho adulto. 3. Rachaduras de topo. 4.
Eucalyptus saligna. 5. *Eucalyptus cloeziana*. I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

O conteúdo desta obra é de responsabilidade do autor e de seu
orientador.

BRUNO CHARLES DIAS SOARES

**DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMAS DE SECAGEM PARA AS
MADEIRAS JUVENIL E ADULTA DE *Eucalyptus saligna* E *Eucalyptus
cloeziana***

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
Processamento e Utilização da
Madeira, para obtenção do título de
Mestre.

APROVADA em 19 de fevereiro de 2015.

| | |
|------------------------------------|------|
| Dra. Graziela Baptista Vidaurre | UFES |
| Dr. Clair Rogério da Cruz | UFRB |
| Ph. D. Paulo Ricardo Gherardi Hein | UFLA |

Ph. D. José Tarcísio Lima
Orientador

LAVRAS - MG

2015

DEDICATÓRIA

Ao meu pai, Josemar Baldez Soares (*sempre presente*)

Pela educação, formação moral, apoio e carinho

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, que possibilitou com sua estrutura todo o processo de pós-graduação ao nível de mestrado até este momento e a realização deste trabalho de Dissertação.

Ao Professor José Tarcísio Lima pela orientação, ensinamentos, amizade, e claro, pela confiança a que foi depositada sobre mim.

Aos Professores Paulo Hein, Clair Rogério da Cruz e Graziela Vidaurre, componentes da banca examinadora, pela colaboração de total importância para a conclusão dessa etapa.

Ao corpo de professores da Ciência e Tecnologia da Madeira. Vocês foram de essencial importância nesta etapa de construção acadêmica.

Aos laboratórios de Serraria, Usinagem, Anatomia e Tecnologia da Madeira dos quais fazem parte os amigos Carlos, Ernane e Antônio Claret. Todos vocês contribuíram de alguma forma com o bom andamento deste projeto.

Grato pela família Soares (*sempre presente*), representada pelo Senhor Josemar, e pela Senhora Kátia, na figura de madrastra, bem como meus irmãos Lucas, Rodrigo e Danúbia, os quais me incentivaram dando apoio, força e coragem.

Aos demais familiares que puderam acompanhar essa jornada e me apoiar moralmente, auxiliando indiretamente o bom andamento da minha vida acadêmica.

Aos colegas e amigos, que desde os primeiros passos somaram suas alegrias e completaram a minha felicidade juntamente aos que foram acrescentados na cidade que me recebeu.

A Deus, por me fortalecer nos momentos mais difíceis e por me dar capacidade para concretização desta etapa da vida.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho,

O meu sincero AGRADECIMENTO.

RESUMO

A heterogeneidade das características da madeira observada no sentido medula-casca dentro de uma tora faz com que peças retiradas dela apresentem comportamentos diferentes durante a saída de água. O entendimento dessas diferenças tem importância para a indústria no que tange à otimização da secagem, uma vez que, conhecendo-as, pode-se optar por desdobrar as toras visando à classificação de tábuas de lenho juvenil e de lenho adulto, facilitando a secagem em cargas separadas. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi desenvolver programas de secagem para os lenhos juvenil e adulto de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* e verificar as associações entre o comportamento na secagem com as características anatômicas desses lenhos. Para isso, corpos de prova foram submetidos à secagem drástica visando à obtenção dos tempos de secagem; das velocidades de secagem e das dimensões de rachaduras de topo apresentadas pelas madeiras após a secagem para obtenção dos parâmetros dos programas de secagem: temperatura inicial, temperatura final e potencial de secagem. A morfologia das fibras e dos vasos foi analisada visando associar suas características nos lenhos juvenil e adulto aos resultados obtidos do ensaio da secagem. Observou-se que as diferenças entre as características do lenho juvenil e adulto em *E. saligna* são mais marcantes do que em *E. cloeziana*. O lenho adulto apresenta menor velocidade de secagem e conseqüentemente necessita de maior tempo para secagem. Maiores frequências e menores diâmetros de vasos encontrados nos lenhos juvenis se mostraram associados a maiores velocidades de secagem total e de água de adsorção. Menores comprimento e espessura da parede das fibras, maiores frequências e menores diâmetros de vasos encontrados nos lenhos juvenis se mostraram associados a maiores velocidades de secagem total e de água de adsorção e à maior ocorrência de rachaduras de topo. Os programas de secagem foram desenvolvidos para os lenhos juvenil e adulto de *E. saligna* e *E. cloeziana*, sendo o programa para lenho adulto de *E. saligna* mais suave do que o desenvolvido para lenho juvenil dessa espécie. Foi observada semelhança entre os programas de secagem para os lenhos juvenis de *E. saligna* e *E. cloeziana*, indicando possibilidade de agrupamento dessas madeiras para secagem em estufa.

Palavras-chave: Lenho juvenil, Lenho adulto, rachaduras de topo, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus cloeziana*.

ABSTRACT

The heterogeneity of wood characteristics observed in the pith-bark direction within a log makes that cut pieces have different behaviors during water removal. Understanding these differences is important for the industry regarding the optimization of drying, since, knowing them, we can choose to saw the logs aiming the classification of lumbers of juvenile wood and mature wood, facilitating the drying in separate loads. Therefore, in this study, we aimed at developing drying programs for both juvenile and mature woods of *Eucalyptus saligna* and *Eucalyptus cloeziana*, as well as verifying the associations between the behavior on drying with the anatomical traits of these woods. In order to do this, test specimens were submitted to drastic drying to obtain the drying time, the drying rates and dimensions of the end checks. These data were applied to obtain the parameters initial temperature, final temperature and potential of drying, used in the elaboration of drying schedules. The fibers and vessels morphology was analyzed in order to associate their traits in juvenile and mature woods to the results obtained in the drying trial. It was observed that the differences between the characteristics of juvenile wood and mature wood in *E. saligna* are more notables than in *E. cloeziana*. Mature wood presents smaller drying rate and, therefore, requires a longer period to dry. Higher frequencies and smaller vessel diameters found in juvenile wood were associated to higher total drying rate and higher adsorption water rate. Smaller fiber length and fiber thickness, higher vessel frequencies and smaller vessel diameters found in juvenile wood were associated with higher total drying rate and adsorption moisture rate, as well as with the higher occurrence of end checks. The drying schedules was developed for juvenile wood and mature wood of *E. saligna* and *E. cloeziana*, being the drying schedule for *E. saligna* mature wood considered milder than the drying schedule developed for juvenile wood of this specie. It was observed similarity between the drying schedules for juvenile woods of *E. saligna* and *E. cloeziana*, indicating the possibility of grouping of these woods for kiln drying.

Keywords: Juvenile wood, mature wood, end check, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus cloeziana*.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Esquema de retirada dos corpos de prova de uma tábua para secagem drástica..... 15
- Figura 2 - Curva de secagem com valores médios para a madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* com 37 anos de idade, em que: ES J = *Eucalyptus saligna* juvenil; ES A = *Eucalyptus saligna* adulto; EC J = *Eucalyptus cloeziana* juvenil; *Eucalyptus cloeziana* adulto.27
- Figura 3 - Comportamento das velocidades de secagem da umidade inicial até 5% de umidade (V1) e de 30% até 5% de umidade (V3) em função do comprimento das fibras nos lenhos de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* com 37 anos de idade.....36
- Figura 4 - Comportamento das velocidades de secagem da umidade inicial até 5% de umidade (V1) e de 30% até 5% de umidade (V3) em função da espessura da parede das fibras nos lenhos de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana*. com 37 anos de idade.....37
- Figura 5 - Comportamento das rachaduras de topo totais (R1) em função do comprimento (A) e da espessura da parede das fibras (B) nos lenhos de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* com 37 anos de idade.....38
- Figura 6 - Comportamento das velocidades de secagem da umidade inicial até 5% de umidade (V1) e de 30% até 5% de umidade (V3) em função da frequência de vasos nos lenhos de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* com 37 anos de idade.39
- Figura 7 - Comportamento das velocidades de secagem da umidade inicial até 5% de umidade (V1) e de 30% até 5% de umidade (V3) em função do diâmetro dos vasos nos lenhos de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* com 37 anos de idade.....40
- Figura 8 - Comportamento das rachaduras de topo totais (R1) em função do diâmetro (A) e da frequência de vasos (B) em *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* com 37 anos de idade.....42

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Regiões de lenho juvenil e adulto nas toras de <i>Eucalyptus saligna</i> e <i>Eucalyptus cloeziana</i> (LIMA et al., 2015)..... | 6 |
| Tabela 2 - Diâmetro e altura das árvores de <i>Eucalyptus saligna</i> e <i>Eucalyptus cloeziana</i> | 14 |
| Tabela 3 - Escore atribuído às magnitudes das rachaduras de topo ocorridas nos corpos de prova submetidos à secagem drástica em estufa. | 17 |
| Tabela 4 - Variáveis do ensaio da secagem drástica..... | 17 |
| Tabela 5 - Valores médios das características anatômicas das fibras e dos vasos analisados para os lenhos juvenil e adulto de <i>Eucalyptus saligna</i> e <i>Eucalyptus cloeziana</i> aos 37 anos de idade. | 21 |
| Tabela 6 - Valores médios encontrados para umidade inicial e densidade básica dos corpos de prova dos lenhos juvenil e adulto de <i>Eucalyptus saligna</i> e <i>Eucalyptus cloeziana</i> submetidos à secagem drástica. | 25 |
| Tabela 7 - Valores médios encontrados para as variáveis do ensaio da secagem drástica nos lenhos juvenil e adulto de <i>Eucalyptus saligna</i> e <i>Eucalyptus cloeziana</i> | 28 |
| Tabela 8 - Parâmetros dos programas de secagem obtidos para os lenhos juvenil e adulto de <i>Eucalyptus saligna</i> e <i>Eucalyptus cloeziana</i> a partir do ensaio da secagem drástica. | 32 |
| Tabela 9 - Parâmetros dos programas de secagem disponíveis na literatura para a madeira de <i>Eucalyptus</i> | 34 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|--|
| Quadro 1 - Programa de secagem para o lenho juvenil de <i>Eucalyptus saligna</i> . .43 | |
| Quadro 2 - Programa de secagem para o lenho adulto de <i>Eucalyptus saligna</i> . ..43 | |
| Quadro 3 - Programa de secagem para o lenho juvenil de <i>Eucalyptus cloeziana</i>44 | |
| Quadro 4 - Programa de secagem para o lenho adulto de <i>Eucalyptus cloeziana</i>44 | |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 – INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 – OBJETIVO | 3 |
| 3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 4 |
| 3.1 – Lenhos juvenil e adulto de <i>Eucalyptus</i> sp | 4 |
| 3.2 – Secagem da madeira e defeitos de secagem | 8 |
| 3.3 – Programas de secagem | 10 |
| 4 – MATERIAL E MÉTODOS | 14 |
| 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO | 21 |
| 5.1 – Características anatômicas das fibras | 21 |
| 5.2 – Características anatômicas dos vasos | 23 |
| 5.3 – Ensaio da secagem drástica | 25 |
| 5.3.1 – Densidade básica e umidade da madeira submetida à secagem drástica | 25 |
| 5.3.2 – Variáveis do ensaio da secagem drástica | 28 |
| 5.4 – Parâmetros dos programas de secagem | 31 |
| 5.5 – Relação entre as características anatômicas e o comportamento da madeira submetida à secagem drástica | 34 |
| 5.5.1 – Velocidade de secagem em função de características das fibras | 35 |
| 5.5.2 – Rachaduras de topo em função de características das fibras | 37 |
| 5.5.3 – Velocidade de secagem em função de características dos vasos | 38 |
| 5.5.4 – Rachaduras de topo em função de características dos vasos | 41 |
| 5.6 – Programas de secagem | 42 |
| 6 – CONCLUSÕES | 45 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 47 |

1 – INTRODUÇÃO

A higroscopicidade da madeira se deve à presença de sítios ativos na estrutura molecular de um de seus principais componentes, a celulose, que permitem a formação de ligação de hidrogênio com moléculas de água (SKAAR, 1972). A composição anatômica variada e as diferentes formas de organização dos componentes anatômicos no tronco resultam na heterogeneidade da madeira, que, mediante entrada ou saída de água, se comporta de forma diferente quanto a contrações, de acordo com as diferentes direções ortotrópicas: radial, tangencial e axial (DURLO; MARCHIORI, 1992). Esta heterogeneidade é potencializada, ao longo dos anos, pelo processo de formação do lenho a partir da camada cambial.

Nos primeiros anos de vida, a árvore prioriza o crescimento em altura e o desenvolvimento da copa visando a seu estabelecimento na floresta, de modo que o xilema (tecido condutor da seiva bruta) formado pelo câmbio fisiologicamente jovem possui características em que as células prosenquimáticas apresentam menor espessura da parede, menor comprimento, menor densidade e maior ângulo das microfibrilas na camada S₂ da parede celular (PANSWIN; ZEEUW, 1980). A região com essa composição é chamada de lenho juvenil, onde há grande variação dessas características anatômicas no sentido medula-casca. O lenho adulto apresenta dimensões dessas características contrastantes, o que permite estabelecer uma delimitação entre os dois lenhos, observando-se seus comportamentos na direção medula-casca.

A saída da água durante a secagem causa tensões nas regiões interna e externa das peças podendo provocar defeitos como empenamentos, rachaduras e/ou endurecimento superficial. O efeito desse processo na madeira é importante, uma vez que é desejável que a madeira seca esteja livre dos defeitos provocados pela perda de umidade.

O surgimento em maior ou menor escala das tensões de secagem se dá em função das características intrínsecas de permeabilidade, composição anatômica, densidade e resistência mecânica da madeira juntamente com as condições de secagem às quais o material é submetido.

Considerando as características anatômicas do lenho juvenil, espera-se que os defeitos de secagem ocorram em maior proporção devido à menor resistência mecânica nessa região em comparação com o lenho adulto. Por outro lado, as características do lenho juvenil poderiam permitir que a água se movimentasse do interior da madeira para o exterior com mais facilidade, ocasionando maior uniformidade de umidade dentro das peças e, conseqüentemente, menor aparecimento das tensões de secagem e defeitos em comparação com o lenho adulto.

O entendimento da diferença entre o comportamento dos lenhos juvenil e adulto tem importância para a indústria no que tange à otimização da secagem, uma vez que, conhecendo essas diferenças, pode-se optar por realizar o desdobro das toras visando à classificação de tábuas de lenho juvenil e adulto, possibilitando a secagem dessas madeiras em cargas separadas.

Além da importância do conhecimento dessas diferenças e da possibilidade de aplicá-lo para a melhoria do processamento e da utilização da madeira, pouco tem sido publicado, principalmente a respeito da madeira de *Eucalyptus*.

2 – OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho foi desenvolver programas de secagem para os lenhos juvenil e adulto de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* tomando-se como base a ocorrência de defeitos após a secagem drástica. Secundariamente, objetivou-se verificar as associações entre o comportamento na secagem com as características anatômicas das madeiras.

3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 – Lenhos juvenil e adulto de *Eucalyptus* sp

A maioria das florestas plantadas que abastecem a indústria madeireira no Brasil é composta pelo gênero *Eucalyptus*. Isso é justificado pela alta taxa de crescimento de suas árvores, capacidade de adaptação, facilidade de implantação e a grande variedade de espécies e versatilidade de aplicação de sua madeira. As árvores do gênero *Eucalyptus* plantadas intensivamente no Brasil são reconhecidas por produzirem grande extensão de lenho juvenil no tronco.

O lenho juvenil consiste em uma região central do caule onde os comprimentos das fibras que o compõe tendem a possuir valores menores com relação à região mais externa da madeira. Essa região se estende desde a base até o topo da árvore e possui aproximadamente mesmo diâmetro (CALONEGO; SEVERO; ASSIS, 2005; LEONELLO; PALMA; BALLARIN, 2008).

Para a utilização industrial deseja-se que a madeira tenha uniformidade em características como a densidade básica, resistência mecânica e usinabilidade. No entanto, a madeira é heterogênea, dificultando o atendimento dessas características desejáveis. Porém, os plantios clonais de *Eucalyptus* fornecem árvores com maior uniformidade entre indivíduos, o que pode refletir em uma melhor qualidade na secagem.

Mudanças nas práticas silviculturais das plantações, originadas pelas pressões crescentes na demanda de madeira, fizeram com que crescesse o interesse dos pesquisadores em relação às características do lenho juvenil e sua influência nas propriedades da madeira, uma vez que em tais rotações não estão se considerando as propriedades físicas e mecânicas da madeira (PALMA; BALLARIN, 2003). Tais mudanças nas práticas silviculturais tiveram como objetivo promover o crescimento rápido da floresta para suprimento da

demanda, tendo como consequência a formação de lenho juvenil em maior proporção em relação a árvores de crescimento lento. Essa matéria-prima influencia o processo de transformação da madeira, pois suas propriedades tecnológicas também são afetadas, trazendo como resultado problemas na qualidade das fibras, na resistência mecânica e na durabilidade natural das peças confeccionadas a partir desse tipo de matéria-prima (BROWN; MCWILLIAMS, 1990).

De acordo com Zobel (1981), para a madeira de *Eucalyptus*, as diferenças nas propriedades do lenho adulto e juvenil são menores do que em *Pinus*. O mesmo autor observou que madeira serrada de *Eucalyptus grandis* com idade de 6 a 14 anos apresentou defeitos relativamente leves, manifestados principalmente em deformações devido ao colapso nas faces das peças contendo a medula.

A proporção de lenho juvenil existente na tora é uma característica que depende fundamentalmente da idade da árvore, do ambiente de plantio e do manejo (LEONELLO; PALMA; BALLARIN, 2008). Entretanto, na mesma idade e em condições semelhantes de ambiente e de manejo, pode-se verificar que existe expressiva variabilidade neste aspecto. Em algumas espécies e indivíduos, a formação do lenho juvenil estende-se por vários anos, enquanto que em outras a formação de lenho adulto inicia-se mais cedo (ASSIS, 2007; LEONELLO; PALMA; BALLARIN, 2008).

Tomazello Filho (1987), estudando o comprimento das fibras de três espécies de *Eucalyptus*, verificou aumentos no comprimento das fibras, no sentido radial, atingindo valores acima de 1,0 mm a partir de 50-75% do raio dos corpos de prova. Esse autor concluiu que a madeira de melhor qualidade é obtida com a utilização de árvores em idades mais avançadas devido às fibras de menor comprimento concentrarem-se próximo à medula.

Alguns autores verificaram que a demarcação da região de lenho juvenil e adulto pode ser conduzida por meio da análise da variação do comprimento das fibras de *Eucalyptus* sp. Eles também observaram que essa característica em lenho juvenil é mais variável que em lenho adulto, sendo a transição entre lenho juvenil e adulto observada quando ocorre a estabilização do comprimento das fibras. Oliveira (1997) afirmou ser próximo aos 8 cm do raio médio o limite entre as regiões de lenho juvenil e adulto para *Eucalyptus grandis*, enquanto Leonello, Palma e Ballarin (2008) observaram para a mesma espécie que a região de lenho juvenil ficou definida desde o centro da árvore até os 15 cm do raio.

Oliveira (1997) definiu como lenho juvenil a região desde a medula até os primeiros 3 a 4 cm do raio em *Eucalyptus citriodora*. Calonego, Severo e Assis (2005) verificaram para a mesma espécie que o lenho juvenil está delimitado entre os primeiros 4,5 e 5,5 cm a partir da medula.

Lima et al. (2015), em um trabalho não publicado, determinaram a partir da variação do comprimento das fibras no sentido medula-casca a transição entre lenho juvenil e adulto de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* de 37 anos, em que a estabilização do comprimento indicou o ponto de segregação entre os lenhos (TABELA 1).

Tabela 1 – Regiões de lenho juvenil e adulto nas toras de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* (LIMA et al., 2015).

| Tora | Espécie | Juvenil | Adulta |
|-------------|---------------------|------------------|-------------------|
| 140 | <i>E. saligna</i> | medula até 6 cm | 6 cm até a casca |
| 186 | <i>E. saligna</i> | medula até 10 cm | 10 cm até a casca |
| 320 | <i>E. cloeziana</i> | medula até 12 cm | 12 cm até a casca |
| 423 | <i>E. cloeziana</i> | medula até 10 cm | 10 cm até a casca |

Os limites entre lenho juvenil e adulto observados por Lima et al. (2015) e os demais encontrados na literatura mostram que existe grande variação do ponto de segregação entre lenho juvenil e adulto do gênero *Eucalyptus*.

De acordo com Pratt (1974), dentre os fatores inerentes à própria espécie de madeira que influenciam na sua secagem, encontram-se a estrutura anatômica, a densidade e a anisotropia. A estrutura anatômica influencia diretamente na densidade da madeira, e esta última, por sua vez, também exerce influência direta na anisotropia.

A diferença nas dimensões dos elementos anatômicos tende a afetar a densidade, que também varia entre os lenhos juvenil e adulto. As diferenças entre as densidades dessas madeiras podem ser explicadas devido ao lenho juvenil apresentar fibras ou traqueídes mais curtos e menor espessura da parede celular (PELOZZI et al., 2012).

Segundo Panshin e Zeeuw (1980), a densidade básica em função da idade da árvore, em geral, aumenta rapidamente dentro do lenho juvenil no sentido medula-casca e permanece constante no lenho adulto, sendo que o lenho adulto apresenta densidade básica maior que a juvenil.

Hillis e Brown (1978) afirmaram que a madeira proveniente de árvores do gênero *Eucalyptus* apresenta contração excessiva e ocasiona defeitos de secagem, como empenamentos e rachaduras, que tendem a ser piores em madeiras de menor densidade. Oliveira (1997) relatou que tais defeitos são mais severos na zona ao redor da medula, caracterizada como lenho juvenil.

De acordo com Oliveira e Silva (2003), as variações da densidade dependem das mudanças na proporção de fibras e das espessuras de suas paredes celulares. O aumento da densidade pode ser o resultado do aumento da espessura da parede celular das fibras ou de um aumento na proporção das fibras em relação à proporção de vasos. Alguns trabalhos demonstraram a existência de relação entre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus* com os elementos

anatômicos como, por exemplo, os de Barrichelo e Brito (1976), Oliveira (1988) e Vital et al. (1994).

Oliveira, Hellmeister e Tomazello Filho (2005), em seus estudos com sete espécies de *Eucalyptus* aos 16 anos de idade, verificaram uma tendência geral das espécies apresentarem menores valores de densidade básica na região da medula aumentando até próximo da região do albarno e seguindo-se, então, redução do seu valor. Apesar da tendência geral, cada espécie mostra um perfil diferenciado de variação da densidade da madeira nas diversas alturas do tronco.

3.2 – Secagem da madeira e defeitos de secagem

De acordo com Engelund et al. (2013), a relação água-madeira é complexa e apresenta variações de estado físico e na forma de movimentação. A água presente na madeira pode ser dividida, basicamente, em dois grupos (ENGELUND et al., 2013; KOLLMANN; CÔTÉ, 1968; SIAU, 1971): Água livre e água de adsorção.

A água livre ou de capilaridade, encontrada na fase líquida e de vapor, encontrada acima da umidade do ponto de saturação das fibras (PSF), que, segundo Skaar (1972), varia entre 25% e 35%. A água livre ocupa as cavidades das células e espaços intercelulares, retida por ligações capilares. Sua retirada, quando conduzida corretamente, ocasiona apenas uma redução de massa na madeira, ocorrendo quando a madeira se encontra com umidade entre o ponto de saturação das fibras (PSF) e o máximo teor de umidade (SKAAR, 1972).

Já a água de adsorção, adesão ou impregnação, é encontrada adsorvida na parede celular das fibras abaixo da umidade do PSF e refere-se à água contida nas paredes celulares, sendo retida pela madeira mais fortemente que a água livre (SKAAR, 1972). Por isso, a água de adsorção é removida da madeira após a eliminação da água livre (REZENDE, 2009).

A movimentação destas águas ocorre de forma diferente. O fluxo da água livre é causado por forças capilares, baseado na *Lei de Hagen-Poiseuille's*. Por sua vez, a movimentação da água de adsorção ocorre por meio da parede celular, em virtude do gradiente de umidade e por difusão (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968; SIAU, 1971).

A diferença entre o movimento capilar e o de difusão é que este último é um processo lento (RASMUSSEN, 1961) e considerado complexo, porque ocorre simultaneamente difusão de vapor através das cavidades celulares, e difusão de água de adsorção nas paredes celulares da madeira (DROIN; TAVERDET; VERGNAUD, 1988; KOLLMANN; CÔTÉ, 1968).

Durante a saída das águas livre e de adsorção, a madeira de *Eucalyptus* passa por processos que levam à formação de defeitos. Os problemas típicos que ocorrem no *Eucalyptus* durante a secagem são: empenamentos, rachaduras, encruamento e colapso (HILLIS; BROWN, 1978).

De acordo com Santini (1992), conceituam-se rachaduras como as separações dos elementos constituintes da madeira, provocadas pelas tensões de crescimento liberadas após o abate e agravadas pelo processo de secagem. Segundo Galvão e Jankowsky (1985), as rachaduras são consequências da diferença de retração radial e tangencial e diferenças de umidade entre regiões contíguas da peça de madeira.

Os empenamentos podem ser classificados como encanoamento, arqueamento, encurvamento e torcimento e caracterizam-se como qualquer distorção da peça de madeira em relação aos planos originais de suas superfícies, tendo sua ocorrência determinada não só pelas tensões da secagem, como também pela ação residual das tensões internas de crescimento, quando se manifestam abaixo do ponto de saturação das fibras (FERNANDES, 1982).

Galvão e Jankowsky (1985) definem o endurecimento superficial ou encruamento como a condição de tensão e deformação da madeira, na qual as

fibras externas estão sob compressão e as internas sob tração, quando a madeira está seca. O encruamento aparece quando a secagem é rápida e desuniforme.

Outro defeito comum em algumas espécies de *Eucalyptus* é o colapso. Diferentemente do que ocorre com as contrações lineares manifestadas nas direções tangencial, longitudinal e radial, que aparecem sempre abaixo do ponto de saturação das fibras, o colapso acontece durante a movimentação da água capilar, sendo ocasionado por forças geradas no interior das células, que as deformam e alteram a forma visível da madeira (SIAU, 1971). No colapso ocorrem alterações na conformação da cavidade das células devido a distorções na parede celular, sendo evidenciada a deformação das fibras (ELLWOOD; ECKLUND, 1963), e surge quando a tensão desenvolvida durante a saída de água livre supera a resistência da madeira à compressão perpendicular às fibras (SIAU, 1971).

3.3 – Programas de secagem

O objetivo principal da secagem em estufa é promover o equilíbrio entre a velocidade de evaporação da água na superfície da madeira, a taxa de movimentação interna (tanto de calor como de umidade) e as reações da madeira durante o processo, de forma a tornar a secagem a mais rápida possível e com um nível de perdas ou um padrão de qualidade aceitável para o produto que se pretende (JANKOWSKY, 1995). Para isso, a madeira é submetida à secagem obedecendo a programas desenvolvidos em função de suas características.

Programas de secagem baseados na variação da umidade da madeira consistem em uma sequência de temperaturas e umidades relativas que são aplicadas sobre as peças no interior de estufas, sob ventilação constante, visando produzir peças com qualidade adequada e baixo custo.

Os principais fatores envolvidos na escolha do programa de secagem são: espécie de madeira (densidade, permeabilidade, contração), espessura do material, uso a que se destina e equipamento de secagem (MARTINS, 1988).

Os programas do tipo umidade-temperatura são os mais comuns na secagem convencional. Neste tipo de programa, a temperatura do ar no interior do secador e, conseqüentemente, a umidade relativa, é ajustada em função da umidade da madeira (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985; HILDEBRAND, 1970; PRATT, 1974).

Rasmussen (1961) afirmou que no programa de secagem podem ser reconhecidas as seguintes fases:

- aquecimento do ar e da madeira dentro do secador até a temperatura desejada no início do processo;
- remoção de umidade da madeira, usando os parâmetros (umidade relativa e temperatura) previstos no programa, com o objetivo de retirada da água da madeira com o mínimo de tempo e defeitos possível;
- uniformização, que tem como principal objetivo a redução da variação de umidade que ocorre entre as peças de madeira que constituem a carga;
- condicionamento, visando primordialmente a eliminação de tensões internas e deformações ocorrentes nas peças em secagem.

Os programas de secagem para madeira de *Eucalyptus* têm por característica comum a recomendação de baixas temperaturas (principalmente no início do processo) e potencial de secagem bastante suave. Por serem programas suaves, o tempo de secagem é relativamente longo, em torno de 27 dias para madeira com 25 mm de espessura (CINIGLIO, 1998), ou de 70 dias para madeira com 40 mm de espessura (SANTOS, 2002).

Segundo Brennan e Kauman (1966), a secagem de *Eucalyptus*, em sua fase inicial em que ocorre principalmente a saída da água livre, deve ser realizada utilizando-se baixa temperatura, alta umidade relativa e baixa

velocidade do ar, enquanto que, na segunda fase da secagem em que ocorre a saída da água de adsorção, temperaturas mais elevadas são aceitas sem maiores problemas (CHRISTENSEN, 1985).

Brandão (1989), baseando-se no trabalho de Terazawa (1965), testou a viabilidade da utilização de uma metodologia que relacionava, em pequenas amostras de madeira (2,50 x 5,0 x 10,0 cm), as ocorrências de diferentes graus de rachaduras e colapsos decorrentes de uma secagem a 100°C com a temperatura inicial, temperatura final e potencial de secagem de programas encontrados na literatura para diferentes tipos de madeira. O autor concluiu que a metodologia empregada era eficiente para prever o comportamento de uma dada madeira, quando submetida a um processo de secagem convencional. Também concluiu que a velocidade de secagem e a rachadura de topo foram as variáveis de maior importância para a elaboração dos programas de secagem.

Jankowsky, Bilia e Ducatti (1997) desenvolveram trabalhos que permitiram aprimorar a metodologia abordada por Brandão (1989), definindo os defeitos e características de secagem que mais interferem na elaboração dos programas – tempo de secagem, velocidade de secagem e rachaduras de topo – bem como a elaboração de equações para a estimativa dos parâmetros de secagem – temperatura inicial, temperatura final e potencial de secagem.

Essa metodologia empregada por vários autores (TERAZAWA, 1965; BRANDÃO, 1989; JANKOWSKY, BILIA e DUCATTI, 1997; CINIGLIO, 1998; ANDRADE, 2000; SANTOS, 2002; BARBOSA et al., 2005; BATISTA, 2009; SUSIN, 2012) e neste trabalho é denominada por método da secagem drástica.

Ciniglio (1998) utilizou essa metodologia de secagem drástica e, por meio das equações que relacionam os defeitos da madeira com os parâmetros de um programa de secagem, estimou a temperatura inicial, a temperatura final e o potencial de secagem para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*. Esta

metodologia foi utilizada também por Andrade (2000), Barbosa et al. (2005), Batista (2009), Santos (2002) e Susin (2012), tendo esses autores elaborado programas de secagem que, ao serem testados, se mostraram eficientes para sua utilização na secagem convencional.

Barbosa et al. (2005) elaboraram programas de secagem para dez clones de *Eucalyptus* spp com idade entre 7,5 e 10,5 anos. Utilizando a metodologia da secagem drástica, esses autores chegaram à temperatura inicial média de 42,98°C, temperatura final média de 66,80°C e potencial de secagem médio de 2,2.

Susin (2012) fez uso da mesma metodologia e elaborou programas de secagem para *Eucalyptus robusta*, *Eucalyptus saligna* e *Corymbia citriodora* aos 40 anos de idade. No referido trabalho foi encontrada temperatura inicial média de 38,57°C, temperatura final média de 67,57°C e potencial de secagem médio de 2,02.

É possível observar nos trabalhos de Barbosa et al. (2005) e de Susin (2012) uma grande diferença de idade dos materiais analisados em cada estudo. Contudo, a temperatura inicial média encontrada pelo primeiro autor se mostrou 11,43% maior em relação à média encontrada pelo segundo autor, enquanto a temperatura final média e o potencial de secagem médio se mostraram semelhantes. Isso mostra que, apesar da diferença de idade entre essas madeiras, os parâmetros do programa de secagem apresentaram valores próximos.

4 – MATERIAL E MÉTODOS

Amostragem e preparo do material: Foram sorteadas ao acaso duas toras de *Eucalyptus saligna* e duas de *Eucalyptus cloeziana* abatidas aos 37 anos de idade. Estas toras foram provenientes de árvores coletadas em plantios experimentais do campus da Universidade Federal de Lavras, localizada no município de Lavras – MG, latitude 21° 14' 4" sul e a uma longitude 44° 59' 5" oeste.

Foram mensuradas as alturas e diâmetros à altura do peito (DAP) das árvores de *Eucalyptus saligna* e de *Eucalyptus cloeziana*, conforme disposto da Tabela 2.

Tabela 2 - Diâmetro e altura das árvores de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana*.

| Árvore | Espécie | DAP (cm) | Altura (m) |
|--------|---------------------|----------|------------|
| 140 | <i>E. saligna</i> | 58,25 | 42,0 |
| 186 | <i>E. saligna</i> | 61,12 | 43,0 |
| 320 | <i>E. cloeziana</i> | 44,24 | 19,8 |
| 423 | <i>E. cloeziana</i> | 59,21 | 27,7 |

DAP = diâmetro a altura do peito

Após o abate das árvores, os troncos foram divididos em toras de três metros, sendo utilizadas as toras da base para confecção dos corpos de prova do ensaio da secagem e das análises anatômicas.

Foi feito o desdobro tangencial alternado paralelo ao centro da tora em serra fita para obtenção das tábuas, que tiveram dimensões finais de 300 x 20 x 2,5 cm (comprimento, largura e espessura). Essas tábuas foram resserradas para alcançarem as dimensões de 100 x 20 x 2,5 cm e após isso foram aplainadas até alcançarem a espessura final de 1,0 cm. As mesmas foram separadas em tábuas

de lenho juvenil e de lenho adulto, considerando a determinação feita por Lima et al. (2015) para as mesmas espécies e as mesmas toras.

Confeção dos corpos de prova para o ensaio da secagem drástica:

Para o desenvolvimento dos programas de secagem foi utilizada a metodologia da secagem drástica utilizada por Ciniglio (1998), que consiste em submeter amostras de madeira verdes, de 100 x 50 x 10 mm, à temperatura de 100°C em estufas de secagem e esterilização e observar os tempos de secagem e a manifestação de defeitos à medida que a madeira atinge umidades preestabelecidas: 30% e 5%, base seca.

A partir das tábuas de 100 x 20 x 1 cm representando a porção de lenho juvenil e adulto para cada tora de cada espécie, foram confeccionados dezoito corpos de prova para elaboração do programa de secagem. Destes, seis corpos de prova foram destinados para a determinação do teor de umidade inicial (A), seis para a determinação da densidade básica (B) e seis para ensaios na estufa (C), conforme esquema da Figura 1.

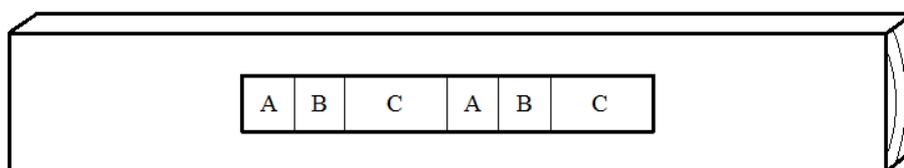


Figura 1 – Esquema de retirada dos corpos de prova de uma tábua para secagem drástica.

A – Corpo de prova para determinação da umidade inicial (50 x 50 x 10 mm)

B – Corpo de prova para determinação da densidade básica (50 x 50 x 10 mm)

C – Corpo de prova para secagem em estufa a 100°C (100 x 50 x 10 mm)

Confecção dos corpos de prova para análise anatômica: Para o estudo anatômico foram seguidas as recomendações da norma IAWA Committee (INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS, 1989).

Pequenas lascas de madeira foram retiradas dos corpos de prova previamente utilizados no ensaio da secagem para a determinação do comprimento das fibras, espessura da parede celular e diâmetro do lume das fibras e comprimento dos vasos, utilizando a técnica da maceração com peróxido de hidrogênio (30 volumes) e ácido acético (P.A.) em proporção de 1:1 para possibilitar a medição. Lâminas temporárias foram confeccionadas para as medições do comprimento e espessura das fibras e do comprimento dos vasos. Para cada característica foram realizadas 40 medições visando à obtenção dos valores médios por amostra.

Corpos de prova de 1,0 x 0,5 x 0,25 cm foram confeccionados a partir dos corpos de prova usados no ensaio da secagem para visualização e medição das pontoações raio-vasculares em plano radial no microscópio eletrônico de varredura (MEV). Também foram obtidas imagens do plano transversal, onde a frequência e o diâmetro dos vasos puderam ser determinados.

Desenvolvimento dos programas de secagem: As umidades iniciais e finais dos corpos de prova foram determinadas empregando-se o método gravimétrico e a determinação da densidade básica foi feita de acordo com a norma NBR 11941-02 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

Para o desenvolvimento dos programas de secagem, os corpos de prova foram submetidos à secagem em estufa de laboratório a 100°C, com sistema de circulação forçada de ar. Durante a secagem drástica, a perda de massa e a evolução das rachaduras de topo foram acompanhadas periodicamente (de 30 em

30 minutos da umidade inicial até 30% de umidade; de 60 em 60 minutos de 30% aos 15% de umidade; de 120 em 120 minutos dos 15% aos 5% de umidade) por meio da medição da abertura da rachadura com auxílio de uma lâmina calibradora e o comprimento com auxílio de paquímetro digital, considerando-se sempre a maior intensidade de ocorrência. Com a mesma periodicidade, a perda de massa foi determinada até as amostras atingirem 5% de umidade.

Os valores de rachadura de topo foram transformados em escores, de acordo com os critérios da Tabela 3. Os valores e perda de água foram utilizados para o cálculo da velocidade de secagem. Com base nesses valores foram calculadas as variáveis do ensaio da secagem drástica (TABELA 4), necessárias para o cálculo dos parâmetros do programa de secagem.

Tabela 3 - Escore atribuído às magnitudes das rachaduras de topo ocorridas nos corpos de prova submetidos à secagem drástica em estufa.

| 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); LR = largura da rachadura (mm).

Tabela 4 - Variáveis do ensaio da secagem drástica.

| Variável | Descrição | Faixa de umidade | Unidade |
|----------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
| U _i | Umidade inicial | Verde | % |
| T1 | Tempo de secagem | U _i a 5% | h |
| T2 | Tempo de secagem | U _i a 30% | h |
| T3 | Tempo de secagem | 30% a 5% | h |
| V1 | Velocidade de secagem | U _i a 5% | $g.cm^{-2}.h^{-1}$ |
| V2 | Velocidade de secagem | U _i a 30% | $g.cm^{-2}.h^{-1}$ |
| V3 | Velocidade de secagem | 30% a 5% | $g.cm^{-2}.h^{-1}$ |
| R1 | Rachaduras de topo | U _i a 5% | escore* |
| R2 | Rachaduras de topo | U _i a 30% | escore* |
| R3 | Rachaduras de topo | 30% a 5% | escore* |

* avaliado por escore conforme Tabela 3.

O cálculo da velocidade de secagem foi conforme as equações 1, 2 e 3.

a) Velocidade de secagem até 5% de umidade.

$$V1 = \frac{m_u - m_5}{T_1 \times 100} \quad (1)$$

em que:

V_1 = velocidade de secagem da umidade inicial até 5% ($\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$);

m_u = massa da amostra à umidade inicial (g);

m_5 = massa da amostra a 5% de umidade (g);

T_1 = tempo de secagem da umidade inicial até 5% (h);

100 = área superficial da amostra (cm^2).

b) Velocidade de secagem até 30% de umidade.

$$V2 = \frac{m_u - m_{30}}{T_2 \times 100} \quad (2)$$

em que:

V_2 = velocidade de secagem da umidade inicial até 30% ($\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$);

m_u = massa da amostra à umidade inicial (g);

m_{30} = massa da amostra a 30% de umidade (g);

T_2 = tempo de secagem da umidade inicial até 30% (h);

100 = área superficial da amostra (cm^2).

c) Velocidade de secagem de 30% a 5% de umidade.

$$V3 = \frac{m_{30} - m_5}{T_3 \times 100} \quad (3)$$

em que:

V_3 = velocidade de secagem de 30% a 5% de umidade ($\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$);

m_{30} = massa da amostra a 30% de umidade (g);

m_5 = massa da amostra a 5% de umidade (g);

T_3 = tempo de secagem de 30% a 5% de umidade (h);

100 = área superficial da amostra (cm^2).

A determinação dos parâmetros do programa de secagem foi feita a partir das equações 4, 5 e 6, seguindo a metodologia da secagem drástica demonstrada por Ciniglio (1998).

$$TI = 27,9049 + 0,7881 \times T2 + 419,0254 \times V1 + 1,9483 \times R1 \quad (4)$$

$$TF = 49,2292 + 1,1834 \times T2 + 273,8685 \times V2 + 1,0754 \times R1 \quad (5)$$

$$PS = 1,4586 - 30,4418 \times V3 + 42,9653 \times V1 + 0,1424 \times R3 \quad (6)$$

em que:

TI = Temperatura inicial (°C);

TF = Temperatura final (°C);

PS = Potencial de secagem.

A elaboração dos programas de secagem foi feita com base nas expressões descritas na metodologia da secagem drástica, tomando como base os valores médios de umidade inicial, rachadura de topo, tempo de secagem e velocidade de secagem, encontrados nas análises para os lenhos juvenil e adulto.

Os programas de secagem foram desenvolvidos com o auxílio de cartas psicrométricas, de modo que a temperatura inicial (Ti), definida por meio da Equação 4, foi fixada para a etapa da umidade inicial até atingir 40%. Foi fixada a variação de umidade de cinco por cento nas etapas do programa, visando promover aumentos pequenos e gradativos na temperatura. Essas etapas, além do intervalo de umidade para cada uma delas, foram fixadas e utilizadas de modo idêntico para os três programas de secagem.

Optou-se por elaborar programas de secagem para cada tipo de madeira por causa das diferenças nos tempos e nas velocidades de secagem totais e nos parâmetros temperatura inicial observados nos lenhos juvenil e adulto de *E. saligna* e *E. cloeziana*. Desse modo, quando forem submetidas aos programas de secagem, as cargas serão compostas por tábuas com características semelhantes,

resultando em comportamento semelhante das peças quando submetidas aos programas de secagem.

Análise estatística: O delineamento experimental inteiramente casualizado foi usado para análise estatística dos dados, seguindo o modelo estatístico $Y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij}$, em que:

Y_{ij} = valor da variável testada sob o i-ésimo nível de tratamento;

μ = média geral do experimento para a variável;

t_i = efeito do i-ésimo nível de tratamento;

e_{ij} = erro aleatório.

Foi realizada a análise de variância (ANOVA) a 5% de significância para comparação das médias encontradas nos lenhos juvenil e adulto para: umidade inicial, densidade básica, tempo de secagem, velocidade de secagem, temperatura inicial, temperatura final, potencial de secagem, comprimento das fibras, espessura da parede e diâmetro do lume de fibras, comprimento do elemento de vasos, diâmetro dos vasos, diâmetro das pontoações raio vasculares e frequência de vasos.

5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 – Características anatômicas das fibras

As médias encontradas para as características anatômicas das fibras dos corpos de prova estudados estão dispostas na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores médios das características anatômicas das fibras e dos vasos analisados para os lenhos juvenil e adulto de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* aos 37 anos de idade.

| Madeira | CF (mm) | LF (μm) | DLF (μm) | EPF (μm) | CEV (mm) | DV (mm) | FV (vasos/ mm^2) | DPRV (μm) |
|-------------|---------|----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|------------------------|
| <i>ES J</i> | 0,99 | 19,05 | 8,45 | 5,29 | 0,417 | 0,080 | 9,90 | 5,35 |
| <i>ES A</i> | 1,29 | 20,45 | 7,97 | 6,23 | 0,429 | 0,084 | 6,75 | 5,58 |
| F calculado | 94,19* | 8,09* | 2,75 ^{ns} | 21,93* | 0,41 ^{ns} | 2,68 ^{ns} | 32,63* | 0,21 ^{ns} |
| <i>EC J</i> | 1,08 | 18,49 | 6,96 | 5,76 | 0,488 | 0,087 | 7,15 | 7,03 |
| <i>EC A</i> | 1,34 | 20,60 | 7,08 | 6,75 | 0,492 | 0,099 | 4,15 | 7,27 |
| F calculado | 61,38* | 13,93* | 0,21 ^{ns} | 19,41* | 0,02 ^{ns} | 7,36* | 55,97* | 0,12 ^{ns} |

ES J = *Eucalyptus saligna* juvenil; ES A = *Eucalyptus saligna* adulto; EC J = *Eucalyptus cloeziana* juvenil; EC A = *Eucalyptus cloeziana* adulto; CF = Comprimento das fibras; LF = Largura das fibras; DLF = Diâmetro do lume de fibras; Espessura da parede de fibras; CEV = Comprimento do elemento de vasos; DV = Diâmetro dos vasos; FV = Frequência de vasos; DPRV = Diâmetro das pontoações raio-vasculares; ns = não significativo a 5%; * = significativo a 5%.

Comprimento das fibras: Observou-se na Tabela 5 que o comprimento das fibras (CF) foi estatisticamente maior no lenho adulto em comparação com o lenho juvenil para as duas espécies analisadas, da ordem de 30% em *E. saligna* e 24% em *E. cloeziana*.

Leonello, Palma e Ballarin (2008), estudando o comprimento das fibras de *Eucalyptus grandis*, também verificaram esse comportamento, encontrando a média de 1,009 mm e 1,145 mm para os lenhos juvenil e adulto,

respectivamente. Palma, Leonello e Ballarin (2010) encontraram valores médios de 0,987 mm e 1,153 mm para os lenhos juvenil e adulto, respectivamente, em análise de *Corymbia citriodora*. Os valores encontrados por esses autores também demonstram que o comprimento das fibras no lenho juvenil é menor que o no lenho adulto.

Na análise de *Eucalyptus saligna*, a média encontrada para essa característica foi de 1,14 mm. Alzate (2004) obteve a média de 0,95 mm para essa mesma espécie, estudada aos oito anos de idade, sendo esse valor mais baixo em comparação com o encontrado no presente trabalho, possivelmente em função da diferença de idades entre os materiais analisados. A média do comprimento das fibras encontrada para a madeira de *Eucalyptus cloeziana* foi de 1,21 mm. Sousa Júnior (2004) analisou madeiras de duas procedências, com 15 e 25 anos de idade, dessa mesma espécie e encontrou médias de 0,9 mm e 1,1 mm, sendo esses valores mais baixos que o obtido no presente estudo.

Largura das fibras: As médias encontradas para a largura das fibras foram diferentes entre os lenhos juvenil e adulto em ambas as espécies estudadas (TABELA 5). As fibras do lenho adulto de *E. saligna* se mostraram 7,4% mais largas em relação ao lenho juvenil, enquanto que em *E. cloeziana* as fibras do lenho adulto foram 11,4% mais largas que as do lenho juvenil. Para a madeira de *Eucalyptus saligna* a média obtida da largura das fibras foi de 19,75 μm , sendo maior que a média de 18,67 μm observada por Alzate (2004) para a mesma espécie aos oito anos de idade. A média da largura das fibras na madeira de *Eucalyptus cloeziana* foi de 19,54 μm , sendo inferior aos valores de 20,50 μm e 21,60 μm relatados por Sousa Junior (2004) para duas procedências analisadas aos 15 e 25 anos de idade, respectivamente.

Diâmetro do lume das fibras: Quanto ao diâmetro do lume das fibras, não houve diferença estatística entre os lenhos juvenil e adulto para as espécies estudadas. Para *E. saligna*, a média encontrada para essa característica foi de 8,21 μm . Esse valor é inferior à média de 10,14 μm relatada por Alzate (2004) para madeira dessa mesma espécie aos 8 anos de idade. Para *E. cloeziana* foi observada média de 7,02 μm , sendo mais baixa que as médias de 9,1 μm e 9,2 μm encontradas por Sousa Júnior (2004) para duas procedências de 15 e 25 anos dessa mesma espécie.

Espessura da parede das fibras: A espessura da parede das fibras diferiu entre os lenhos juvenil e adulto para ambas as espécies estudadas, sendo 17,8% maior no lenho adulto em relação ao lenho juvenil para *E. saligna* e 17,2% maior no lenho adulto em relação ao lenho juvenil para *E. cloeziana*. Foi obtida a média de 5,76 μm para espessura da parede das fibras em *E. saligna*, sendo esse valor levemente superior à média de 5,01 μm encontrada por Alzate (2004) para essa mesma espécie aos 8 anos de idade. Para *E. cloeziana* foi obtida média de 6,25 μm para essa característica, semelhante à média de 6,3 μm encontrada por Souza Junior (2004) para a mesma espécie aos 25 anos de idade.

5.2 – Características anatômicas dos vasos

Foi possível observar na Tabela 5 que o comprimento dos elementos de vaso e o diâmetro das pontoações raio vasculares não diferiram estatisticamente entre os lenhos juvenil e adulto de *E. saligna* e *E. cloeziana*. Neste estudo não foi verificada diferença entre os diâmetros das pontoações raio-vasculares nos lenhos juvenil e adulto, da mesma forma que não foi verificada diferença de velocidade de secagem da umidade inicial até 30% de umidade nos dois tipos de madeira analisados, conforme discutido no item 5.3.2.

Diâmetro dos vasos: Foi observada na Tabela 5 diferença significativa para as médias obtidas do diâmetro dos vasos entre os lenhos juvenil e adulto apenas em *E. cloeziana*. A média encontrada no lenho adulto foi 12% maior do que a encontrada para o lenho juvenil. Foi obtida a média de 0,093 mm para o diâmetro dos vasos da madeira de *E. cloeziana*, sendo esse valor semelhante ao obtido por Sousa Junior (2004), que encontrou 0,096 mm para a mesma característica em madeira da mesma espécie aos 25 anos de idade.

As médias encontradas neste estudo para o diâmetro dos vasos nos lenhos juvenil e adulto de *E. saligna* não apresentaram diferença estatística (TABELA 5). A média observada para esta espécie foi de 0,087 mm, semelhante ao encontrado por Carvalho (2000) para a madeira do híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (0,085 mm) analisados com sete anos de idade.

Frequência dos vasos: A frequência dos vasos foi estatisticamente maior nos lenhos juvenis em relação aos lenhos adultos de *E. saligna* e *E. cloeziana* (TABELA 5), concordando com a afirmação feita por Panshin e Zeeuw (1980), de que a frequência dos vasos tende a ser menor na região próxima à medula. A frequência de vasos verificada no lenho juvenil de *E. saligna* foi 32% maior que lenho adulto. Quanto ao *E. cloeziana*, essa diferença foi ainda maior, da ordem de 42%. A média observada para a madeira de *E. saligna* foi de 8,32 vasos/mm², sendo essa frequência inferior à encontrada por Alzate (2004), com média de 11 vasos/mm² para a mesma espécie aos 8 anos de idade. Para *E. cloeziana* a média encontrada foi de 5,65 vasos/mm², o que é inferior ao observado por Sousa Junior (2004), de 12,88 vasos/mm². Essa diferença observada para *E. cloeziana* pode estar relacionada ao sítio, modo de plantio e influências ambientais a que os materiais analisados estavam submetidos.

Diâmetro das pontoações raio-vasculares: Devido a não serem encontrados relatos na literatura sobre o diâmetro das pontoações raio-vasculares para *E. saligna* e *E. cloeziana*, as médias encontradas na Tabela 5 foram comparadas às encontradas por Monteiro (2014) para os clones VM04 e MN463 de *Eucalyptus urophylla* aos sete anos de idade. Foi encontrada a média de 5,46 μm para o diâmetro das pontoações raio-vasculares em *E. saligna*, sendo esse valor menor do que 8,5 μm e 7,2 μm , obtido por Monteiro (2014) para os clones VM04 e MN463 de *E. urophylla*, respectivamente. A média de 7,15 μm foi encontrada para essa característica em *E. cloeziana*, sendo esse valor próximo à média encontrada pelo autor para o clone MN463.

5.3 – Ensaio da secagem drástica

5.3.1 – Densidade básica e umidade da madeira submetida à secagem drástica

A Tabela 6 relaciona os valores médios de umidade inicial e densidade básica dos corpos de prova confeccionados para o ensaio da secagem a 100°C.

Tabela 6 - Valores médios encontrados para umidade inicial e densidade básica dos corpos de prova dos lenhos juvenil e adulto de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* submetidos à secagem drástica.

| Madeira | Db | Ui |
|-------------|--------------------|--------------------|
| <i>ES J</i> | 0,636 | 84,21 |
| <i>ES A</i> | 0,735 | 62,62 |
| F calculado | 26,16* | 25,45* |
| <i>EC J</i> | 0,827 | 55,59 |
| <i>EC A</i> | 0,849 | 51,87 |
| F calculado | 0,83 ^{ns} | 1,44 ^{ns} |

ES J = *Eucalyptus saligna* juvenil; *ES A* = *Eucalyptus saligna* adulto; *EC J* = *Eucalyptus cloeziana* juvenil; *Eucalyptus cloeziana* adulto; Db = densidade básica ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$); Ui = Umidade inicial (%); ns = não significativo a 5%; * = significativo a 5%.

Observa-se na Tabela 6 que as médias de densidade básica nos lenhos de *Eucalyptus saligna* diferiram estatisticamente, mostrando-se 15,6% maior no lenho adulto em relação ao lenho juvenil.

Quanto aos lenhos de *E. cloeziana*, foi observada na Tabela 6 semelhança estatística entre as densidades básicas de EC J e EC A, mostrando que a madeira não apresenta grande variação dessa propriedade no sentido medula-casca. Do ponto de vista comercial, esta pode ser uma característica interessante, uma vez que, toras mais homogêneas serão transformadas em peças que responderão de forma semelhante à secagem, resultando em melhor qualidade.

A média da densidade básica encontrada para a madeira de *Eucalyptus saligna* foi de $0,686 \text{ g.cm}^{-3}$, próxima ao valor verificado por Susin (2012), de $0,690 \text{ g.cm}^{-3}$ para a mesma madeira com idade de 40 anos. Lopes e Garcia (2002) verificaram média de densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* de $0,620 \text{ g.cm}^{-3}$ para árvores de 22 anos, sendo mais baixo que o apresentado na Tabela 6.

Foi encontrada densidade básica média de $0,838 \text{ g.cm}^{-3}$ para a madeira de *Eucalyptus cloeziana*, sendo este valor superior à média encontrada por Oliveira, Hellmeister e Tomazello Filho (2005), de $0,720 \text{ g.cm}^{-3}$ para a mesma espécie aos 16 anos de idade.

A umidade inicial dos corpos de prova se mostrou inversamente proporcional à densidade básica (TABELA 6). Isso é esperado em virtude de a máxima capacidade da madeira de reter água estar relacionada à densidade básica da mesma. O cálculo da densidade básica leva em consideração os espaços intra e intercelulares contidos na estrutura da madeira, sendo que, quanto menor for a proporção desses espaços, menor a capacidade de retenção de água e maior será a densidade básica.

O comportamento da umidade média em relação ao tempo para as três espécies durante a aplicação da secagem drástica é apresentado na Figura 2.

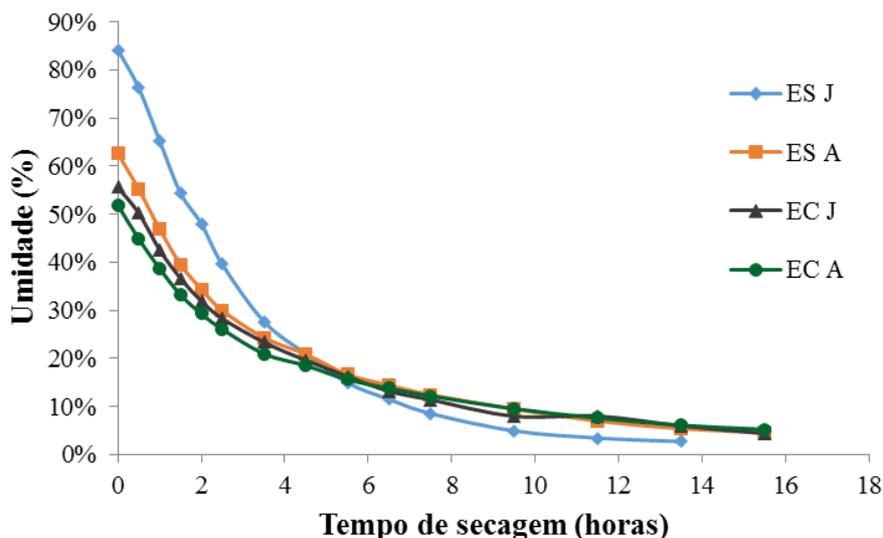


Figura 2 - Curva de secagem com valores médios para a madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* com 37 anos de idade, em que: ES J = *Eucalyptus saligna* juvenil; ES A = *Eucalyptus saligna* adulto; EC J = *Eucalyptus cloeziana* juvenil; *Eucalyptus cloeziana* adulto.

Foi observado na Figura 2 que o comportamento da curva de secagem apresentado pelo lenho juvenil de *Eucalyptus saligna* (ES J) foi o que mais se diferenciou dos demais nas quatro primeiras horas após o início da secagem. Isso possivelmente está relacionado a mais baixa densidade e mais alta umidade inicial dessa madeira em relação às demais analisadas.

Os corpos de prova de lenho juvenil de *E. saligna* alcançaram mais rapidamente a umidade de 5%. Isso pode ser explicado pela maior velocidade de secagem de água de adsorção (V3) encontrada para ES J em relação aos demais materiais analisados, conforme discutido no item 5.3.2.

5.3.2 – Variáveis do ensaio da secagem drástica

Na Tabela 7 estão relacionadas as médias encontradas para as variáveis utilizadas na determinação dos parâmetros dos programas de secagem.

Tabela 7 - Valores médios encontrados para as variáveis do ensaio da secagem drástica nos lenhos juvenil e adulto de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana*.

| Madeira | T1 | T2 | T3 | V1 | V2 | V3 | R1 | R2 | R3 |
|-------------|-------|-------------------|--------|--------|--------------------|--------|------|------|------|
| ES J | 9,50 | 3,00 | 6,50 | 0,0270 | 0,0538 | 0,0144 | 2,17 | 2,17 | 1,33 |
| ES A | 13,50 | 2,25 | 11,25 | 0,0161 | 0,0518 | 0,0089 | 1,50 | 1,33 | 1,50 |
| F calculado | 44,0* | 19,8* | 107,3* | 40,6* | 0,42 ^{ns} | 29,0* | - | - | - |
| EC J | 11,50 | 2,50 | 9,00 | 0,0174 | 0,0446 | 0,0109 | 4,00 | 3,83 | 4,00 |
| EC A | 14,50 | 2,00 | 12,50 | 0,0138 | 0,0472 | 0,0082 | 3,50 | 2,50 | 3,50 |
| F calculado | 19,8* | 2,8 ^{ns} | 67,4* | 12,8* | 0,21 ^{ns} | 18,2* | - | - | - |

T1 = tempo de secagem da Ui até 5% (horas); T2 = tempo de secagem da Ui até 30% (horas); T3 = tempo de secagem de 30% até 5% (horas); V1 = velocidade de secagem da Ui até 5% ($\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$); V2 = velocidade de secagem da Ui até 30% ($\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$); V3 = velocidade de secagem de 30% até 5% ($\text{g.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$); R1 = rachadura de topo da Ui até 5% (escore); R2 = rachadura de topo da Ui até 30% (escore); R3 = rachadura de topo de 30% até 5% (escore); ns = não significativo a 5%; * = significativo a 5%.

Como observado na Tabela 7, o tempo de secagem da umidade inicial até 5% (T1) foi estatisticamente menor nos lenhos juvenis em relação aos lenhos adultos de ambas as espécies estudadas.

O lenho adulto de *Eucalyptus cloeziana*, que apresenta a maior densidade básica, necessitou de maior tempo de secagem (T1) e apresentou menor velocidade de secagem de modo geral (V1), corroborando com Siau (1971), que relatou que, de forma geral, a permeabilidade da madeira é inversamente proporcional à sua densidade básica. Também foi observada maior velocidade de secagem da umidade inicial até 5% (V1) para os lenhos juvenis

das duas espécies estudadas. Esses resultados indicam que a movimentação de água de forma geral se dá de forma mais rápida no lenho juvenil que no lenho adulto.

O tempo de secagem da umidade inicial até 30% (T2) faz referência ao tempo necessário para que a água livre se movimente de dentro para fora da madeira. O T2 diferiu estatisticamente entre os lenhos juvenil e adulto de *Eucalyptus saligna*, porém, foi igual entre as madeiras de *Eucalyptus cloeziana* (TABELA 7). Isso pode estar associado à diferença observada para umidade inicial de *Eucalyptus saligna* (TABELA 6), que foi 25,64% maior no lenho juvenil em relação ao lenho adulto, indicando que, por estar mais úmida, essa madeira levou mais tempo para alcançar os 30% de umidade. A diferença de umidade inicial entre os lenhos juvenil e adulto de *Eucalyptus cloeziana* foi menor, de apenas 6,7%.

A velocidade de secagem da umidade inicial até 30% (V2) foi estatisticamente igual para os dois tipos de madeiras e espécies estudadas, indicando a movimentação de água livre em velocidades semelhantes nos lenhos juvenil e adulto.

O tempo de secagem de 30% a 5% de umidade (T3) indica o tempo necessário para a água de adsorção se movimentar do interior da madeira para o exterior e foi diferente ao nível de 5% de significância para os lenhos juvenil e adulto das duas espécies estudadas. O T3 foi responsável pela maior parte do tempo levado para secagem total da madeira, representando: 68%, 83%, 78% e 86% para ES J, ES A, EC J e EC A, respectivamente. Isso demonstra que a saída da água de adsorção se dá de forma mais lenta na madeira em comparação com a água livre.

Quanto à velocidade de secagem de 30% a 5% de umidade (V3), foi maior no lenho juvenil que no adulto, seguindo a tendência observada para V1. V3 se mostrou menor que V1 e V2 para os lenhos de ambas as espécies

analisadas. Isso está relacionado ao mesmo fator citado acima para o T3 com relação à saída da água de adsorção.

Com relação às rachaduras de topo observadas no ensaio da secagem drástica, não foi aplicada a análise de variância para sua comparação, devido ao elevado coeficiente de variação dos dados. Todavia, observou-se maior média do escore de rachaduras de topo totais (R1) para o lenho juvenil de *Eucalyptus cloeziana* (4,00), em comparação com o lenho adulto dessa mesma espécie (3,50). Em *Eucalyptus saligna*, o maior escore de rachaduras foi verificado também no lenho juvenil (2,17) em relação ao lenho adulto (1,50). No entanto, a média do escore de rachaduras de topo ocorridas *E. saligna* no intervalo de 30% a 5% de umidade (R3) foi maior no lenho adulto (1,50) do que no lenho juvenil (1,33), diferentemente do observado em *E. cloeziana*, que apresentou maior R3 no lenho juvenil (4,00) do que no lenho adulto (3,50).

Vale ressaltar que no lenho juvenil de *E. saligna* as rachaduras de topo se manifestaram em 42% dos corpos prova, enquanto no lenho adulto o defeito se manifestou em apenas 25% dos corpos de prova. No lenho juvenil de *E. cloeziana* esse defeito se manifestou em 83% dos corpos de prova, enquanto no lenho adulto as rachaduras de topo se manifestaram em 100% corpos de prova.

A maior incidência de rachaduras foi verificada até 30% de teor de umidade para o lenho juvenil *Eucalyptus saligna*. Esse comportamento acima do PSF era esperado, visto que as rachaduras ocorrem no início da secagem quando as camadas mais externas da tábua, por secarem primeiro, estão tensionadas o suficiente para romper a ligação entre os componentes anatômicos da madeira (SIMPSON, 1991). Nos lenhos de *E. cloeziana* e no lenho adulto de *E. saligna* a maior incidência de rachaduras foi observada na faixa de umidade de 30% a 5%, referente à variável R3. Possivelmente isso ocorreu em virtude da baixa umidade inicial nessas madeiras, de modo que uma menor porcentagem do tempo de

secagem total foi necessária para que tais madeiras alcançassem 30% de umidade em comparação com o lenho juvenil de *E. saligna*.

Para V1, V2 e V3 em *E. saligna* foram obtidas as médias de 0,0216 g.cm⁻².h⁻¹; 0,0528 g.cm⁻².h⁻¹ e 0,0116 g.cm⁻².h⁻¹, respectivamente, sendo superiores às médias de 0,0148 g.cm⁻².h⁻¹; 0,0310 g.cm⁻².h⁻¹ e 0,0064 g.cm⁻².h⁻¹ encontradas respectivamente para V1, V2 e V3 por Susin (2012), utilizando a metodologia da secagem drástica para *E. saligna* aos 40 anos de idade.

Não foram encontrados relatos na literatura com esta metodologia aplicada em *Eucalyptus cloeziana*, por isso os parâmetros obtidos no presente estudo foram comparados com a madeira de *Corymbia citriodora* aos 40 anos de idade analisada por Susin (2012), que apresentou densidade básica de 0,820 g.cm⁻³, semelhante à densidade básica observada na Tabela 7 para *E. cloeziana*.

As médias de V1, V2 e V3 encontradas para *E. cloeziana* foram de 0,0156 g.cm⁻².h⁻¹, 0,0459 g.cm⁻².h⁻¹ e 0,0096 g.cm⁻².h⁻¹, que foram superiores às encontradas por Susin (2012), de 0,0108 g.cm⁻².h⁻¹; 0,0346 g.cm⁻².h⁻¹ e 0,0049 g.cm⁻².h⁻¹, respectivamente, estudando *Corymbia citriodora* aos 40 anos de idade.

5.4 – Parâmetros dos programas de secagem

Na Tabela 8 podem ser observados os valores encontrados para temperatura inicial, temperatura final e potencial de secagem para os tipos de madeira das duas espécies analisadas.

Tabela 8 - Parâmetros dos programas de secagem obtidos para os lenhos juvenil e adulto de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* a partir do ensaio da secagem drástica.

| Madeira | Ti (°C) | Tf (°C) | PS (Un.) |
|-------------|---------|--------------------|--------------------|
| <i>ES J</i> | 45,81 | 69,86 | 2,37 |
| <i>ES A</i> | 39,34 | 67,70 | 2,09 |
| F calculado | 22,02* | 3,91 ^{ns} | 19,32* |
| <i>EC J</i> | 44,96 | 68,70 | 2,45 |
| <i>EC A</i> | 42,06 | 68,28 | 2,30 |
| F calculado | 7,73* | 0,08 ^{ns} | 3,26 ^{ns} |

ES J = *Eucalyptus saligna* juvenil; *ES A* = *Eucalyptus saligna* adulto; *EC J* = *Eucalyptus cloeziana* juvenil; *Eucalyptus cloeziana* adulto; Ti = Temperatura inicial; Tf = Temperatura final; PS = Potencial de secagem; ns = não significativo a 5%; * = significativo a 5%.

O parâmetro Ti encontrado na Tabela 8 para lenho adulto de *Eucalyptus saligna* foi de 39,34°C, sendo próximo aos encontrados por Batista (2009) e por Susin (2012) para a mesma espécie aos 11 e aos 40 anos de idade, respectivamente. No entanto, o valor de Ti para lenho juvenil foi de 45,81°C, sendo maior que o parâmetro encontrado por aqueles autores.

Foi observado que a Ti encontrada por Susin (2012) para *C. citriodora* (38,8°C) foi menor que as encontradas para *E. cloeziana* juvenil e adulto (TABELA 8). Entretanto, o valor de Tf encontrado por esse autor (68,5°C) para *Corymbia citriodora* foi semelhante ao encontrado na Tabela 8.

Na Tabela 8 pode-se verificar que o parâmetro Ti dos programas de secagem foi maior nos lenhos juvenis em relação aos adultos para as duas espécies estudadas. Isso indica que o lenho juvenil irá tolerar uma temperatura mais alta no início da secagem em relação ao lenho adulto quando submetida à secagem convencional.

As temperaturas finais (Tf) encontradas para os lenhos juvenil e adulto de *E. saligna* foram de 69,86°C e 67,70°C, respectivamente. Esses valores são

próximos aos encontrados por Batista (2009) e por Susin (2012) para a mesma espécie com 11 e 40 anos de idade, respectivamente.

Na análise de variância realizada para o parâmetro Tf não foi verificada diferença entre as médias encontradas para ES J, ES A, EC J e EC A. Contudo, observou-se que houve proximidade entre os parâmetros Tf encontrados neste estudo e os encontrados nos estudos feitos por Barbosa et al. (2005) e por Susin (2012), observados na Tabela 8.

Quanto ao potencial de secagem (PS), verificou-se na Tabela 8 que houve diferença estatística entre as médias obtidas para os lenhos juvenil e adulta de *E. saligna*, o que não ocorreu em *E. cloeziana*.

O PS obtido para o lenho juvenil de *E. saligna* foi 13,4% maior do que o obtido para o lenho adulto. Isso pode ser explicado pela forma como é calculado esse parâmetro (EQUAÇÃO 6), que leva em consideração o escore de rachaduras ocorridas no intervalo de 30% a 5% de umidade (R3), que foi 12,8% maior no lenho adulto do que no lenho juvenil dessa espécie. Barbosa et al. (2005) elaboraram programas de secagem para dez clones de *Eucalyptus* spp., baseando-se no princípio de que madeiras, para serem secas juntas, devem ter o mesmo comportamento quanto à velocidade de secagem e à propensão aos defeitos. A montagem de uma pilha de secagem de madeira com velocidade de saída de água semelhante tem importância para que as peças dentro da estufa alcancem umidades semelhantes ao final de cada etapa da secagem.

Seguindo o princípio utilizado por Barbosa et al. (2005), considerou-se a diferença encontrada entre lenhos juvenis e adultos de ambas as espécies estudadas para as variáveis tempo e velocidade de secagem da umidade inicial até 5% (T1 e V1) e para o parâmetro temperatura inicial (Ti), sendo desenvolvidos programas de secagem diferentes para cada tipo de lenho.

Os parâmetros obtidos para as duas espécies apresentam-se coerentes com os encontrados na literatura (TABELA 9).

Tabela 9 - Parâmetros dos programas de secagem disponíveis na literatura para a madeira de *Eucalyptus*.

| Espécie | Ti (°C) | Tf (°C) | PS (Un.) | Autor |
|--|----------------|----------------|-----------------|-----------------------|
| <i>E. grandis</i> | 40,5 | 64,9 | 2,10 | Ciniglio (1998) |
| <i>E. urophylla</i> | 40,3 | 65,5 | 2,44 | Ciniglio (1998) |
| <i>E. grandis</i> | 41,7 | 65,7 | 2,17 | Andrade et al. (2000) |
| <i>E. tereticornis</i> | 39,0 | 62,7 | 2,01 | Andrade et al. (2000) |
| <i>E. grandis</i> | 40,0 | 65,0 | 2,00 | Santos (2002) |
| <i>Eucalyptus</i> spp. | 41,8-44,7 | 66,0-68,9 | 2,02-2,44 | Barbosa et al. (2005) |
| <i>E. saligna</i> / <i>E. grandis</i> / <i>E. dunnii</i> | 40,0 | 66,0 | 2,00 | Batista (2009) |
| <i>E. saligna</i> | 39,7 | 67,2 | 2,07 | Susin (2012) |
| <i>E. robusta</i> | 37,2 | 67,0 | 1,92 | Susin (2012) |
| <i>Corymbia citriodora</i> | 38,8 | 68,5 | 2,08 | Susin (2012) |

Ti = Temperatura inicial; Tf = Temperatura final; PS = Potencial de Secagem.

5.5 – Relação entre as características anatômicas e o comportamento da madeira submetida à secagem drástica

As características anatômicas das fibras que se mostraram diferentes entre lenho juvenil e adulto foram o comprimento, a largura e a espessura da parede. Quanto aos vasos, as características que se mostraram diferentes foram o diâmetro e a frequência.

Com relação aos resultados obtidos com a secagem drástica, a velocidade de secagem da umidade inicial a 5% (V1), a velocidade de secagem de 30% a 5% (V3) foram escolhidas para serem discutidas por terem apresentado diferença estatística entre os lenhos juvenil e adulto das espécies estudadas e por representarem bem a movimentação de água nessas madeiras. As rachaduras de topo totais (R1) também foram relacionadas às características anatômicas encontradas para as fibras e vasos, por ser o defeito considerado na

metodologia de elaboração de programas de secagem utilizada no presente trabalho.

Optou-se então por relacionar essas diferenças anatômicas com as diferenças de velocidade de secagem (V1 e V3) e as rachaduras de topo (R1) observadas entre lenho juvenil e adulto, visando esclarecer a possível influência da anatomia nos resultados obtidos com a secagem.

5.5.1 – Velocidade de secagem em função de características das fibras

Nos lenhos juvenis de *E. saligna* e de *E. cloeziana*, o comprimento e a espessura da parede de fibras foram menores em comparação com o lenho adulto. Por outro lado, as velocidades de secagem da umidade inicial até 5% (V1) e de 30% a 5% de umidade (V3) foram maiores no lenho juvenil. Isso mostra uma relação inversa entre o comprimento das fibras e as movimentações de água total e de adsorção, conforme observado na Figura 3.

Ahmed e Chun (2011) relataram que o aumento do comprimento das fibras reduziu a movimentação da solução de safranina na madeira de *Tectona grandis*, concordando com o verificado no presente estudo. Diferentemente, Baraúna et al. (2014) encontraram relação direta e positiva entre o comprimento das fibras e a permeabilidade ao líquido da madeira de amapá. Monteiro (2014) afirmou que o aumento do comprimento das fibras tende a aumentar o fluxo da água total nas três direções ortotrópicas de blocos de madeira e, também, tende a aumentar a movimentação da água de adsorção nas direções axial e radial de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*.

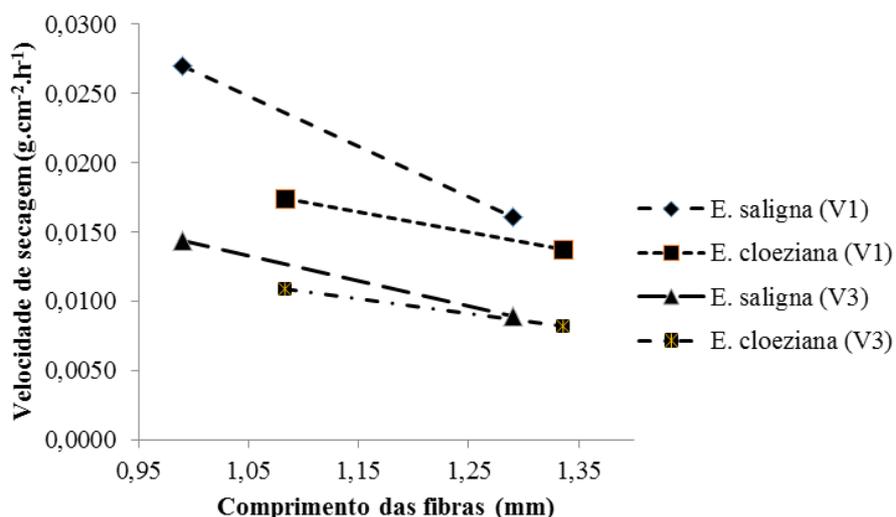


Figura 3 - Comportamento das velocidades de secagem da umidade inicial até 5% de umidade (V1) e de 30% até 5% de umidade (V3) em função do comprimento das fibras nos lenhos de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* com 37 anos de idade.

Quanto à espessura da parede das fibras, Monteiro (2014) afirmou que essa característica está relacionada com a quantidade de água livre e de água de adsorção na madeira, que afeta diretamente a massa de água necessária para saturação das fibras (ENGELUND et al., 2013) e, conseqüentemente, o fluxo destas águas.

A espessura da parede das fibras se mostrou inversamente proporcional às velocidades de secagem encontradas para as madeiras de *E. saligna* e de *E. cloeziana* (FIGURA 4). Essa relação inversa pode ocorrer devido à relação entre o comprimento das fibras e a espessura de sua parede celular. O câmbio fisiologicamente maduro produz fibras com maiores comprimento e espessura da parede celular (PANSWIN; ZEEUW, 1980), de modo que quanto mais espessa é a parede celular da fibra, mais lenta se torna a passagem de água por difusão, quando necessário.

Monteiro (2014) verificou uma tendência do fluxo da água livre ser maior nos materiais com menor espessura da parede das fibras. O mesmo autor afirma que a espessura da parede celular apresenta alta relação com a densidade básica da madeira, podendo essa propriedade ser usada para o melhor entendimento destas relações.

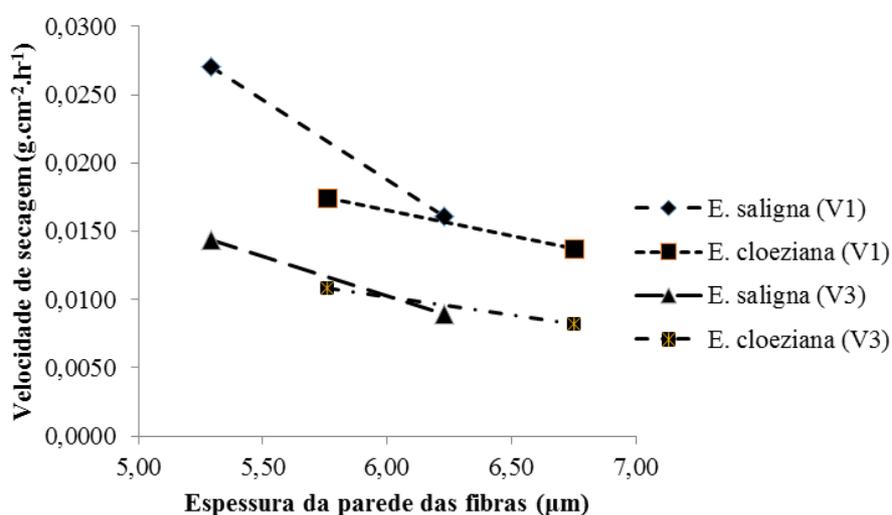


Figura 4 - Comportamento das velocidades de secagem da umidade inicial até 5% de umidade (V1) e de 30% até 5% de umidade (V3) em função da espessura da parede das fibras nos lenhos de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* com 37 anos de idade.

5.5.2 – Rachaduras de topo em função de características das fibras

As rachaduras de topo ocorreram em maior proporção nos lenhos juvenis em comparação com os lenhos adultos analisados. Observando o comportamento do comprimento e da espessura da parede das fibras, é possível inferir que existiu uma relação negativa entre a proporção das rachaduras de

topo e essas características anatômicas (FIGURA 5), ou seja, os lenhos adultos apresentaram maiores comprimento e espessura da parede das fibras, e menor aparecimento de rachaduras de topo.

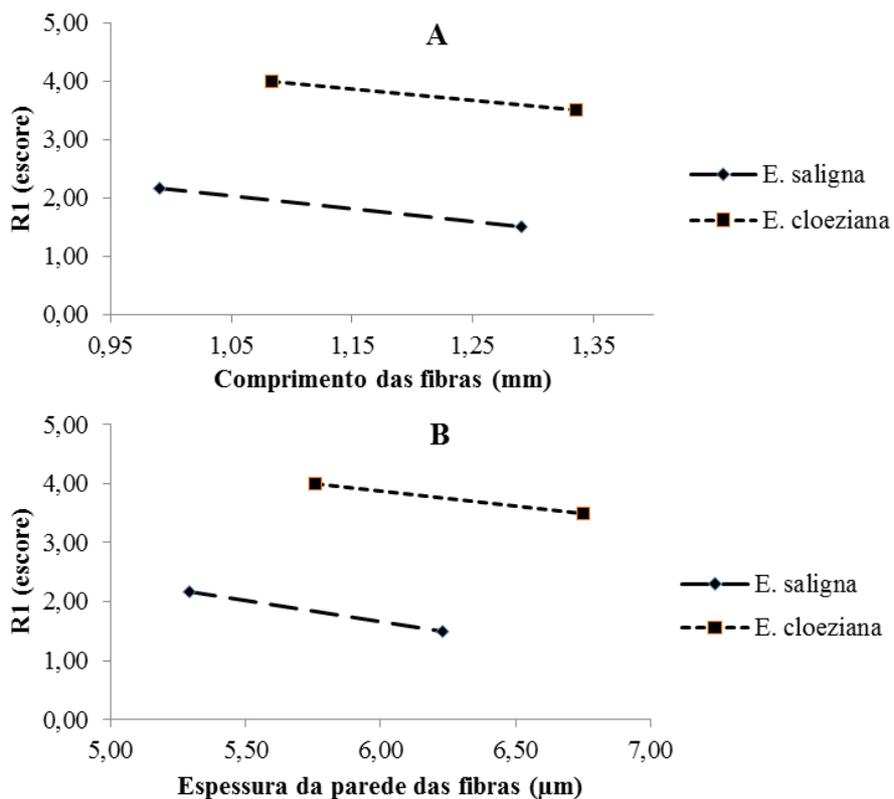


Figura 5 - Comportamento das rachaduras de topo totais (R1) em função do comprimento (A) e da espessura da parede das fibras (B) nos lenhos de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* com 37 anos de idade.

5.5.3 – Velocidade de secagem em função de características dos vasos

É sabido que, no sentido medula-casca, ocorre diminuição da frequência de vasos e, possivelmente em função disso, há o aumento do seu diâmetro para

que haja eficiência na condução de seiva bruta no xilema secundário das folhosas. Longui et al. (2010) verificaram aumento significativo no diâmetro dos vasos e diminuição de sua frequência da medula para a casca para madeira de *Piptadenia gonoacantha*. Monteiro (2014) observou a mesma tendência em madeiras do gênero *Eucalyptus*.

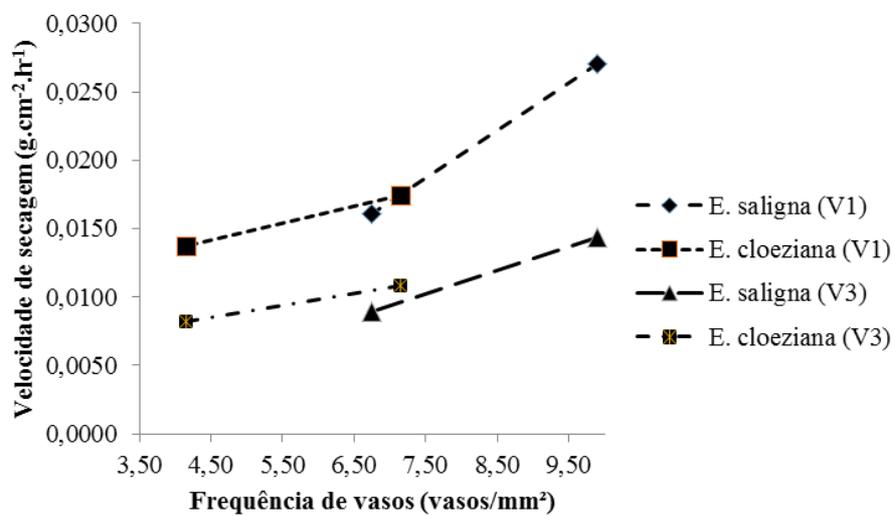


Figura 6 - Comportamento das velocidades de secagem da umidade inicial até 5% de umidade (V1) e de 30% até 5% de umidade (V3) em função da frequência de vasos nos lenhos de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* com 37 anos de idade.

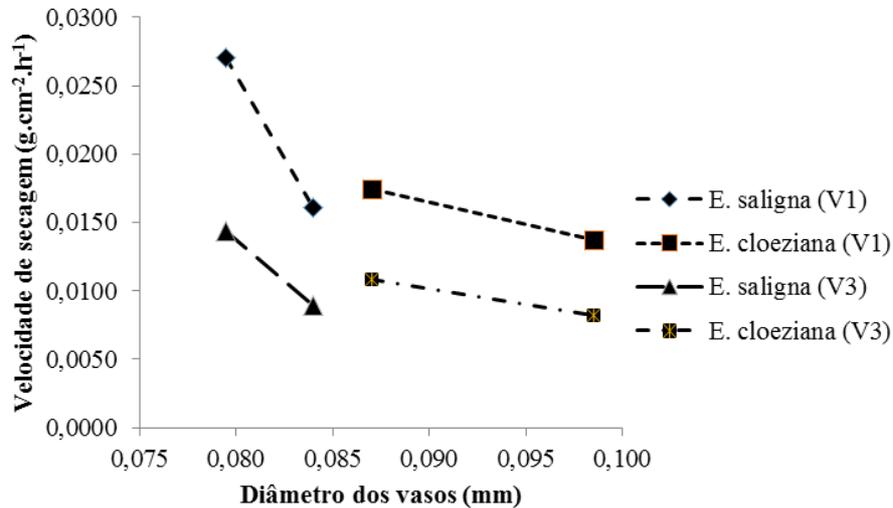


Figura 7 - Comportamento das velocidades de secagem da umidade inicial até 5% de umidade (V1) e de 30% até 5% de umidade (V3) em função do diâmetro dos vasos nos lenhos de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* com 37 anos de idade.

Nos lenhos juvenis o diâmetro dos vasos foi menor e a frequência de vasos foi maior. As velocidades de secagem seguiram a tendência verificada para a frequência de vasos, de modo que com a redução da frequência no lenho adulto, as velocidades de secagem V1 e V3 também diminuíram, indicando movimentação de água total e de adsorção de forma mais lenta para o lenho adulto (Figura 6).

Monteiro (2014) afirmou que a velocidade de secagem de água adsorvida foi diretamente proporcional à frequência de vasos e inversamente proporcional ao diâmetro do elemento de vaso, corroborando com as relações observadas nas Figuras 6 e 7.

5.5.4 – Rachaduras de topo em função de características dos vasos

Não foram encontrados trabalhos relacionando as características dos vasos com a incidência de defeitos de secagem para madeira. No entanto, a maior frequência e menor diâmetro dos vasos observados no lenho juvenil se mostraram associados com menor densidade básica encontrada nesse tipo de lenho para *E. saligna* e *E. cloeziana*. Os maiores escores de rachaduras de topo foram observados para o lenho juvenil, indicando sua maior fragilidade em comparação com o lenho adulto. Tendo em vista que madeiras menos densas tendem a ser menos resistentes mecanicamente, essa relação era esperada.

Observou-se relação direta entre a frequência de vasos e o escore de rachaduras de topo encontrado para *E. saligna* e *E. cloeziana*, de modo que a frequência de vasos se mostrou maior no lenho juvenil que no lenho adulto (FIGURA 8).

O diâmetro dos vasos no lenho juvenil se mostrou menor quando comparado ao lenho adulto, porém apresentou maior escore de rachadura de topo nas duas espécies estudadas, indicando relação inversa entre o diâmetro dos vasos e o escore de rachaduras de topo (FIGURA 8).

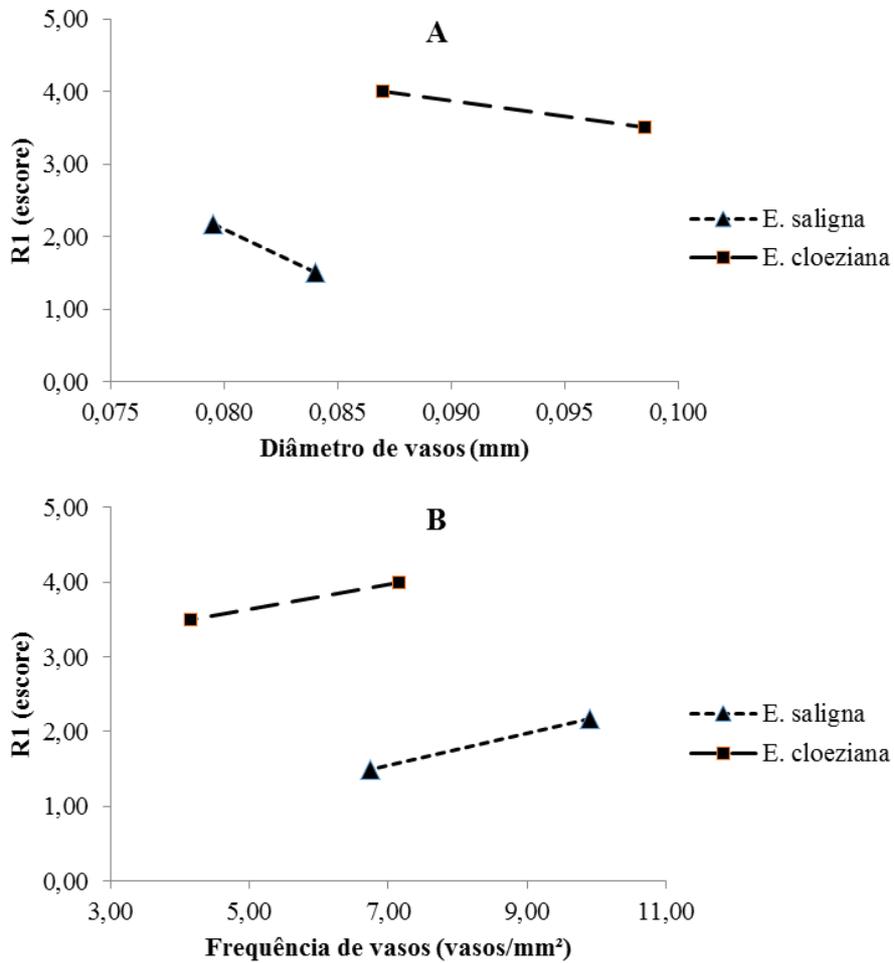


Figura 8 - Comportamento das rachaduras de topo totais (R1) em função do diâmetro (A) e da frequência de vasos (B) em *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* com 37 anos de idade.

5.6 – Programas de secagem

Os programas de secagem elaborados para os lenhos juvenil e adulto de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* se encontram nos Quadros 1, 2, 3 e 4.

Pode-se verificar nos Quadros 1 e 3 que os programas elaborados para as madeiras juvenis de *E. saligna* e *E. cloeziana* foram semelhantes. Isso ocorreu em virtude da proximidade verificada entre os valores encontrados para os parâmetros do programa de secagem. Essa proximidade se deu mesmo com as velocidades de secagem da umidade inicial até 5% (V1) e de 30% a 5% de umidade (V3) tendo sido diferentes entre essas madeiras juvenis (TABELA 7).

Quadro 1 - Programa de secagem para o lenho juvenil de *Eucalyptus saligna*.

| Etapa de secagem | TBS (°C) | TBU (°C) | UR (%) | UE (%) | PS (Un.) |
|------------------------|----------|----------|--------|--------|----------|
| <i>Aquecimento</i> | 46 | 45 | 97 | 23 | - |
| <i>Ui a 40%</i> | 46 | 43 | 83 | 17 | 2,4 |
| <i>40 a 35%</i> | 50 | 46 | 80 | 14 | 2,4 |
| <i>35 a 30%</i> | 54 | 48 | 74 | 12 | 2,4 |
| <i>30% a 25%</i> | 58 | 50 | 65 | 10 | 2,4 |
| <i>25% a 20%</i> | 62 | 51 | 56 | 8 | 2,4 |
| <i>20% a 15%</i> | 66 | 50 | 43 | 6 | 2,4 |
| <i>15% a 10%</i> | 70 | 46 | 27 | 4 | 2,4 |
| <i>Uniformização</i> | 70 | 63 | 70 | 10 | - |
| <i>Condicionamento</i> | 70 | 65 | 79 | 12 | - |

TBS = Temperatura de bulbo seco, TBU = Temperatura de bulbo úmido, UR = Umidade relativa do ar, UE = Umidade de equilíbrio, PS = Potencial de secagem.

Quadro 2 - Programa de secagem para o lenho adulto de *Eucalyptus saligna*.

| Etapa de secagem | TBS (°C) | TBU (°C) | UR (%) | UE (%) | PS (Un.) |
|------------------------|----------|----------|--------|--------|----------|
| <i>Aquecimento</i> | 39 | 38 | 97 | 23 | - |
| <i>Ui a 40%</i> | 39 | 37 | 91 | 20 | 2,0 |
| <i>40% a 35%</i> | 44 | 41 | 83 | 17 | 2,0 |
| <i>35% a 30%</i> | 49 | 45 | 82 | 15 | 2,0 |
| <i>30% a 25%</i> | 54 | 48 | 72 | 12 | 2,0 |
| <i>25% a 20%</i> | 59 | 51 | 66 | 10 | 2,0 |
| <i>20% a 15%</i> | 64 | 51 | 51 | 7 | 2,0 |
| <i>15% a 10%</i> | 68 | 48 | 34 | 5 | 2,0 |
| <i>Uniformização</i> | 68 | 60 | 68 | 10 | - |
| <i>Condicionamento</i> | 68 | 63 | 76 | 12 | - |

TBS = Temperatura de bulbo seco, TBU = Temperatura de bulbo úmido, UR = Umidade relativa do ar, UE = Umidade de equilíbrio, PS = Potencial de secagem.

Quadro 3 - Programa de secagem para o lenho juvenil de *Eucalyptus cloeziana*.

| Etapa de secagem | TBS (°C) | TBU (°C) | UR (%) | UE (%) | PS (Un.) |
|------------------------|----------|----------|--------|--------|----------|
| <i>Aquecimento</i> | 45 | 44 | 97 | 23 | - |
| <i>Ui a 40%</i> | 45 | 42 | 84 | 17 | 2,4 |
| <i>40% a 35%</i> | 48 | 44 | 79 | 14 | 2,4 |
| <i>35% a 30%</i> | 52 | 46 | 72 | 12 | 2,4 |
| <i>30% a 25%</i> | 56 | 48 | 64 | 10 | 2,4 |
| <i>25% a 20%</i> | 60 | 49 | 55 | 8 | 2,4 |
| <i>20% a 15%</i> | 65 | 49 | 43 | 6 | 2,4 |
| <i>15% a 10%</i> | 69 | 45 | 27 | 4 | 2,4 |
| <i>Uniformização</i> | 69 | 61 | 70 | 10 | - |
| <i>Condicionamento</i> | 69 | 64 | 79 | 12 | - |

TBS = Temperatura de bulbo seco, TBU = Temperatura de bulbo úmido, UR = Umidade relativa do ar, UE = Umidade de equilíbrio, PS = Potencial de secagem.

Quadro 4 - Programa de secagem para o lenho adulto de *Eucalyptus cloeziana*.

| Etapa de secagem | TBS (°C) | TBU (°C) | UR (%) | UE (%) | PS (Un.) |
|------------------------|----------|----------|--------|--------|----------|
| <i>Aquecimento</i> | 42 | 41 | 97 | 23 | - |
| <i>Ui a 40%</i> | 42 | 39 | 84 | 17 | 2,3 |
| <i>40% a 35%</i> | 46 | 42 | 81 | 15 | 2,3 |
| <i>35% a 30%</i> | 50 | 45 | 76 | 13 | 2,3 |
| <i>30% a 25%</i> | 54 | 47 | 68 | 11 | 2,3 |
| <i>25% a 20%</i> | 58 | 49 | 61 | 9 | 2,3 |
| <i>20% a 15%</i> | 63 | 50 | 50 | 7 | 2,3 |
| <i>15% a 10%</i> | 68 | 48 | 34 | 5 | 2,3 |
| <i>Uniformização</i> | 68 | 60 | 67 | 10 | - |
| <i>Condicionamento</i> | 68 | 62 | 77 | 12 | - |

TBS = Temperatura de bulbo seco, TBU = Temperatura de bulbo úmido, UR = Umidade relativa do ar, UE = Umidade de equilíbrio, PS = Potencial de secagem.

6 – CONCLUSÕES

Com base nos resultados e discussão desenvolvidos neste trabalho para os lenhos juvenil e adulto de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana*, pôde-se concluir o seguinte:

A – As diferenças entre as características do lenho juvenil e adulto em *Eucalyptus saligna* são mais marcantes do que em *E. cloeziana*.

B – Os lenhos adultos de *E. saligna* e *E. cloeziana* necessitaram de maior tempo para secagem total, sendo 42% maior que no lenho juvenil de *E. saligna* e 26% maior que no lenho juvenil de *E. cloeziana*.

C – Os lenhos juvenis de *E. saligna* e *E. cloeziana* apresentaram maior velocidade de secagem total, sendo 68% maior que no lenho adulto de *E. saligna* e 26% maior que no lenho adulto de *E. cloeziana*.

D – Menores comprimento e espessura da parede das fibras; maiores frequências e menores diâmetros de vasos encontrados nos lenhos juvenis de *E. saligna* e *E. cloeziana* se mostraram associados a maiores velocidades de secagem total e de água de adsorção.

E – Maiores comprimento e espessura da parede das fibras; menores frequências e maiores diâmetros de vasos encontrados nos lenhos adultos de *E. saligna* e *E. cloeziana* se mostraram associados à menor ocorrência de rachaduras de topo.

F – Foram desenvolvidos programas de secagem para os lenhos juvenil e adulto de *E. saligna* e *E. cloeziana*, sendo o programa para lenho adulto de *E. saligna*

mais suave do que o desenvolvido para o lenho juvenil dessa espécie. É observada semelhança entre os programas de secagem para os lenhos juvenis de *E. saligna* e *E. cloeziana*, indicando possibilidade de agrupamento dessas madeiras para submetimento à secagem convencional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, S. A.; CHUN, S. K. Permeability of *Tectona grandis* L. as affected by wood structure. **Wood Science and Technology**, New York, v. 45, n. 3, p. 487-500, Aug. 2011.

ALZATE, S. B. A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis* x *E. urophylla***. 2004. 133 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

ANDRADE, A. **Indicação de programas de secagem convencional de madeiras**. 2000. 72 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

ASSIS, T. F. **Estratégias de melhoramento para a obtenção de madeira de qualidade para laminação e serraria**. [S.l.: s.n.], 2007. Disponível em: <<http://www.celso-foelkel.com.br>>. Acesso em: 16 dez. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941-02: determinação da densidade básica em madeira**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

BARAUNA, 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, out./dez. 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. 2005.

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. **A madeira das espécies de eucalipto como matéria prima para a indústria de celulose e papel**. Brasília: PRODEPEF, 1976. (Série de Divulgação, 13).

BATISTA, D. C. **Qualidade da secagem convencional conjunta da madeira de nove clones do gênero *Eucalyptus***. 2009. 105 p. 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**. 1989. 100 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

BRENNAN, L. J.; FRICKE, K. W.; KAUMAN, W. G. Pre-drying in Australia. **The Australian Timber Journal**, Sidney, v. 32, n. 11, p. 360-364, 1966.

BROWN, M. J.; MCWILLIAMS, W. H. Pine stands across the South - trends and projections. In: SOUTHERN PLANTATION WOOD QUALITY WORKSHOP, 1989, Athens. **Proceedings...** Asheville: Southeastern Forest Experiment Station, 1990. p. 1-15.

CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D.; ASSIS, P. P. Mensuração do comprimento das fibras para a determinação da madeira juvenil em *Eucalyptus citriodora*, **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, p. 113-121, ago. 2005.

CARVALHO, A. M. **Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha**. 2000. 138 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

CHRISTENSEN, F. J. High temperature drying of hardwoods increases kiln throughput. **Forest Products Newsletters**, [S.l.], n. 2, out. 1985.

CHRISTENSEN, F. J. Recent research on the high temperature drying of sawn *Eucalyptus delegatensis* below fibre saturation point. In: FOREST PRODUCTS RESEARCH CONFERENCE, 21., 1984, Clayton. **Proceedings...** Clayton: [s.n.], 1984.

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

DROIN, A.; TAVERDET, J. L.; VERGNAUD, J. M. Modeling the kinetics of moisture adsorption by wood. **Wood Science and Technology**, New York, v. 22, n. 1, p. 11-20, Jan. 1988.

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnologia da madeira: retratibilidade**. Santa Maria: Editora da UFSM, 1992. (Série Técnica, 10).

ELLWOOD, E. L.; ECKLUND, B. A. The effect of organic liquids on collapse and shrinkage of wood. I .Effects of degrees of replacement. **Forest Products Journal**, Madison, v. 13, n. 7, p. 291-298, 1963.

ENGELUND, E. T. et al. A critical discussion of the physics of wood–water interactions. **Wood Science and Technology**, New York, v. 47, p. 141-161, 2013.

FERNANDES, P. S. **Variações de densidade da madeira e suas relações com as tensões de crescimento em progênie de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake**. 1982. 85 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1982.

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

HILDEBRAND, R. **Kiln drying of sawn timber**. Berlin: Maschinenbau GmbH, 1970.

HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. (Ed.). **Eucalypts for wood production**. Melbourne: CSIRO, 1978.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 10, n. 3, p. 210-232, 1989.

JANKOWSKY, I. P. Equipamentos e processos para secagem de madeiras. In. SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** Piracicaba: IPEF, 1995. p. 109-118.

JANKOWSKY, I. P. **Fundamentos de secagem de madeiras**. Piracicaba: ESALQ, 1990. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/docflorestais/cap10.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2013.

JANKOWSKY, I. P.; BILIA, F. A. C.; DUCATTI, M. A. **Ensaio rápido para a seleção de programas de secagem**. Piracicaba: CNPq, 1997. (Relatório técnico CNPq 510555/93-4).

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ, W. A. **Principles of wood science and technology**: solid wood: volume I. New York: Sprigerm, 1968.

LEONELLO, E. C.; PALMA, H. A. L.; BALLARIN, A. W. Delimitação da madeira juvenil e adulta de *Eucalyptus grandis* em São Paulo, Brasil. **Revista Forestal Venezolana**, Venezuela, v. 52, n. 1, p. 93-98, jan. 2008.

LIMA, J. T. et al. **Morfologia das fibras de madeira de árvores adultas de *Eucalyptus* em função da idade cambial**. Lavras: [s.n.], 2015. (Não publicado).

LONGUI, E. L. et al. Variação radial das características anatômicas, densidade aparente, teores de extrativos, lignina e holocelulose na madeira de *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) Macbr. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 341-353, set. 2010.

LOPES, G. A.; GARCIA, J. N. Densidade básica e umidade natural da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, de Itatinga, associadas aos padrões de casca

apresentados pela população. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 30, n. 62, p. 13-23, dez. 2002.

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

MONTEIRO, T. C. **Efeito da anatomia no fluxo da água em madeira de *Eucalyptus* e *Corymbia***. 2014. 130 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

OLIVEIRA, E. de. **Correlações entre parâmetros de qualidade da madeira e do carvão de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex-Maiden)**. 1988. 47 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

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

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de Eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 115-127, jan./fev. 2005.

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

OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 929-936, set./out. 2010.

PALMA, H. A. L.; BALLARIN, A. W. Propriedades de contração na madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 31, n. 64, p. 13-22, dez. 2003.

PALMA, H. A. L.; LEONELLO, E. C.; BALLARIN, A. W. Demarcação da madeira juvenil e adulta de *Corymbia citriodora*. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 3, p. 141-148, jul. 2010.

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

PELOZZI, M. M. A. et al. Propriedades físicas dos lenhos juvenil e adulto de *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii* e de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 305-313, abr./jun. 2012.

PRATT, G. H. **Timber drying manual**. London: Department of the Environment, 1974.

RASMUSSEN, E. F. **Dry kiln: operator's manual**. Madison: Forest Products Laboratory, 1961.

REZENDE, R. N. **Secagem de toras de clones de *Eucalyptus* empregados na produção de carvão**. 2009. 178 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SANTINI, E. J. Métodos de secagem de madeira. In: SEMINÁRIO SOBRE SECAGEM DE MADEIRA, 1., 1992, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Editora da UFSM, 1992. p. 47-59.

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

SEVERO, E. T. D. Qualidade da secagem de madeira serrada de *Eucalyptus dunnii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 109-124, jan./jun. 2000.

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

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 2002. 160 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SIMPSON, W. T. **Dry kiln operator's manual**. Madison: Madison-Wisconsin, 1991.

SKAAR, C. J. **Water in wood**. Syracuse: Syracuse University, 1972.

SOUSA JUNIOR, W. P. **Propriedades físicas, mecânicas e anatômicas das madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e de *Eucalyptus urophylla* oriundas dos municípios de Turmalina e de Paraopeba (MG)**. 2004. 64 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

SUSIN, F. **Avaliação de programas de secagem para madeiras de eucalipto elaborados com base em testes prévios a alta temperatura**. 2012. 161 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2012.

TERAZAWA, S. Methods for easy determination of kiln drying schedule of wood. **Wood Industry**, Pullman, v. 20, n. 5, p. 216-226, 1965.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenoides*. **Revista IPEF**, Piracicaba, v. 15, n. 36, p. 35-42, ago. 1987.

VITAL, B. R. et al. Características de crescimento das árvores e de qualidade da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* para a produção de carvão vegetal. **Revista IPEF**, Piracicaba, v. 24, n. 47, p. 22-28, maio 1994.

ZANUNCIO, A. J. V. et al. Relação entre densidade e secagem de toras de *Eucalyptus*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 14, 2014, Natal. **Anais...** Natal: Editora da UFRN, 2014. 1 CD ROM.

ZOBEL, B. Wood quality from fast grow plantations. **Tappi Journal**, Atlanta, v. 64, n. 1, p. 120-135, 1981.