

GUSTAVO FAGGIANI TOMIO

**AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA DE
Eucalyptus benthamii Maiden et Cambage COM 23 ANOS DE IDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Alexsandro Bayestorff da Cunha

Coorientadora: Prof^a. Dra. Martha Andreia Brand

**LAGES, SC
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Tomio, Gustavo
AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA DE
Eucalyptus benhtamii Maiden et Cambage COM 23 ANOS DE
IDADE / Gustavo Tomio. -- 2020.
110 p.

Orientador: Alexsandro Bayestorff da Cunha
Coorientadora: Martha Andreia Brand
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2020.

1. Eucalyptus spp.. 2. Classes Diamétricas. 3. Sistema de
Desdobro. 4. Propriedades Tecnológicas. 5. Secagem. I. Bayestorff
da Cunha, Alexsandro . II. Brand, Martha Andreia. III. Universidade
do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título.

GUSTAVO FAGGIANI TOMIO

**AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA DE
Eucalyptus benhtamii Maiden et Cambage COM 23 ANOS DE IDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador:

Prof. Dr. Alexsandro Bayestorff da Cunha
Universidade do Estado de Santa Catarina

Coorientadora:

Prof^a. Dra. Martha Andreia Brand
Universidade do Estado de Santa Catarina

Banca examinadora:

Prof^a. Dra. Bruna Veridiana Müller – Membro Externo
Instituto Federal Catarinense - IFC

Prof.^a Dra. Karina Soares Modes – Membro Externo
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Magnos Alan Vivian – Membro Externo - Suplente
Universidade Federal de Santa Catarina

Lages, 30 de novembro de 2020

RESUMO

As espécies do gênero *Eucalyptus* ocupam a maior parte dos reflorestamentos no Brasil, no entanto, nas regiões de clima frio e com ocorrência de geadas, têm restrição de desenvolvimento. Nos últimos anos, empresas tem investido em pesquisas com plantios experimentais com espécies que toleram as características mencionadas, como o *Eucalyptus benthamii*, no entanto, os estudos estão voltados para a silvicultura e para a caracterização tecnológica em reflorestamentos com ciclo curto, o que tem proporcionado uma subutilização da madeira. O objetivo do estudo foi avaliar as propriedades tecnológicas e o desempenho nos processos de desdobro e secagem do *E. benthamii* em ciclo longo, 23 anos. Foram utilizadas 5 árvores de um plantio experimental, localizado na cidade de Lages, Santa Catarina. De cada árvore, a primeira tora foi direcionada para a determinação das propriedades físicas e mecânicas, seguido de um disco no DAP para densidade básica e de uma sequência de toras com 2,40 m de comprimento, que foram destinadas a avaliação dos processos de desdobro e secagem. A determinação das propriedades físicas e mecânicas seguiu os procedimentos descritos nas normas COPANT. Para a análise dos processos de desdobro e secagem, as toras foram divididas em quatro classes diamétricas, sendo desdobradas pelos métodos tangencial e radial. As peças de madeira serrada provenientes dos oito tratamentos (classe e desdobro), foram secas ao ar livre até atingirem a umidade de equilíbrio. As peças verdes, geradas no desdobro foram avaliadas pelo rendimento bruto e líquido, e pelos defeitos inerentes a madeira e ao processamento, conforme NBR 14806 (ABNT, 2002). Na secagem, as peças provenientes de cada método de desdobro, independentemente da classe diamétrica das toras, também foram avaliadas de forma qualitativa em suas dimensões e defeitos, pela taxa de secagem e pela interação com a variáveis ambientais. A última etapa do estudo foi a elaboração de programas de secagem para as peças tangenciais e radiais, tendo como referência a metodologia de secagem drástica adaptado por Ciniglio (1998). Como resultados, obtiveram-se valores médios de densidade aparente e básica de 740 kg.m^{-3} e 610 kg.m^{-3} , respectivamente, o que classifica a madeira na idade avaliada como moderadamente pesada, e anisotropia de contração de 2,5. Quanto as propriedades mecânicas, os resultados obtidos foram satisfatórios e de acordo com as espécies comerciais do mesmo gênero. Assim, a madeira, segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997), pode ser enquadrada na Classe C20. O rendimento médio bruto do desdobro das toras foi de 54,75%, com influência significativa da classe diamétrica. Na classificação, a maior parte das peças foi enquadrada na quarta e 5ª classes. O processo de secagem ao ar livre teve a duração de 196 dias, com taxa de secagem superior das peças radiais somente até atingir 30% de umidade. Na secagem, o teor de umidade final médio foi 17,96%, com influência da temperatura, da umidade relativa e da umidade de equilíbrio. Na avaliação qualitativa das peças verdes e secas, observou-se influência do teor de umidade nas dimensões e na ocorrência de empenamentos e rachaduras. Nas dimensões, a largura foi influenciada pela classe diamétrica e pelo sistema de desdobro. Os defeitos de processamento também foram influenciados pela classe diamétrica das toras, pelo sistema de desdobro e por suas interações. Os programas de secagem elaborados foram similares e conservadores para peças tangenciais e radiais. Pode-se inferir que, após a execução do presente estudo, a madeira do *E. benthamii* em rotação longa pode ser utilizada para usos múltiplos, inclusive para produtos sólidos.

Palavras-chave: *Eucalyptus* spp; Classes diamétricas; Sistema de desdobro; Propriedades tecnológicas; Secagem; Tolerância ao frio

ABSTRACT

The species of the genus *Eucalyptus* occupy most of the reforestation in Brazil, however, in regions of cold climate and with the occurrence of frosts, they have development restriction. In recent years, companies have invested in research with experimental plantings with species that tolerate the mentioned characteristics, such as *Eucalyptus benthamii*, however, the studies are focused on silviculture and technological characterization in reforestations with short cycle, which has provided underutilization of wood. The objective of the study was to evaluate the technological properties and performance in the unfolding and drying processes of *E. benthamii* in a long cycle, 23 years. Trees from an experimental plantation, located in the city of Lages, Santa Catarina, were used. From each tree, the first log was used to determine the physical and mechanical properties, followed by a disk in the DAP for basic density and a sequence of logs 2.40 m long, which were used to evaluate the splitting processes and drying. The determination of physical and mechanical properties followed the procedures described in the COPANT standards. For the analysis of the split and drying processes, the logs were divided into four diametric classes, being split by the tangential and radial methods. The pieces of sawn wood from the eight treatments (class and unfolding), were dried in the open air until they reached equilibrium humidity. The green pieces generated during the unfolding were evaluated by gross and net yield, and by the defects inherent in wood and processing, according to NBR 14806 (ABNT, 2002). In drying, the pieces from each split method, regardless of the diameter class of the logs, were also qualitatively evaluated in terms of their dimensions and defects, due to the drying rate and the interaction with environmental variables. The last stage of the study was the elaboration of drying programs for tangential and radial parts, having as reference the drastic drying process proposed by Ciniglio (1998). As a result, average values of apparent and basic density of 740 kg.m⁻³ and 610 kg.m⁻³, respectively, which were classified as moderately heavy, and contraction anisotropy of 2.5. Regarding the mechanical properties, the results obtained were satisfactory and according to the commercial species of the same genus. Thus, wood, according to NBR 7190 (ABNT, 1997), can be classified in Class C20. The average gross yield of the log splitting was 54.75%, with a significant influence of the diametric class. In the classification, most of the pieces were classified in classes 4 and 5. The drying process in the open air lasted 196 days, with a higher drying rate of the radial pieces only until reaching 30% humidity. In drying, the average final moisture content was 17.96%, influenced by temperature, relative humidity and equilibrium humidity. In the qualitative assessment of green and dry parts, an influence of the moisture content on the dimensions and the occurrence of warping and cracks was observed. In dimensions, the width was influenced by the diametric class and the unfolding method. Processing defects were also influenced by the log diameter class, the split method and their interactions. The drying programs developed were similar and conservative for tangential and radial parts. It can be inferred that after the execution of the present study, *E. benthamii* wood in long rotation can be used for multiple uses, including for solid products.

Key-words: *Eucalyptus* spp species resistant to cold and frost; diametric classes and unfolding systems; technological properties; unfolding and drying.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades mecânicas do <i>E. benthamii</i> e do <i>E. grandis</i>	18
Tabela 2 - Valores médios de densidade básica e aparente do presente estudo e registro na literatura para a mesma espécie e gênero	41
Tabela 3 – Valores médios de retratibilidade e anisotropia de contração do presente estudo e registro na literatura para a mesma espécie e gênero	43
Tabela 4 – Valores médios para as propriedades mecânicas.....	48
Tabela 5 – Plano experimental - classes diamétricas e sistemas de desdobro.....	58
Tabela 6 – Análise de variância para o rendimento bruto e líquido do desdobro.....	63
Tabela 7 - Rendimento do processo de desdobro – madeira serrada verde.....	65
Tabela 8 – Porcentagem de peças de madeira serrada por classe de qualidade.....	68
Tabela 9 – Caracterização dos defeitos analisados em cada classe diamétrica.....	68
Tabela 10 – Teor de umidade das amostras controle.....	72
Tabela 11 – Taxas de secagem para os dois métodos de desdobro.....	73
Tabela 12 - Análise de variância para dimensões e defeitos de processo.....	79
Tabela 13 – Largura das peças verdes e secas.....	79
Tabela 14 – Espessura das peças verdes e secas.....	81
Tabela 15 – Arqueamento das peças verdes e secas.....	82
Tabela 16 – Encurvamento das peças verdes e secas.....	84
Tabela 17 – Encanoamento das peças verdes e secas.....	86
Tabela 18 – Rachaduras das peças verdes e secas.....	87
Tabela 19 – Notas atribuídas as rachaduras de topo após secagem drástica.....	99
Tabela 20 – Valores médios obtidos no ensaio de secagem drástica.....	102
Tabela 21 – Programa de secagem para peças tangenciais.....	105
Tabela 22 – Programa de secagem para peças radiais.....	105
Tabela 23 – Parâmetros de secagem para espécies do gênero <i>Eucalyptus</i> spp.....	106

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Desdobro tangencial.....	58
Figura 2 – Desdobro radial.	59
Figura 3 – Secagem ao ar livre das peças de madeira serrada de <i>E. benthamii</i>	60
Figura 4 – Representação da retirada das amostras para teor de umidade.....	61
Figura 5 – Posicionamento das amostras controle em um dos lados grade	62
Figura 6 – Curvas de secagem ao ar livre.....	73
Figura 7 – Relação entre sistema de desdobro e condições de secagem.....	75
Figura 8 – <i>Layout</i> de retirada dos corpos de prova das peças de madeira serrada.....	98

SUMÁRIO

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO, OBJETIVOS E REVISÃO DE LITERATURA.....	11
1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo geral.....	13
2.2 Objetivos específicos.....	13
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
3.1 O gênero <i>Eucalyptus</i>.....	14
3.1.1 <i>Eucalyptus benthamii</i> Maiden et Cambage.....	16
3.2 Desdobro da madeira.....	18
3.3 Tensões de crescimento.....	19
3.4 Processamento mecânico da madeira de <i>Eucalyptus</i> spp.....	20
3.5 Secagem da madeira de <i>Eucalyptus</i> spp.....	23
3.6 Avaliação e condução do processo de secagem.....	27
3.7 Programa de secagem.....	27
3.7.1 Elaboração do programa de secagem.....	28
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31
CAPÍTULO II – PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS.....	38
1 INTRODUÇÃO	38
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	39
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
3.1 Propriedades Físicas.....	40
3.2 Propriedades mecânicas.....	45
4 CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
CAPÍTULO III - RENDIMENTO E QUALIDADE DOS PROCESSOS DE DESDOBRO E SECAGEM TORAS / MADEIRA SERRADA.....	54
1 INTRODUÇÃO.....	54
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	57

2.1 Matéria-prima.....	57
2.2 Sistemas de desdobro.....	58
2.2.1 <i>Desdobro tangencial.....</i>	58
2.2.2 <i>Desdobro radial.....</i>	58
2.3 Avaliação dos processos de desdobro.....	59
2.3.1 <i>Avaliação quantitativa.....</i>	59
2.3.2 <i>Avaliação qualitativa.....</i>	60
2.4 Secagem.....	60
2.4.1 <i>Preparo do material.....</i>	60
2.4.2 <i>Monitoramento do teor de umidade.....</i>	61
2.5 Avaliação do processo de secagem.....	62
2.6 Análise dos dados.....	63
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
3.1 Avaliação do processo de desdobro – rendimento.....	63
3.1.1 <i>Rendimento bruto por classe de qualidade.....</i>	67
3.2 Avaliação do processo de secagem.....	72
3.2.1 <i>Taxas de secagem</i>	72
3.2.2 <i>Taxas / velocidade de secagem X condições ambientais.....</i>	74
3.3 Avaliação qualitativa dos processos de desdobro e secagem.....	78
3.3.1 <i>Largura.....</i>	79
3.3.2 <i>Espessura.....</i>	81
3.3.3 <i>Arqueamento.....</i>	82
3.3.4 <i>Encurvamento.....</i>	83
3.3.5 <i>Encanoamento.....</i>	85
3.3.6 <i>Rachaduras.....</i>	87
4 CONCLUSÃO.....	88
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	91
CAPÍTULO IV - PROGRAMA DE SECAGEM.....	95
1 INTRODUÇÃO.....	95
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	97
2.1 Matéria-prima.....	97
2.2 Determinação dos teores de umidade e da densidade básica.....	98
2.3 Ensaio de determinação do programa de secagem.....	98

2.4 Análise dos dados.....	100
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	101
3.1 Variáveis analisadas durante a secagem drástica dos corpos de prova.....	101
3.2 Programa de secagem elaborados para peças tangenciais e radiais.....	104
4 CONCLUSÃO.....	108
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO, OBJETIVOS E REVISÃO DE LITERATURA

1 INTRODUÇÃO

A introdução das primeiras espécies de *Eucalyptus* spp. no Brasil data do ano de 1825 no jardim botânico do Rio de Janeiro, com os primeiros exemplares de *Eucalyptus gigantea*, e entre os anos de 1861 a 1863 na cidade de São Paulo com a espécie *E. globulus*. No início, as árvores eram plantadas com fins decorativos, como quebra ventos e para obtenção de óleos essenciais. Os primeiros usos, em grande escala deste gênero, se deram pela sua utilização na indústria ferroviária, como combustíveis para as locomotivas da época. Foi a partir da década de 60, que se percebeu, que espécies diferentes forneciam madeiras para fins distintos, como lenha, carvão, postes, dormentes, vigas, celulose e papel, óleos essenciais, entre outros. Identificavam-se também, as sensibilidades e tolerâncias diversas, como ao clima, ao solo e ao déficit hídrico (FOELKEL, 2005).

Concomitantemente, o avanço na tecnologia industrial, viabilizou a produção de celulose e papel em nível mundial, por meio da implantação de fábricas de última geração. Fora do seu local de ocorrência natural, o *Eucalyptus* apresenta grande importância comercial em países como África do Sul, China, Índia e Brasil, destacando-se também, porém de forma mais discreta, no Centro e Norte da África e nos países mediterrâneos (EUCLID, 2017).

Atualmente, o gênero *Eucalyptus* ocupa 5,7 milhões de hectares, tendo papel importante em diversos setores da indústria, desde a construção civil até a moveleira (IBÁ, 2019). De acordo com Flores et al., (2016), estima-se que este gênero compreende uma gama superior a 800 espécies. Destas, somente 20 são destinadas para uso de forma econômica (EMBRAPA, 2014).

A ocorrência de geadas é um dos principais fatores limitantes para o plantio de espécies de *Eucalyptus* spp. fora de seu habitat natural. Além de danos diretos, como morte total ou parcial da copa e até a morte da planta, os danos indiretos, que são os mais frequentes, podem não apenas restringir o potencial de crescimento das plantas, como inviabilizar formação de povoamentos comerciais (HIGA et al., 1997).

Nos últimos anos, várias empresas da região sul do Brasil, vem investindo em plantios experimentais com espécies do gênero *Eucalyptus*, de forma a verificar as exigências edafoclimáticas, incremento volumétrico, além das propriedades tecnológicas e os comportamentos nos diversos processos industriais. Entre estas espécies, destaca-se o *E. deanei*, o *E. dorrigensis*, o *E. dunnii*, o *E. smithii* e principalmente o *E. benthamii*.

O *E. benthamii* é uma espécie com particularidades que a torna distinta, dentre as outras deste gênero. Foi implantada no Brasil pela EMBRAPA florestas em 1988, tendo, no sul do país, demonstrado bom crescimento e resistência a geadas (EMBRAPA, 1988). No entanto, de acordo com Higa & Pereira (2003), são escassos os resultados de plantios com a espécie e, além disso, os usos da madeira ainda estão sendo avaliados (PALUDZYSZYN Filho et al., 2006).

A maior parte dos estudos com *E. benthamii* está voltada para programas de melhoramento genético, sobrevivência ao frio e a geadas, taxas de crescimento e caracterização tecnológica em ciclos curtos de rotação podendo-se citar Müller et al., (2014), Brondani et al., (2010), Nigoski (1998), Cunha et al., (2015), Lima et al., 2011 e Benin et al., (2017).

No Brasil, a produção de madeira de eucalipto tem sido feita em ciclos curtos, com o corte raso aos 6 ou 7 anos de idade. Porém, as plantações florestais de eucalipto, quando manejadas através de desbastes seletivos e ciclos longos de produção, podem produzir toras de madeira com maiores dimensões e destinadas à indústria moveleira. Através de ciclos longos, busca-se melhorar as características da madeira produzida, agregar-lhe maior valor econômico e diminuir o impacto da colheita florestal (KOLM, 2003).

Ciclos curtos de rotação não demonstram muitas vezes o uso da madeira para fins mais amplos, como para a indústria de serrados e construção civil. As avaliações de propriedades tanto físicas e mecânicas para espécies de ciclo curto de rotação subestimam o potencial da espécie na produção de madeira serrada e aplicação estrutural ou usos em que a estabilidade dimensional seja uma característica de interesse.

Aliado a isto, o crescimento da espécie em locais de ocorrências de geadas e por consequência, de baixas temperaturas, já é conhecido e tendo em vista as satisfatórias propriedades mecânicas existentes no gênero, pode-se considerar que seu uso tende a se

adequar as mais diversas finalidades, tornando-a uma espécie com potencial de estudo e uso.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar as propriedades tecnológicas e o desempenho nos processos de industrialização da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden at Cambage em rotação longa (23 anos).

2.2 Objetivos Específicos

Determinar as propriedades físicas e mecânicas;

Avaliar o rendimento em madeira serrada após o processo de desdobro e secagem;

Identificar e quantificar os defeitos gerados no processo de desdobro e secagem do material;

Avaliar o efeito da classe diamétrica e dos sistemas de desdobro na qualidade e no rendimento em madeira serrada após o desdobro e após a secagem.

Elaborar um programa de secagem para a espécie, baseado na metodologia de secagem drástica.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 O gênero *Eucalyptus*

No Brasil, o gênero *Eucalyptus* foi introduzido a partir da década de 60, onde políticas de incentivos foram instituídas, fornecendo o conhecimento de espécies mais adequadas, assim como as vantagens de plantar culturas florestais (JANKOWSKY et al., 2000). Ferreira (1989) afirmou que os primeiros plantios ocorreram, de fato em 1968, no estado de Rio Grande do Sul.

Segundo Mendonza (2000), a utilização inicialmente da madeira deste gênero era com o intuito da geração de biomassa para combustíveis de locomotivas. Porém, com o passar do tempo, levando em conta o ótimo desenvolvimento da espécie e o crescimento de florestas plantadas, o nicho dela no mercado se expandiu para diversas áreas de grande importância econômica.

As espécies utilizadas no momento, em função das características de suas madeiras são: *E. grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla*, híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* e *E. dunnii* (região Sul do Brasil). Na região Sul, também se destaca o potencial de utilização do *E. benthamii*, devido a sua tolerância a geadas (EMBRAPA, 2014).

Além de seu rápido crescimento, as espécies que compõe este gênero, são passíveis de serem adaptadas a diversos ecossistemas e regiões de nosso país, além de ter propriedades físicas e mecânicas que possibilitam seu uso nos mais variados nichos de mercado (EMBRAPA, 2014).

Dados do IBÁ de 2020 mostram que no ano de 2019, a produtividade média anual do gênero foi de 35,3,0 m³/ha.ano. No mesmo ano, os plantios de eucalipto ocuparam 6,97 milhões de hectares, estando na frente das demais espécies importantes economicamente para o Brasil, como o pinus, seringueira, acácia, teca e paricá.

A localização destes plantios está mais fortemente concentrada nos estados de Minas Gerais (24%), São Paulo (17%) e Mato Grosso do Sul (16%). Nos últimos sete anos, o crescimento médio da área de eucalipto foi de 1,1% ao ano, com o Mato Grosso do Sul liderando esta expansão, que sozinho apresentou uma taxa média de crescimento de 7,4% ao ano. Dos usos relacionados a este gênero, os que tem mais evidência nos dias de hoje são o de celulose e papel, carvão, lenha industrial e madeira tratada, dando destaque ao setor de celulose e papel, onde o Brasil se consolidou no ano de 2018 como

o segundo maior produtor mundial deste nicho, perdendo somente para os EUA (IBÁ, 2020).

Os usos da espécie, vão além dos mencionados anteriormente, possuindo outras formas de uso que podem contribuir na renda do produtor ou na sustentabilidade de sua propriedade. Algumas espécies do gênero produzem óleos essenciais, os quais geram produtos de higiene e limpeza, ou estão presentes em fármacos ou alimentos. Produtos agrícolas como mel, própolis e a chamada geléia real resultantes das floradas melíferas são bastante apreciadas no mercado atual. Além destes benefícios diretos, o eucalipto, pode, indiretamente, ajudar nos ciclos naturais do ecossistema produtivo, sendo efetivo na diminuição da erosão, cobertura do solo, aumento da infiltração de água, ciclagem de nutrientes e uma boa interação quando colocado em um sistema silvipastoril (SILVA et al., 2009).

Este gênero, possui uma vasta disponibilidade de indicações e orientações de seus usos e técnicas para o cultivo. Porém, a sua produtividade demanda de um estudo detalhado sobre a área em que se deseja realizar o plantio, sendo esta uma das determinantes principais para qual espécie escolher. O clima da região é um dos aspectos técnicos mais importantes a serem levados em conta na hora da escolha da espécie potencial (SILVA et al, 2009).

Dentre as espécies com maior produtividade, na maior parte da extensão territorial do Brasil, estão o *E. grandis*, *E. saligna* e *E. urophylla*, os quais, possuem grande êxito em relação a sua adaptação e produtividade. Porém, são sujeitos aos danos causados pela geada, por não tolerarem as temperaturas baixas de regiões específicas de nosso país (SILVA et al., 2009).

Um dos maiores impasses para a produção das espécies do gênero, é o fato de que estas são sensíveis a temperaturas extremamente baixas, embora existam variações entre e dentro de espécies. O gênero *Eucalyptus*, geralmente não tolera temperaturas abaixo de -20 °C. A maioria sofre danos abaixo de 0 °C e somente poucas sobrevivem com temperaturas entre -15 °C e -18 °C (TURNBULL; NELDRIDGE, 1983).

Dentre as espécies catalogadas com maior potencial para o uso em baixas temperaturas, tem-se o *Eucalyptus dunnii* Maiden, *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage, *Eucalyptus deanei* Maiden, *Eucalyptus dorrigoensis* (Blakely) L. A. S. Johnson & K. D. Hill, *Eucalyptus smithii* R. T. Baker Smith (Higa et al., 1997).

3.1.1 *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage

Esta espécie é oriunda da Austrália, mais precisamente da cidade de Cambden, onde, a grande maioria dos indivíduos não possui diâmetros pequenos, sendo em sua maioria moderadamente alta, atingindo 36 m de altura e 50 cm de diâmetro. *E. benthamii* é encontrado em áreas limitadas, ao oeste da cidade de Sydney em planícies ao longo do rio Nepean e seus tributários, sendo originalmente advindo de solos férteis, o que o distingue de sua subespécie *E. viminalis*. Seu crescimento se deu naturalmente nas partes planas e de deposição de rios. Na região do Nepean as temperaturas médias máximas, chegam a 26° C e as mínimas até 4° C com ocorrência de leves geadas. Na região, boa parte da população foi retirada para a formação de pastagens e inundada na construção da barragem de Warragamba. Atualmente, coletas de sementes são feitas nas populações restantes, com o objetivo de assegurar o fluxo gênico desta espécie (BALDIN, 2017).

Segundo Stape (1996), o *E. benthamii* é uma espécie indicada para regiões com frios intensos, com temperaturas mínimas de até -10 °C. Sob temperaturas abaixo deste limite podem ocorrer atrasos no crescimento das árvores, porém pouco expressivos.

Essa espécie foi introduzida no Brasil pela Embrapa Florestas, onde, em plantios, tem mostrado elevada resistência a geadas, rápido crescimento, boa forma de fuste e alta homogeneidade do talhão,

Estas características tornam a espécie promissora como opção para reflorestamento, em regiões onde ocorrem geadas frequentes e severas como no sul do Brasil. Há também a possibilidade de a espécie ser utilizada para fins industriais, sendo necessários maiores estudos sobre suas características anatômicas e tecnológicas (NISGOSKI et al., 1998).

A espécie, segundo Baccarin (2012) possui algumas vantagens em relação a outras do gênero, que também possuem resistência ao frio, como o *E. dunnii*, onde, além do baixo crescimento, também possui restrições sanitárias em seus povoamentos, podendo causar prejuízos significativos aos plantios. A mesma espécie, inicia seu processo de florescimento somente aos quinze anos, de forma bastante irregular, quando comparado ao *E. benthamii*, o qual começa seu florescimento aos 6 anos, demonstrando alta regularidade na floração.

A casca persistente é fina, compacta e tende a formar pequenas tiras longitudinais as quais são aderentes apenas em parte. Folhas velhas opostas, sésseis, os

primeiros dois a quatro pares elípticos a ovais; glândulas proeminentes espalhadas na folha e conspícuas no pecíolo. Folhas jovens opostas, sésseis, largamente oblongo ovadas a ovadas, subglaucas, textura moderadamente fina. Folhas intermediárias opostas a subopostas, sésseis ou com pequena haste, lanceoladas; verdes, textura moderadamente fina. Folhas adultas alternas, longas hastes, lanceoladas; verdes, algumas com textura fina (NISGOSKI, 1998).

Segundo Nisgoski (1998), sua madeira possui cerne e alburno distintos, cerne de cor marrom avermelhada e alburno amarelo rosado, dureza moderada, textura fina a média, grã irregular, cheiro e gosto imperceptíveis.

Müller et al., (2014) ao analisar algumas propriedades físicas e mecânicas da espécie *E. benthamii* com 6 anos de idade, encontrou valores médios de 0,52 g/cm³, comparando-se a densidade básica de outras espécies do mesmo gênero.

Nones et al., (2015) ao avaliar as propriedades energéticas da espécie de *E. benthamii* aos 13 anos de idade, chegou em valores de densidade básica médios de 0,50g/cm³.

Benin et al., (2017), ao analisar algumas propriedades físicas e mecânicas da mesma espécie aos 5 anos de idade com diferentes espaçamentos de plantio, chegou em valores médios entre os espaçamentos de 0,50g/cm³.

Aos 7 anos de idade, indicaram densidade básica de 0,48 g/cm³ para a espécie segundo Pereira et al., (2001). Na caracterização tecnológica da madeira dessa mesma espécie para produção de celulose kraft, Alves et al. (2011) encontraram densidade básica da madeira de 0,47g/cm³, em árvores aos 6 anos de idade.

Em relação a retratibilidade, Müller et al., (2014) ao avaliar a espécie com 6 anos de idade, encontrou uma contração longitudinal, radial, tangencial e volumétrica em porcentagem de, respectivamente, 0,53%, 5,91%, 13,87% e 18,52% e um coeficiente de anisotropia de 2,36, para a espécie *E. benthamii*, sendo estes os valores, segundo os autores, superiores a de outras espécies do gênero, sendo portanto mais suscetível a empenamentos e rachaduras no desdobro e na secagem.

Benin et al., (2017) ao analisar a mesma espécie com 6 anos de idade, encontrou valores para a contração radial e tangencial, de 6,63% e 15,04%, respectivamente e um coeficiente de anisotropia de 2,33. Os autores, justificam os valores altos como recorrentes da idade das árvores, por se tratarem de árvores jovens cuja ocorrência de altos valores de retração possivelmente estaria associada às particularidades da madeira juvenil e ao maior ângulo das microfibrilas.

Em relação as propriedades mecânicas, a tabela 1, demonstra alguns valores encontrados na literatura para a espécie *E. benthamii* em duas diferentes idades, assim como a espécie de *E. grandis*. Pode-se verificar um aumento dos valores das propriedades mecânicas com o incremento em idade do material assim como certa similaridade da espécie com outras do gênero.

Tabela 1 – Propriedades mecânicas do *E. benthamii* e do *E. grandis*.

Propriedades		<i>E. benthamii</i> - 6 anos ¹	<i>E. benthamii</i> 18 anos ²	<i>E. grandis</i> 15 anos ³ ; 17 anos ⁴
Compressão Paralela	fc0 (Kgf/cm ²)	380,76 ¹	422,20 ²	570,02 ³
Flexão Estática	fM (Kgf/cm ²)	851,77 ¹	1009,10 ²	778,55 ³
	EM0 (Kgf/cm ²)	99.469,93 ¹	120.603,90 ²	155.761,62 ³
Cisalhamento	fv (Kgf/cm ²)	116,35 ¹	148,10 ²	104,01 ³
Dureza Janka	fH perp. (Kgf)	574,40 ¹	737,74 ²	664,00 ⁴
	fH paralela (Kgf)	523,89 ¹	689,42 ²	531,00 ⁴

Legenda: 12% de teor de umidade; fc0= resistência à compressão paralela às fibras; fM= resistência à flexão estática; EM0= módulo de elasticidade obtido no ensaio de flexão estática; fv= resistência ao cisalhamento; fH Perpendicular= dureza da madeira na direção perpendicular às fibras; fH Paralela= dureza da madeira na direção paralela às fibras.

Fonte: MÜLLER et al. (2014)¹; MÜLLER. (2018)²; LOBÃO et al., (2004); GONÇALEZ et al., (2006).

Estas características, juntamente com suas propriedades físicas e mecânicas, da espécie ajudam no estabelecimento de plantações comerciais, nas regiões que estão sujeitas a geadas. Desta forma, demandando por material adaptado às condições de ambiente destas regiões de cultivo.

3.2 Desdobro da madeira

O processo de desdobro é caracterizado como a redução da tora inteira, por meio do corte longitudinal, em peças menores de secção retangular ou quadrada geralmente realizado em serrarias (FAGUNDES, 2003).

Dentro do processo produtivo do desdobro, se tem como principal conceito, o rendimento no mesmo, o qual é compreendido pela relação existente entre o volume produzido em madeira serrada e o volume processado de toras. Esta relação está cada vez ganhando mais importância dentro do processo produtivo de uma empresa, pela busca da otimização e diminuição das perdas. No Brasil, cerca de 35% do custo industrial na produção de madeira serrada é tido como matéria prima, ou seja, toras. As técnicas de desdobro buscam minimizar esse gasto e o tempo das atividades, porém,

muitas vezes os fatores inerentes a própria tora, inviabilizam um Rendimento líquido (clear) alto (FAGUNDES, 2003).

A melhor forma da realização destas atividades se relaciona a fatores inerentes ao material árvore e aos equipamentos utilizados nestes processos. Iwakiri (1990) apontou algumas condições importantes e que determinam a qualidade no produto final, sendo elas a densidade; presença e quantidade de minerais; conteúdo de umidade; conicidade dos indivíduos. Já, em relação aos equipamentos utilizados, o mesmo autor citou como de extrema importância o tipo de dente utilizado na serra e sua afiação; relação largura da trava/espessura da lâmina; tensão da lâmina; espaçamento entre os dentes da serra; largura da lâmina.

3.3 Tensões de crescimento

As tensões de crescimento são tidas como um mecanismo existente nas folhosas que possibilita que estas fiquem eretas. As tensões são formadas no câmbio, onde as fibras, após a divisão celular, sofrem uma pequena contração longitudinal. Estas contrações fazem com que as novas camadas de células formadas estejam em condição de tensão de tração. Na parte mais externa do fuste, as tensões são responsáveis por impedir que o mesmo não se quebre facilmente pela ação do vento ou outros esforços laterais (PONCE, 1995).

Com isso, o fuste das folhosas em sua parte externa, possui a tensão longitudinal, e por conseguinte a parte interna a tensão de compressão. Em alguns casos a tensão de compressão interna pode ser tão alta a ponto de ultrapassar a tensão de ruptura, dando origem as fraturas de compressão nas regiões centrais do fuste (PONCE, 1995). Elas originam-se na região cambial dos troncos das árvores, durante a maturação das paredes celulares. Essas tendem a contraírem-se longitudinalmente e, simultaneamente, expandirem-se lateralmente. Sendo essas células parte integrante dos tecidos das árvores, elas são quase que inteiramente impedidas de sofrerem essas alterações dimensionais (Wilhelmy e Kubler, 1973).

As tensões de crescimento se comportam de formas diferentes ao ponto do envelhecimento das árvores. Zobel e Bujtenen (1989) afirmaram que a grande variabilidade nas características do lenho, durante o período de crescimento da árvore, acarreta variações na sua estrutura e nas suas propriedades. Os mesmos autores, ainda dizem que nas camadas mais próximas da medula, o cerne é formado pela madeira

juvenil, com características muito diferentes das camadas mais próximas da casca, que formam a madeira adulta.

3.4 Processamento mecânico da madeira de *Eucalyptus* spp.

A madeira serrada deste gênero possui peculiaridades que demandam cuidados importantes tanto nas atividades de desdobro, como nas de secagem. Estes cuidados são justificados pela presença de grandes tensões internas resultantes de seu crescimento e de sua heterogeneidade física e mecânica. Estes são os principais responsáveis pelos baixos rendimentos no processo de desdobro, uma vez que o gênero tende a apresentar defeitos como rachaduras antes e depois do processo e empenos, podendo estes serem irreversíveis (FERREIRA et al., 2004).

Trugilho (2005) em seus estudos sobre as tensões de crescimento em árvores vivas de clones de *Eucalyptus* spp. e de *E. dunnii* Maiden concluiu que existe tendência de aumento da intensidade das tensões de crescimento longitudinal com a idade do material. De modo geral as propriedades físicas e mecânicas da madeira tenderam a aumentar até os 15 anos de idade e tenderam a estabilizar aos 19 anos devido, provavelmente, a mudança da madeira da fase juvenil para a adulta ou madura. Este fato ocorreu com várias propriedades avaliadas na madeira como, por exemplo, sua densidade básica.

Tanto no desdobro como nas atividades de abate, as toras irão liberar suas tensões de crescimento, sendo as rachaduras de topo e o encurvamento os defeitos mais presentes neste período. A solução adotada por muitas empresas é a utilização de serras simultâneas nos processos de desdobro, aliviando as tensões e diminuindo os defeitos (PONCE; WATAI, 1985).

Estes defeitos são mais agravados, principalmente se as técnicas de corte que favorecem o alívio simétrico e homogêneo de tensões não forem utilizadas. Esse mesmo cuidado deve ser tomado para minimizar a ocorrência de empenamentos de pranchões e tábuas, consequentes do encurvamento da própria tora, frequentemente observado durante a operação de desdobro assimétrico (LISBÔA, 1993). Para produzir madeira serrada deste gênero com bons rendimentos e qualidade deve-se adotar uma técnica de desdobro que compatibilize a matéria prima com os equipamentos existentes na serraria.

Além dos fatores inerentes aos próprios indivíduos, as formas e técnicas de desdobro irão influenciar diretamente no rendimento final do material. Dentre as

técnicas conhecidas, as mais utilizadas são as que resultam em peças tangenciais às camadas de crescimento e as que resultam em tábuas radiais às camadas de crescimento (FERREIRA et al., 2004).

O sistema de desdobro tangencial é caracterizado pela obtenção de tábuas em sua maioria tangenciais aos anéis de crescimento. Porém quando o corte passa em áreas próximas a medula, também são obtidas peças com face radial (FERREIRA et al., 2004). Vermaas (1995) mostra que este é o método mais utilizado pelas empresas, onde se possibilita um melhor aproveitamento da madeira, resultando em tábuas com maiores espessuras e larguras, além de permitir que os empenos resultantes dos processos sejam mais facilmente corrigidos.

O desdobro radial se caracteriza em uma sequência de cortes na tora os quais priorizam a presença de tábuas orientadas radialmente aos anéis de crescimento. Este sistema de desdobro é normalmente adotado para reduzir os efeitos das tensões de crescimento, devido a orientação dos anéis de crescimento favorecer o menor índice de rachaduras. Essa técnica é utilizada principalmente em toras de grandes diâmetros, uma vez que em pequenos diâmetros resulta em grande quantidade de peças de pequena largura. Apesar de mais trabalhoso, o corte radial diminui a contração das tábuas durante o processo de secagem, além de proporcionar vantagens estéticas devido ao desenho da grã da madeira na superfície das peças (VERMAAS, 1995).

Ferreira et al. (2004), fazendo uma comparação entre os métodos de desdobro radial e tangencial em toras de *Eucalyptus grandis* aos 12 anos de idade e *Eucalyptus dunnii* aos 16,5 anos de idade observaram em seus resultados o fato de que defeitos como arqueamento e encurvamento provocados pelas tensões de crescimento foram de menor intensidade em tábuas provenientes do desdobro tangencial. De modo diferente, as rachaduras foram maiores em tábuas provenientes do desdobro tangencial.

Rocha e Tomaselli (2002) ao avaliar o efeito do modelo de desdobro na qualidade da madeira serrada de *E. grandis* e *E. dunni* com 12 anos de idade, concluíram que independente da espécie e da classe diamétrica das toras, o arqueamento e o encurvamento foram mais pronunciados no desdobro radial, sendo observados logo após o desdobro das toras. Por outro lado, as rachaduras foram mais pronunciadas no desdobro tangencial. Porém durante a secagem, as tábuas radiais mostraram-se mais estáveis quanto a rachaduras e somente tábuas tangenciais apresentaram encanoamento.

Cunha et al., (2015) ao avaliar o rendimento de matéria prima de *E. benthamii* com 13 anos de idade por meio de diferentes métodos de desdobro concluiu que tanto

para o rendimento bruto, como para o líquido (peças sem defeitos) os desdobros tangenciais foram superiores em relação aos radiais em classes de diâmetro menores (20 a 25cm), se igualando estatisticamente para as classes de maior diâmetro (25,2 a 30cm).

Müller et al., (2018) analisando sistemas de desdobro na qualidade e rendimento de madeira serrada de *E. benthamii* com 6 anos de idade, concluiu que métodos de desdobro tangenciais possuem maior rendimento bruto. Porém há uma inversão nos valores quando se desconta a quantidade de rachaduras presentes, diminuindo significativamente o rendimento final das tábuas, tendo, neste caso o desdobro radial maior Rendimento líquido (clear).

Outro fator importante inerente ao desdobro da madeira é a sua relação direta entre rendimento e classe diamétrica das toras. Biasi e Rocha (2007), ao estudarem o rendimento de três espécies tropicais, notaram uma tendência de redução do aproveitamento em toras de menores diâmetros, embora não tenham conseguido captar diferenças estatísticas significativas entre as classes diamétricas observadas, e por tal razão recomendaram maior atenção nas operações com essas toras para evitar o desperdício.

A variação do rendimento causada pelo diâmetro da tora é explicada por Viana Neto (1984) onde o autor diz que para obtenção de quantidades desejadas de madeira serrada a partir de toras de diâmetros pequenos, é necessária a movimentação de uma quantidade de peças muito maior, se comparada àquelas oriundas de toras de grandes dimensões. Ainda segundo o mesmo autor, a indústria que trabalha com toras de pequenos diâmetros necessita de um contínuo aperfeiçoamento para que o seu desempenho no aproveitamento da madeira não sofra qualquer prejuízo.

Anjos e Fonte (2016) ao analisarem o rendimento da madeira serrada de espécies do gênero *Eucalyptus* spp. concluíram que de forma geral, o rendimento de madeira serrada mostrou-se diretamente proporcional ao diâmetro médio das toras entre as espécies estudadas e as árvores com DAPs próximos a 35 cm foram as que apresentaram os maiores aproveitamentos em madeira serrada. Os resultados menos expressivos foram obtidos em toras com diâmetros médios próximos a 20 cm.

Carvalho et al., (2019) ao avaliar o rendimento e variedade de produtos no desdobro de toras de *Eucalyptus* spp. concluiu que o desdobro de toras de maior diâmetro resulta em um maior rendimento final do produto.

Semelhante a estes resultados, Santos (2010), estudando o rendimento do desdobro de toras observaram para *E. camaldulensis* com 11 anos de idade, percentual

de 35,33% para a classe diamétrica de 14 a 19,9 cm, e de 40,13% de rendimento para *E. urophylla* com dez anos de idade e diâmetros entre 20 e 25 cm, o que enfatiza a relação entre acréscimo de diâmetro com o aumento de rendimento. Assim, o incremento em diâmetro é, de fato, determinante no aumento do rendimento em madeira serrada, conferindo melhor aproveitamento da tora.

3.5 Secagem da madeira de *Eucalyptus* spp.

Quando o corte da madeira é feito, esta se encontra em níveis de umidades elevados para os padrões de qualidade esperados. A redução do teor de umidade da madeira em uso fornece para a peça vantagens como a prevenção ao ataque de fungos manchadores e apodrecedores, diminui seu peso o que favorece o seu transporte, aumenta sua resistência mecânica e a capacidade de fixação de pregos e até a melhoria de sua superfície quando o objetivo final é a pintura. Contudo, a redução final do teor de umidade deste material impossibilita que este troque de umidade com o ambiente em que é utilizado, prevenindo variações dimensionais da peça e defeitos que possam vir a ocorrer (GOULART et al., 2003).

As tensões de crescimento desenvolvidas na madeira, assim como no desdobro, são a causa principal dos defeitos ocorridos no processo de secagem. Porém, alguns destes tem como motivo as características da madeira e da peça em si, se manifestando durante a perda da umidade, podendo se agravar no decorrer do processo (JANKOWSKY; GALINA, 2013).

Estas tensões, dentre outros problemas, podem gerar defeitos classificados como empenamentos. Segundo Jankowsky e Galina (2013) os empenamentos são quaisquer distorções da peça de madeira em relação aos seus planos originais, sendo estes, caracterizados pela sua forma. Os empenamentos podem ser classificados em: encanoamento, arqueamento, encurvamento e torcimento. Ao se secar a madeira, ela retrairá. Esta ação, quando diferenciadas ao plano original da tábua, causará os empenamentos. A causa básica dos empenamentos está relacionado a características da própria madeira, porém um correto empilhamento e programa de secagem podem minimizar e até eliminar estes defeitos, sendo o contrário, possível se as ações não forem feitas de forma correta.

Devido à alta incidência de tensões de crescimento, a madeira do gênero *Eucalyptus* é seca com maior dificuldade e atenção, para que a qualidade final do

produto atenda os parâmetros exigidos pelas normas e seu processo não resulte em perdas significativas.

Zen (2016) demonstrou que o gênero *Eucalyptus* possui permeabilidade baixa a muito baixa por sua estrutura anatômica conter pontuações de pequenos diâmetros, dificultando o processo de retirada de água livre.

A permeabilidade reduzida, implica em uma necessidade de secagem lenta e no desenvolvimento, durante o processo de gradientes de umidade acima do normal. Esta característica, faz com que a superfície do material alcance níveis de umidade baixos rapidamente, enquanto, em seu interior haja a permanência de níveis elevados de umidade, favorecendo o surgimento de defeitos (VERMAAS, 1998).

A solução encontrada por muitas empresas é a aplicação de baixas temperaturas no início do processo com potenciais de secagem bastante suaves, culminando em temperaturas maiores ao final (JANKOWSKY, 1995).

Na madeira o processo de secagem é dividido em 3 etapas, sendo o primeiro caracterizado pela perda de água na superfície da madeira e o deslocamento da mesma do interior para a superfície do material, sendo este processo desenvolvido por forças de capilaridade e de caráter constante. Até o fim da primeira etapa a madeira perde umidade até seu ponto de saturação das fibras (PSF) variando somente sua massa (ANDRADE, 2000).

O colapso é um defeito resultante do esmagamento das fibras durante a primeira parte do processo da secagem, com a água acima do PSF, muito comum em madeiras tidas como impermeáveis (JANKOWSKY, 2013).

Na segunda etapa ocorre de forma decrescente. Neste ponto, cria-se um gradiente de umidade do centro para fora da madeira gerando energia para aquecer o material. A quantidade de água líquida que chega na superfície é menor que a quantidade de água evaporada. A segunda e a terceira são as etapas onde ocorre a perda da água higroscópica da madeira, que está mais fortemente retida nas paredes celulares. São nestas etapas que a madeira irá variar sua massa, volume, propriedades físicas e mecânicas. Na terceira e última fase, não existe mais água livre dentro do material, sendo a água contida no centro como principal constituinte da madeira, ou seja, a resistência interna torna-se fator fundamental para a finalização do processo (JANKOWSKY, 2000).

As rachaduras são defeitos que podem ser desenvolvidos ou agravados no processo de secagem, onde grandes temperaturas e a falta de uniformização fazem com

que o gradiente de temperatura existente entre a superfície e o interior das peças seja alto, desenvolvendo tanto forças de tração como de compressão, as quais são liberadas na forma de rachaduras e fendilhados.

Os métodos de secagem existentes hoje, seguem duas vertentes, a secagem convencional, ou em estufa, utilizada na maioria das empresas atualmente e a secagem ao ar livre, utilizada de formas mais branda por um pequeno e seletivo número de empresas.

A secagem ao ar livre, é a forma mais barata de diminuir a porcentagem de umidade da madeira, sendo mais demorada, possuindo uma perda maior durante as primeiras semanas (REZENDE et al., 2010) e tendo grande influência do clima para o sucesso da mesma.

Consiste no contato imediato da madeira com teores de umidade relativa e temperatura do ambiente em questão, fazendo com que estes fatores criem um equilíbrio higroscópico entre a madeira e o meio ambiente. É um meio de secagem muito utilizado, não tendo perdas em termos de qualidade do produto final quando comparado com o método de secagem em estufa, porém, dependendo do destino final da madeira, este não se encontra como melhor opção, além de que seu controle é muito instável considerando que pode variar com fatores ambientais como em épocas de temperaturas baixas ou altas (CARVALHO, 2006).

Devido a estes fatores, muitas vezes a secagem ao ar livre é utilizada somente como pré-secagem, para que posteriormente se utilize uma estufa, terminando o processo. Santos (2002) pressupõe a utilização da secagem ao ar livre somente até o ponto de saturação das fibras, passando posteriormente para a secagem convencional. O autor também discorreu que a combinação dos dois tipos de secagem pode levar até 31% a mais do tempo, porém reduz 78% do tempo de ocupação da estufa, resultando em um menor custo da empresa nas atividades deste tipo.

Segundo Mendonza (1995) o custo operacional de uma empresa aumenta muito por longos períodos de permanência do material dentro da estufa, além de diminuir a produtividade do secador em questão. O autor ainda fala que uma alternativa para a secagem do gênero *Eucalyptus* é realizar a pré secagem até níveis de umidade acima do PSF ao ar livre, com isso é possível reduzir custos e aumentar a produtividade das câmaras.

Na secagem ao ar livre, as condições climáticas existentes no pátio onde a madeira se encontra se torna fator primordial para a melhor secagem da madeira, porém

quando temperatura e umidade são constantes, a circulação do ar torna-se fator determinante para o melhor sucesso da operação (BATISTA et al., 2012).

O método mais utilizado na busca por otimização deste processo é o empilhamento horizontal do material com a utilização de tabiques, os quais facilitaram a passagem de ar por entre as pilhas de madeira (BATISTA et al., 2012).

Após o empilhamento, deve se determinar a umidade inicial das tábuas, sendo esta feita de diversas formas, porém, o método gravimétrico é o preconizado pela norma NBR 14929 (2017), devido ser o mais preciso, entregando resultados satisfatórios e confiáveis para o operador. Porém ainda assim, existem os medidores elétricos, os quais entregam uma medição mais rápida, porém, menos precisa (JANKOWSKY, 1990).

Segundo Moreschi (2005) o método gravimétrico, apesar de ser o método mais preciso, é aquele que necessita de um tempo maior para se obter o resultado final do teor de umidade inicial. Nele, é necessário que amostras do material a ser seco sejam pesadas em uma balança de precisão de pelo menos 0,1g, posteriormente secas para que a partir da diferença das massas iniciais e finais, possa se calcular o teor de umidade inicial destas amostras. A exatidão dos resultados vai depender exclusivamente da balança utilizada e dos cuidados do operador, uma vez que a madeira absorve rapidamente teores de umidade. Segundo Galvão e Jankowsky (1985) o uso deste método é feito a partir da escolha e da pesagem periódica de amostras controle dentro do material submetido ao processo. Deste modo, com base no teor de umidade inicial já determinado, resulta-se na umidade interna da tábua no momento da pesagem, tendo assim, valores exatos da umidade interna da madeira. Este modo, por necessitar de acesso as pilhas de madeira, torna-se viável somente em tábuas secas ao ar livre, conforme citado por Susin et al., (2014).

O mesmo autor, mostra que para madeiras com altos teores de extrativos, este método acaba não sendo o mais indicado, pois parte da massa perdida durante a secagem, pode estar relacionada a diminuição do teor de extrativo do material, podendo mascarar o verdadeiro valor encontrado.

Este método possui como desvantagem, o fato deste ser destrutivo, exigir um tempo maior para a obtenção dos resultados finais e ser inviável para espécies com componentes voláteis. Porém, é um método em que sua precisão independe da umidade em que a madeira se encontra (CALONEGO et al., 2006).

Santos et al., (2003), ao analisar experimentalmente a curva de secagem da espécie de *E. grandis* com 16 anos de idade concluiu que a taxa de secagem do gênero é

instável, permitindo sua caracterização como uma madeira impermeável. Ainda, devido ao tempo de secagem convencional em estufa, os autores recomendam que a secagem natural seja interrompida quando o teor de umidade da madeira estiver entre 35% e 40%, ponto a partir do qual seria mais eficiente a secagem convencional.

Zen et al., (2019) ao avaliar a secagem ao ar livre da madeira serrada de eucalipto com 15 anos de idade, observou uma taxa de secagem maior na remoção da água livre, acima dos 30% de umidade. Neste estudo, os autores conseguiram uma umidade final de 23% em um período de 65 dias, tendo uma boa qualidade do material ao final do processo.

3.6 Avaliação e condução do processo de secagem

A forma de avaliação de um processo de secagem pode ocorrer de formas diferentes quando esta é feita em estufa ou naturalmente ao ar livre. O uso de determinados equipamentos para a mensuração do decaimento da umidade do material vai ser estabelecido pela qualidade final esperada e a viabilidade econômica que o uso destes demanda (SUSIN et al., 2014).

3.7 Programa de secagem

Segundo Galvão e Jankowsky (1985), um programa de secagem é caracterizado como uma sequência já estabelecida de alterações adequadas de temperatura e umidade relativa do ar, aplicadas a uma carga de material, submetido ao processo de diminuição de sua umidade interna dentro de uma estufa, na secagem convencional. Segundo os autores os programas podem ser baseados em dois fatores, sendo o primeiro no tempo de secagem (programa tempo-temperatura), sendo aplicado principalmente na secagem da madeira de coníferas, ou no teor de umidade da madeira (programa umidade-temperatura), empregados na secagem de folhosas.

O objetivo principal de um programa de secagem, é diminuir os teores de umidade da madeira até níveis pré-estabelecidos pelo produto final a ser obtido e pela região em que este vai ser incorporado, com o menor tempo possível e com o mínimo de defeitos (MENDES et al., 1998).

Segundo Galvão e Jankowsky (1985), para se obter uma melhor qualidade do material final e padronização, os programas de secagem devem ser divididos em três fases distintas:

a) Fase I: Aquecimento inicial: nesta fase, o ambiente interno da estufa é submetido ao aumento da temperatura inicial pré estabelecida no programa de secagem. Apesar da temperatura aumentar, é muito importante que a madeira não perca umidade, para isto, ao passo de que se aumenta a temperatura da estufa, a umidade relativa do ar é colocada próxima a 100%, permitindo assim que se transfira o calor, sem que este cause a diminuição da umidade do material (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

b) Fase II: Secagem propriamente dita: neste ponto irá acontecer um aumento da temperatura da estufa, realizando o processo de diminuição de sua umidade relativa interna. Nesta etapa, as taxas de umidade relativa do ar e temperatura, terão que ser controladas para que não haja propensão a colapsos e rachaduras no material. Segundo Rosso (2006) a umidade relativa do ar pode ser abaixada conforme a umidade da madeira diminui. A mesma autora diz que apesar de se utilizar umidades relativas do ar altas no início de secagem, a perda de umidade é relativamente rápida, devido a retirada da água livre ou capilar da madeira até seu PSF.

A retirada da água higroscópica da madeira é tida com o aumento da temperatura da estufa com a consequente redução da umidade relativa do ar.

c) Fase III: uniformização e condicionamento:

Nesta fase, se busca aumentar o teor de umidade das peças muito secas e continuar secando aquelas que ainda não chegaram aos níveis estabelecidos no programa, com o objetivo de uniformizar a carga. Nesta etapa pretende-se diminuir o gradiente de umidade existente entre o centro e a superfície da peça e aliviar as tensões geradas durante o processo pelo reumidecimento pela aspersão de água nas camadas externas das tábuas (JANKOWSKI; GALINA, 2013).

3.7.1 Elaboração do programa de secagem

Na elaboração de um programa de secagem, se busca um equilíbrio entre as taxas e velocidades de secagem e a qualidade final do produto. Dentre os fatores que poderão influenciar e justificar a elaboração de diferentes programas para diferentes espécies e situações, estão a massa específica do material, espessura das peças, o teor de

umidade inicial, a proporção de cerne e de alburno e a propensão à formação de defeitos, relacionadas com as características químicas, anatômicas e retratibilidade (ELEOTÉRIO; SILVA, 2012).

Marques (2008) em seus estudos, verificou uma correlação das propriedades físicas e anatômicas da espécie, com a taxa de secagem e a propensão a defeitos da mesma.

A partir disto, estudos como o de Simpson (1996) propõe a elaboração de programas de secagem e a determinação da temperatura de bulbo seco e sua depressão psicrométrica a partir da determinação da massa específica do material. O mesmo autor, mostra que neste método, as temperaturas de bulbo seco serão mantidas constantes até que a madeira alcance 30% de umidade e em seguida são elevadas a uma taxa de 5,6 °C para cada 5% de redução no teor de umidade. A depressão psicrométrica é calculada em função da umidade da madeira e da depressão psicrométrica inicial.

Outra metodologia pode ser utilizada a partir da massa específica do material, esta, proposta por Simpson e Verill (1997), a qual, se utiliza da densidade para a obtenção de códigos propostos no livro “Dry Kiln Operator’s Manual”, onde se tem informações para temperatura, depressão psicrométrica e umidade. Estes métodos facilitam a realização dos programas, uma vez que se baseiam somente em uma única variável, a massa específica (ELEOTÉRIO; SILVA, 2012).

Apesar de sua facilidade, Andrade et al. (2001) mostra em seus estudos, que a massa específica não explica de forma competente o comportamento da madeira durante o processo de secagem.

Jankowsky (2009), Santos (2002) e Andrade (2000), utilizaram pequenos corpos de prova, submetidos a secagem para a elaboração de um programa de secagem com mais parâmetros.

Esta forma de realização do programa, leva em conta, aspectos importantes e influentes na retirada de água da madeira, como os efeitos das características físicas da madeira, intensidade de defeitos e quantificação das taxas de secagem. No entanto, existem também alguns aspectos negativos, como a necessidade de medições periódicas, longo tempo de experimentação, variável de acordo com cada espécie e eventuais dificuldades operacionais, embora todo esse processo seja necessário para obter um programa de secagem adequado à madeira em questão (JANKOWSKY, 2009).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As espécies do gênero *Eucalyptus* plantadas no Brasil possuem um amplo espectro de utilização, que envolvem tanto os produtos madeireiros como não madeireiros. Entre as espécies mais exploradas estão o *E. grandis*, o *E. saligna* e o *E. urophylla*, os quais tem restrição no que tange a resistência ao frio e a geadas.

Na região sul do Brasil, especialmente nos estados de Santa Catarina e Paraná, empresas, universidades e institutos de pesquisa tem investido em plantios experimentais com espécies que toleram o frio e a geada, entre elas se destaca o *E. benthamii*.

Nos últimos anos, os estudos com o *E. benthamii* tem tido uma maior abordagem na área da silvicultura, principalmente em melhoramento genético e em crescimento. Até o momento, os estudos que envolvem a caracterização e o processamento das toras /madeira, tem utilizado matéria-prima proveniente de reflorestamentos muito jovens, tendo como consequência a obtenção de propriedades e características de processamento pouco satisfatórias. Assim, muitas empresas reflorestadoras fazem uso da madeira de *E. benthamii* para fins menos nobres como para a geração de energia.

A carência de estudos com árvores de *E. benthamii* em rotação longa, acima de 20 anos, foi evidenciada na revisão de literatura realizada.. Desta forma, o presente trabalho vem a proporcionar uma nova visão em termos de propriedades e possibilidades de uso da madeira de *E. benthamii* pelo setor de base florestal.

Para uso como produto sólido, a madeira deve ter primeiramente, suas propriedades físicas e mecânicas, em termos de densidade, retratibilidade, resistência e rigidez caracterizadas. Ao mesmo tempo, devem ser analisadas as variáveis que influenciam no desdobro e na secagem, as quais são inerentes a madeira, as condições de crescimento e de processo; entre as principais, destacam-se o diâmetro das toras e o sistema de desdobro.

A avaliação qualitativa e quantitativa dos processos de desdobro e secagem fornece informações de suma importância para o uso adequado de qualquer espécie; bem como para elaboração de programas de secagem, que podem ser desenvolvidos de várias formas, como com base no método da secagem drástica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, I. C. N. et al. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de celulose kraft. **Ciência Florestal**, v.21, n.1, p.167-174, 2011.
- ANDRADE, A. D. E. **Indicação de Programas Para a Secagem Convencional de Madeiras**. 2000. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- ANDRADE, A; JANKOWSKY, I. P.; DUCATTI, M. A. Grupamento de madeiras para secagem convencional. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n., p. 89-99, jun. 2001.
- ANJOS, R.A.M.; FONTE, A.P.N. Rendimento de madeira serrada de espécies de *Eucalyptus*. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.16, n.1, p.26-32, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT; NBR 1429 - Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. Brasil, 2017.
- BACCARIN, F. J. B. **Métodos para resgate, conservação e multiplicação em larga escala de matrizes de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage**. 2012. 77p. Dissertação (Mestrado em Ciências do solo) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” / USP. 2012.
- BALDIN, T.; MARCHIORI, J, N, C.; TALGATTI, M. Anatomia da madeira de *Eucalyptus benthamii* maiden & cabbage, espécie promissora para o setor de celulose no sul do brasil. **Balduina**, v. 3, n. 59, p.10-18, 2017.
- BATISTA, D. C. **Modificação térmica da madeira de *Eucalyptus grandis* em escala industrial pelo processo brasileiro de vap HolzSysteme**. 2012. 338p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Paraná, Paraná. 2012.
- BATISTA, D.C.; KLITZKE, R.J.; ROCHA M.P.; Proposta de programa de secagem para a madeira de “guajará” (*Micropholis venulosa* Mart. et Eichler) Pierre, Sapotaceae. **Ciência da Madeira**. v. 3 n.1, p. 22-32. 2012.
- BENIN, C.C.; WATZLAWICK, L. F.; HILLIG, E. PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus benthamii* SOB EFEITO DO ESPAÇAMENTO DE PLANTIO. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1375-1384, out.-dez., 2017.
- BIASI, C.P.; ROCHA, M.P. Rendimento em madeira serrada e quantificação de resíduos para três espécies tropicais. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 37, n. 1, jan./abr. 2007.
- BRONDANI, G.E.; BACCARIN, F.J.B.; WIT ONDAS, H.W.; GONÇALVES, A.N.; ALMEIDA, M. Avaliação morfofisiológica e produção de minijardim clonal de *Eucalyptus benthamii* em relação a Zn e B. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.32, n.70, p.151 - 164, 2012.

CALONEGO, F. W.; BATISTA, W. R.; SEVERO, E. T. D.; SANTOS, J. E. G.; RIBAS, C. Avaliação do teor de umidade da madeira de *Eucalyptus grandis* por medidores elétricos resistivos. **Instituto Florestal**, São Paulo, v. 18, p. 71-78, dez. 2006.

CARVALHO, D. E.; ROCHA, M.P.; JUNIOR, R.T.; KLITZKE, R, J. RENDIMENTO E VARIEDADE DE PRODUTOS NO DESDOBRIO DE TORAS DE *Eucalyptus* spp. **Tecno-Lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 23, n. 1, p. 08-13, jan./jul. 2019.

Carvalho, P.E.R. 2006. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas; Colombo, PR: Embrapa Florestas. 627 pp.

CUNHA, A.B.; FRANÇA, M.C.; ALMEIDA, C.C.F.; GORSKI, L.; CRUZ, R.C.; SANTOS, D. AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO EM MADEIRA SERRADA DE *Eucalyptus benthamii* E DE *Eucalyptus grandis* POR MEIO DO DESDOBRIO TANGENCIAL E RADIAL. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 45, n. 2, p. 241 - 250, abr. / jun. 2015.

ELEOTÉRIO, J. R.; SILVA, C. M. K. Comparação de programas de secagem para Cumaru (*Dipteryx odorata*), Jatobá (*Hymenaea* spp) e Muiracatiara (*Astronium lecointei*) obtidos por diferentes métodos. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, p. 537-545, 2012.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado de Santa Catarina**. Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1988. 113 p.

EMBRAPA. Solos do Estado de Santa Catarina. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, v. 34, p. 745, dezembro, 2014.

FAGUNDES, H. A. V. **Produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul**. 2003. 173 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, 2003.

FERREIRA, A. G; PAES, J. B.; MELO, R. R.; GUEDES, R. S. Consumo das madeiras de *Eucalyptus grandis*, *E. pilularis* e *E. saligna* x *E. alba* (híbrido) por cupins xilófagos (*Nasutitermes corniger* Motschulsky), em condições de laboratório. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: UFCG, 2004.

FERREIRA, F.A. **Patologia florestal**: Principais doenças florestais no Brasil. Viçosa – MG: Sociedade de investigações Florestais, 1989. P 34-37.

FOELKEL, C. E. B. Eucalipto no Brasil, história de pioneirismo. 2005. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 2, n. 4, p. 66-69, jul./dez. 2005.

Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. Forest & Landscape Denmark – FLD. International Plant Genetic Resources Institute – IPGRI. **Forest genetic resources conservation and management**. Rome: International Plant Genetic Resources Institute; 2004.

- GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 111p.
- GONÇALEZ, J.C.; BREDÁ, L.C.S.; BARROS, J.F.M.; MACEDO, D.G.; COSTA G.J.A.F.; VALE, A.T.; Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando o seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n.3, p. 329-341. 2006.
- GOULART, D. M.; ELEOTÉRIO, E. S. R.; VOIGTLAENDER, M.; LIMA, M. P.; ELEOTÉRIO, J. R. Comparação entre dois métodos de empilhamento na secagem ao ar de *Pinus taeda*. In: ENCONTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, II., 2003, Lages, Santa Catarina. **Anais...** Lages: UNIPLAC, 2003. p.35-42.
- GRAÇA M.E.C.; SHIMIZU J.Y.; TAVARES F.R.; Capacidade de rebrota e enraizamento de *Eucalyptus benthamii*. **Boletim de Pesquisa Florestal** 1999; 39: 135-138.
- HIGA, R. C. V.; PEREIRA, J. C. D. Usos Potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Comunicado Técnico Embrapa**, Colombo, v.1, n.2, 2003.
- HIGA. R. C.V.; HIGA. A. R.; TREVISAN, R.; SOUZA, M. V. R. de Comportamento de vinte espécies de *Eucalyptus* em área de ocorrência de geadas na região sul do Brasil In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS. 1997, Salvador. **Anais...** Colombo: Embrapa-CNPQ, 1997. v.1, p.106-110.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **IBÁ**: Relatório IBÁ 2019. Brasília, 2019. 95p.
- IWAKIRI, S. Rendimento e condições de desdobro de 20 espécies de madeiras da Amazônia. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 20, n. (único), p. 271-281, mar./dez. 1990.
- JANKOWSKY, I. P. **Fundamentos de secagem de madeiras**. Documentos Florestais. Piracicaba (10): 1 –13, jun. 1990.
- JANKOWSKY, I. P. **Melhorando a eficiência dos secadores para madeira serrada**. Piracicaba: Instituto de pesquisa e estudos florestais, 2000. p.13. (Circular Técnica, n. 191).
- JANKOWSKY, I. P.; GALINA, I. C. M. **Secagem de madeiras**. ITTO, 2013. Disponível em: http://pimads.org/documento_atividades/Apostila%20-%20Secagem%20de%20Madeiras..pdf. Acesso em 22/01/2020.
- JANKOWSKY, I. P.; SANTOS, G. R. V. DOS; ANDRADE. **A Secagem da Madeira Serrada de Eucalipto**. Circular Técnica Ipef, n. 199, p. 01–11, 2000.
- JANKOWSKY, I.P. Equipamentos e processos para a secagem de madeiras. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo, 1995. **Anais...** Piracicaba: IPEF, 1995. p.109-118.

JANKOWSKY, I.P. **Metodologia Simplificada para Indicação de Programas de Secagem**. 2009. 129p. Tese (Livre-docência) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

LIMA, E. A.; SILVA, H. D.; LAVORANTI, O. J. Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 65, p. 09-17, 2011. DOI: 10.4336/2010.pfb.31.65.09

LISBOA, C.D.J. **Estudo das tensões de crescimento em toras de Eucalyptus grandis Hill ex. Maiden**. 1993. 298 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná/ UFP. 1993.

LOBÃO, M.S.; LÚCIA, R.M.D.; MOREIRA, M.S.S.; GOMES, A. CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DA MADEIRA DE EUCALIPTO COM DIFERENTES DENSIDADES. **Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.6, p.889-894, 2004.

MARQUES, M.H.B. 2008. **Agrupamento de 41 espécies de madeiras da amazônia para secagem baseado em características anatômicas e físicas**. Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília. 141 pp.

MENDES, A. de S.; MARTINS, V. A.; MARQUES, M. H. B. **Programas de secagem para madeiras brasileiras**. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1998. 114 p.

MENDONZA, I. E. Experiencia em la utilizacion del eucalipto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, edição., 1995, São Paulo: **Anais...** Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p.92-108.

MORESCHI, J. C. **Propriedades tecnológicas da madeira**. Curitiba: UFPR, 2005. 169p.

MORESCHI, J.C. **Propriedades tecnológicas da madeira**. Manual Didático, 2005. 208p.

MÜLLER, B. V.; **QUALIDADE E PRODUÇÃO DE MADEIRA SERRADA DE EUCALIPTOS RESISTENTES A GEADA**. 2018. 109p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná/ UFP. 2018.

MÜLLER, B.V.; ROCHA, M.P.; CUNHA, A.B.; KLITZKE, R.J.; NICOLETTI, M.F. Avaliação das Principais Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira de Eucalyptus em que a madeira se encontra (CALONEGO et al., 2006).

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. I. B. de; KLOCK, U. Caracterização anatômica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 67-76, 1998.

NONES, D.L.; BRAND, M.A.; CUNHA, A.B.; CARVALHO, A.F.; WEISE, S.M.K.; DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DA MADEIRA E DO CARVÃO VEGETAL PRODUZIDO A PARTIR DE *Eucalyptus benthamii*. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 45, n. 1, p. 57 - 64, jan. / mar. 2015.

PALUDZYSZYN FILHO E.; SANTOS P.E.T.; FERREIRA C.A. **Eucaliptos indicados para plantio no Estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas; 2006.

PEREIRA, J. C. D.; SCHAITZA, E. G.; SHIMIZU, J. Y. Características físicas, químicas e rendimentos da destilação seca da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. Colombo: **Embrapa Florestas**, 2001. 4 p. (Embrapa Florestas, Circular Técnica, 50).

PONCE RH, WATAI LT. **Manual de secagem da Madeira**. Brasília: STI/IPT, 1985. 70p.

PONCE, H. R. MADEIRA SERRADA DE EUCALIPTO: DESAFIOS E PERSPECTIVAS. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1995.

PONCE, R.H. **Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995. São Paulo. **Anais...** Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p.50-58.

REZENDE, R.N.; LIMA, J. T.; PAULA, L. E. E.; FARIA, A. L. R. Secagem ao ar livre de toras de toras de *Eucalyptus grandis* em Lavras, MG. **Cerne**, Lavras, v.16 (Suplemento), p. 41-47, 2010.

ROCHA, M. P.; TOMASELLI, I. EFEITO DO MODELO DE DESDOBRO NA QUALIDADE DA MADEIRA SERRADA DE *Eucalyptus grandis* E *Eucalyptus dunnii*. **Cerne**, Lavras. v. 8, n.2, p.070-083, 2002.

ROSSO, S. **Qualidade da Madeira de Três Espécies de Eucalyptus Resultante da Combinação dos Métodos de Secagem Ao Ar Livre e Convencional**. 2006. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

SANTOS, G. R. V. **Otimização da Secagem da Madeira de Eucalyptus grandis**. 2002. 81f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SANTOS, G. R. V.; JANKOWSKY, I. P.; ANDRADE, A. Curva característica de secagem para madeira de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis** n. 63, p. 214-220, jun. 2003.

SANTOS, I. S.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M. da; Avaliação de pisos produzidos a partir de toras de clones de *Eucalyptus* sp. com pequenos diâmetros. **Cerne**, v. 16, n. 4, p. 473-478, 2010.

SILVA, J. R. M.; MARTINS, M.; OLIVEIRA, G. M. V.; BRAGA, P. P. C. Parâmetros de qualidade da usinagem para determinação dos diferentes usos da madeira de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, Lavras, v. 15, p. 75-83, 2009.

SIMPSON, W. T. **Method to estimate dry-kiln schedules and species groupings: tropical and temperate hardwoods**. Madison: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1996. 55 p.

SIMPSON, W.T.; VERRILL, S.P. 1997. **Estimating kiln schedules for tropical and temperate hardwoods using specific gravity**. Forest Products Journal, n 7 v 8: 64-68.

STANGERLIN, D.M.; SANTINI, E.J.; SUSIN, F.; MELO, R.R.; GATTO, D.A.; HALESEIN, C.R. USO DE ESTUFA SOLAR PARA SECAGEM DE MADEIRA SERRADA. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 4. 2009.

STAPE, J.L. Manejo de Eucalyptus spp. para desdobro frente aos avanços silviculturais de produção. Curitiba: **Anais... IV SEMADER**, 1996.

SUSIN, F.; SANTINI, E.J.; STANGERLIN, D.M.; MOARIS, W.W.C.; MELO, R.R. Taxa de secagem e qualidade da madeira serrada de *Hovenia dulcis* submetida a dois métodos de secagem. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.21, n.2, p.243-250, 2014.

TRUGILHO, P.F. **TENSÃO DE CRESCIMENTO EM ÁRVORES VIVAS DE CLONES DE *Eucalyptus* spp. E DE *Eucalyptus dunnii* Maiden E PROPRIEDADES DA SUA MADEIRA**. 2005. Dissertação (Pós doutorado em ciências florestais) – Universidade Federal do Parana/ UFP. 2005.

TURNBULL, J.W. and ELDRIDGE, K.G. The natural environment of Eucalyptus as the basis for selecting frost resistance species. In: **Proceedings of IUFRO/AFOCEL symposium on frost resistant *Eucalyptus***. 26th - 30th September, Bordeaux, France. p. 43-62, 1983.

VERMAAS, H. F. Drying eucalypts for quality: material characteristics, predrying treatments, drying methods, schedules and optimization of drying quality. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA. São Paulo. IPEF/ IPTIIUFRO/ESALQ/USP. 1995. **Anais...** 132p.

VERMAAS, H.F. Drying of eucalypts with special reference to young, fat-grown plantation material. In: SEMINARIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA E ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1, Belo Horizonte, 1998. **Anais...** Viçosa: SIF/UFV, 1998. p. 106-118.

ZEN, L. R. **MÉTODOS COMBINADOS PARA SECAGEM DA MADEIRA DE *Eucalyptus*: PRÉSECAGEM AO AR LIVRE COM SECAGEM EM ESTUFA CONVENCIONAL**. 2016. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) - Universidade Federal do Paraná/ UFP. 2016.

ZEN, L. R.; MONTEIRO, T.C.; SCHAEFFER, W. KAMINSKI, J.C.; KLITZKE, R. J. Secagem ao ar livre da madeira serrada de eucalipto. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**. v.7 n.2, p. 291-298. 2019.

ZOBEL, J. B.; BUJTENEN, J. P. **Wood variation**: Its causes and control. New York: Springer-Verlag, 1989. 363p.

CAPÍTULO II – PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus benthamii* MAIDEN ET CAMAGE

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui um vasto território ocupado por florestas plantadas, sendo que até 2018, 7,83 milhões de hectares eram ocupados principalmente por espécies do gênero *Pinus* e *Eucalyptus*. Os plantios de *Eucalyptus* estão concentrados principalmente nos Estados de Minas Gerais (28%), São Paulo (17%) e Mato Grosso do Sul (16%), enquanto que os de *Pinus*, no Paraná (44%) e em Santa Catarina (26%), seguidos do Rio Grande do Sul (17%) e de São Paulo (9%) (IBÁ, 2020).

Na região sul, o *E. dunnii* se destaca em plantios comerciais, por apresentar resistência às dificuldades de crescimentos impostas pelo clima frio. Outras espécies com tolerância ao frio e a geadas vem sendo exploradas na região, via plantios experimentais por empresas, institutos de pesquisa e universidades, como o *E. deanei* Maiden (HIGA et al., 1997), o *E. dorrigoensis* (SIMÃO et al., 2011), o *E. smithii* (FRIGOTTO et al., 2015) e o *E. benthamii*. Todas as espécies supracitadas têm apresentado desenvolvimento silvicultural satisfatório, com destaque para o *E. benthamii*.

O *E. benthamii* é originário da cidade de Camden, Austrália, e foi introduzido no Brasil, mais precisamente nos Estados de Santa Catarina e Paraná, pela Embrapa Florestas no ano de 1988. Em 2003, Higa e Pereira citaram que, em Colombo - PR, o *E. benthamii* apresentou, aos 8 anos, altura média de 21,7 m e diâmetro a altura do peito (DAP) médio de 18,2 cm.

Com relação às características da madeira do *E. benthamii*, Müller et al., (2014) e Alves et al. (2011) aos 6 anos, encontraram densidade básica entre 0,477 g/cm³ e 0,52 g/cm³, respectivamente. e observaram a presença de rachaduras de topo nas toras após a derrubada, instabilidade dimensional com elevados índices de rachaduras e empenamentos nas peças de madeira serrada verdes e secas, o que prejudica o seu processamento mecânico. Assim, os autores, indicaram o uso da madeira somente para lenha, carvão e celulose, nas idades avaliadas, mas salientam que, em função da madeira apresentar estrutura anatômica semelhante a outras espécies comerciais do mesmo gênero, tem potencial para uso futuro, quando explorada em rotações longas.

Diante dos resultados encontrados nos estudos com árvores de *E. benthamii* de idade reduzida, muitas empresas e proprietários particulares de floresta, erradicaram o

plantio dessa espécie, no entanto, os que ainda possuem plantios com esta espécie, buscam indicações de uso para maior agregação de valor, especialmente em árvores com idade acima de 20 anos.

Com isso, o objetivo deste capítulo foi determinar as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage com 23 anos de idade, de modo a obter informações básicas da espécie em ciclo de rotação longa.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As árvores de *E. benthamii* utilizadas no estudo foram provenientes de um plantio experimental com 23 anos de idade, localizado na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), de Lages, Santa Catarina.

A região de Lages caracteriza-se por apresentar uma precipitação anual entre 1.300 a 1.500 mm e temperatura média de 15 a 16°C. De acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cfb – Temperado, mesotérmico úmido e verão ameno (EPAGRI, 2003).

O plantio experimental foi iniciado em 1994, com objetivo de observar o crescimento e a adaptação da espécie ao clima local para a colheita de sementes potenciais. As árvores em total de 30, foram plantadas no espaçamento 3 x 3m em 5 filas, com 6 árvores em cada uma delas. O solo do local é descrito como distrófico álico, sendo feito apenas uma adubação com 200 g de NPK (50-20-10) por cova, antes da inserção das sementes.

Foram disponibilizadas pela empresa cinco árvores com altura total média de 37,16 m (35,30 a 39,30 m), altura comercial até 8 cm de diâmetro de 31,36 m (27,60 a 33,60 m) e DAP médio de 49 cm (42 a 63 cm). Estas árvores foram as remanescentes do plantio experimental, sendo disponibilizadas para estudos. Para a caracterização física e mecânica, foi utilizada a primeira tora de cada árvore, a qual tinha comprimento de 1,30m, e um disco no DAP com 5 cm de espessura.

De cada tora, foi retirado um pranchão central com 7 cm de espessura, excluindo-se a medula, sendo 3,5 cm para cima da medula e 3,5 para baixo, e posteriormente vigas com seção transversal de 7 X 7 cm. As vigas que continham a medula foram descartadas para não comprometer os resultados, as demais foram seccionadas em corpos de prova com dimensões estabelecidas na norma COPANT

(Comissão Pan Americana de Normas Técnicas), os quais foram climatizados em um ambiente com $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ de temperatura e $65\pm 5\%$ de umidade relativa até a estabilização da massa (COPANT 459, 1972). Já o disco do DAP, foi imerso em água até saturação completa, sendo posteriormente seco a temperatura de $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ em estufa com circulação forçada de ar até massa constante, sendo este, utilizado para a determinação da densidade básica da espécie.

As propriedades físicas e mecânicas determinadas no estudo foram densidade (COPANT 461, 1972), retratibilidade (COPANT 462, 1972), flexão estática (COPANT 555, 1972), compressão paralela às fibras (COPANT 464, 1972), cisalhamento (COPANT 463, 1972) e dureza (COPANT 465, 1972).

A análise dos resultados foi feita de forma descritiva, por meio dos valores médios, mínimos e máximos, além da determinação do coeficiente de variação dentro de cada ensaio.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Propriedades Físicas

Os valores médios obtidos para densidade da madeira de *E. benthamii* aos 23 anos, estão apresentados na tabela 2, onde pode ser observado, densidade aparente de 740 kg.m^{-3} , o que a classifica, segundo Mainieri e Chimelo (1989), como moderadamente pesada, tendo em vista que o intervalo desta classe está entre 550 e 750 kg.m^{-3} .

Tabela 2 - Valores médios de densidade básica e aparente do presente estudo e registro na literatura para a mesma espécie e gênero

Espécie	Idade (anos)	Procedência	Referência	Densidade (kg/m ³)	
				Básica	12%
<i>E. benthamii</i>	23	Lages-SC	O autor, 2020	610	740
		Valor mínimo de densidade		540	650
		Valor máximo de densidade		660	870
		Coefficiente de variação		9,86	9,21
<i>E. dunni</i>	28	Pelotas - RS	Gallio et al, 2018	573	-----
<i>E. grandis</i>	25	Telêmaco Borba-SC	Silva, 2002	420	550
<i>E. saligna</i>	23	Piracicaba - SP	Bortoletto Júnior, 2003	560	-----
<i>E. urophylla</i>	21	Piracicaba - SP	Bortoletto Júnior, 2003	600	-----
<i>E. dunni</i>	16	Colombo - PR	Severo, 2001	573	-----
<i>E. grandis</i>	17	Martinho Campos-MG	Gonzalez et al., 2006	590	-----
<i>E. benthamii</i>	13	Palmeira-SC	Nones et al., 2015	505	684
<i>E. benthamii</i>	11	Guatambu-SC	Gallio et al., 2016	548	-----
<i>E. dunni</i>	11	Telêmaco Borba-PR	Batista et al., 2010	560	-----
<i>E. benthamii</i>	7	Colombo-SC	Pereira, 2003	477	-----
<i>E. benthamii</i>	6	Cerro Negro-SC	Müller et al., 2014	520	610
<i>E. benthamii</i>	6	Guarapuava-PR	Benin et al., 2017	500	-----

Ainda na tabela 2, verifica-se uma superioridade de densidade da madeira do *E. benthamii* avaliada no presente estudo, quando comparado com espécies do mesmo gênero em idade entre 17 e 28 anos.

A superioridade de densidade em relação a maioria das espécies do mesmo gênero pode estar relacionada a proporção de lenho adulto e às características anatômicas, aliadas as condições de sítio, a idade das árvores e a porção de retirada dos corpos de prova ao longo do fuste. Demonstrando valores superiores também em comparação ao *E. dunni*, uma das espécies com certo nível de tolerância a geadas. Em relação a superioridade de densidade em comparação as árvores mais jovens da mesma espécie, pode-se destacar características anatômicas como comprimento das fibras, diâmetro do lúmen e espessura da parede celular (Garcia et al., 2017).

Ao se comparar a madeira juvenil com a madeira adulta, Bendtsen (1978) e Senft et al., (1985) afirmaram que os ângulos microfibrilares da camada S2, o diâmetro do lúmen, o conteúdo de lignina, o lenho de reação e a contração longitudinal são maiores na madeira juvenil. Por outro lado, a densidade, o comprimento de traqueídes, a espessura da parede celular, o conteúdo de celulose, a resistência e a rigidez são maiores na madeira adulta. O lenho juvenil ou inicial é formado nos primeiros anos de vida,

tendo esse período variando conforme a espécie e condições ambientais, porém em regra geral, indivíduos com idades inferiores, possuem uma quantidade de lenho inicial maior do que os que possuem um incremento maior em idade.

Observa-se que os coeficientes de variação para densidade básica e aparente ficaram abaixo de 10%, os quais são menores que os propostos por Green et al., (1999) para espécies do gênero *Eucalyptus* spp, demonstrando pouca variação entre as árvores avaliadas.

Segundo Silva et al. (2016), os valores de densidade básica da madeira podem promover ou limitar o uso de determinado material genético. Segundo os autores, para a produção de carvão vegetal, as indústrias requerem madeiras com densidade básica em torno de 558 kg.m^{-3} em função de apresentarem maior rendimento gravimétrico. Nas fábricas de celulose, se objetiva madeiras com densidade básica entre 400 e 550 kg.m^{-3} , pois valores maiores refletem na maior dificuldade de picagem das toras, maior desgaste das facas, maior proporção de cavacos superdimensionados, maior dificuldade de impregnação do licor, o que tem como consequência, uma menor produção de polpa depurada (SILVA, 2001). Para painéis de madeira reconstituída, as madeiras com baixa densidade aparente, menores que 500 kg.m^{-3} são as mais interessantes, em função proporcionarem maior razão de compactação e consequentemente, maior resistência mecânica.

Para serrados, as madeiras moderadamente pesadas, como o *E. benthamii* com 23 anos avaliado, terão um maior valor agregado em função de, possivelmente, apresentarem uma maior resistência mecânica, porém, poderão exercer dificuldades nos processos de desdobro, secagem e beneficiamento, em função de serem pouco estáveis dimensionalmente, fazendo com que se tenha cuidados adicionais no processamento.

A densidade básica registrada para o *E. benthamii* avaliado é próxima daquela de espécies utilizadas para fins estruturais, produção de assoalhos e móveis, como a *Hymenolobium petraeum* ($0,590 \text{ g/cm}^3$), e a *Bagassa guianensis* ($0,680 \text{ g/cm}^3$), observa-se proximidade de valores (IPT, 2013).

Os valores médios de retratibilidade linear e volumétrica e coeficiente de anisotropia obtido para a espécie estudada, bem como os encontrados por outros autores com a mesma espécie e gênero, estão descritos na tabela 3. Observa-se também, coeficientes de variação para retratibilidade volumétrica e tangencial compatíveis com as espécies do mesmo gênero e de acordo com o proposto pelo FPL (1987), que é em torno de 15%; no entanto, para retratibilidade radial e anisotropia, os coeficientes foram

superiores, chegando a 28,1% para a última variável mencionada, demonstrando a grande heterogeneidade do gênero.

Tabela 3– Valores médios de retratibilidade e anisotropia de contração do presente estudo e registro na literatura para a mesma espécie e gênero.

Espécie	Idade	Procedência	Referência	Retratibilidade (%)			Ac
				Vol.	Tg	Rd	
<i>E. benthamii</i>	23	Lages-SC	O autor, 2020	18,8	13,7	5,7	2,5
	Valor mínimo			14,6	10,7	3,1	1,3
	Valor máximo			22,3	18,6	8,2	4,5
	Coeficiente de variação			9,4	12,6	21,9	28,1
Referências							
<i>E. grandis</i>	25	Telêmaco Borba-SC	Silva, 2002	18,2	9,9	6,0	1,7
<i>E. grandis</i>	17	Martinho Campos-MG	Gonzalez, 2006	17,3	10,9	6,9	1,6
<i>E. benthamii</i>	11	Guatambu-SC	Gallio, 2016	24,3	15,6	9,7	1,9
<i>E. dunnii</i>	11	Telêmaco Borba-PR	Batista, 2010	18,7	12,7	5,7	2,3
<i>E. benthamii</i>	7	Colombo-SC	Pereira, 2003	19,5	13,7	6,9	2,0
<i>E. benthamii</i>	6	Cerro Negro-SC	Müller, 2014	19,3	13,9	5,9	2,4
<i>E. benthamii</i>	6	Guarapuava-PR	Benin, 2017	-----	18,4	6,9	2,9

Inserir a legenda. Fonte: O autor (2020)

A contração volumétrica de 18,8% (tabela 3) encontrada para o *E. benthamii* no presente estudo foi equivalente ao *E. grandis* (SILVA, 2002) com idade superior a 20 anos e ao *E. benthamii* com 18 anos, maior que a do *E. grandis* com idades de 17 anos, e menor do que as encontradas para a mesma espécie com idades entre 6 e 11 anos. Quando comparamos com o *E. dunnii* com 11 anos de idade, resiliente a com um bom crescimento em regiões frias, verificamos um valor muito próximo ao deste estudo.

Para retratibilidade tangencial, o coeficiente obtido de 13,7%, foi superior as outras espécies do mesmo gênero e inferior aos da mesma espécie. Segundo Gallio et al. (2016), geralmente, a retratibilidade da madeira no sentido tangencial é aproximadamente superior em duas vezes a do sentido radial, fato verificado no presente estudo. Conforme Kollmann e Côtê (1968), essa diferença entre as variações tangencial e radial é devida ao fato de os raios da madeira restringirem a sua expansão na direção radial.

No sentido radial, o coeficiente de 5,7% foi inferior em relação a todos os outros materiais mencionados na tabela 3, e tendo o mesmo valor ao *E. dunnii* com 11 anos de idade.

Alguns autores como Kollmann e Côtê (1968), afirmam que, quanto mais alta a densidade da madeira, maior a sua contração ou expansão, porém, para as espécies do

gênero *Eucalyptus*, há controvérsia em tal afirmação, devido à grande heterogeneidade ao longo de seu fuste. Este comportamento, também foi observado por Oliveira et al. (2010), ao estudar sete espécies do gênero *Eucalyptus* spp., onde encontrou menores índices de contração radial em espécies com maiores densidades.

Assim, pode-se inferir que além da densidade, outros fatores afetam diretamente os valores de coeficiente de retratibilidade, como a proporção de extrativos e resinas na madeira (TSOUMIS, 1991) e o ângulo das microfibrilas, especialmente da camada S2 (PUBEL et al, 2011). No presente estudo, notou-se durante a retirada dos corpos de prova, a presença de grande quantidade de resina / bolsa de kino nos pranchões e vigas, o que pode ter influenciado nos coeficientes de retratibilidade obtidos.

O fator anisotrópico obtido, 2,5, foi superior a todos os outros referenciados na tabela 3, com exceção do material de *E. benthamii* com 6 anos de Benin (2017). Para Oliveira et al. (2010) a diferença de retratibilidade entre os sentidos radial e tangencial é uma das principais causas de defeitos da madeira que ocorrem durante o processo de secagem e são gerados pela manifestação da anisotropia, que quanto maior, eleva-se a probabilidade na ocorrência defeitos na madeira. Devido ao fenômeno da anisotropia, ocorre o desenvolvimento de defeitos que podem inviabilizar o uso do material.

Segundo Juizo et al. (2015), quanto mais próximo a 1 for o valor de coeficiente de anisotropia, mais estável é o material, uma vez que a razão existente entre retratibilidade tangencial/radial, se anulam. Madeiras com coeficientes entre 1,2 e 1,5, pode-se dizer, que de forma geral, são excelentes para usos que não permitem empenamentos e rachaduras; entre 1,6 e 2,0 consideradas normais; e acima de 2,0 limitam o uso ou exigem maiores cuidados no processamento e na secagem.

Porém, o coeficiente de anisotropia tomado de forma isolada não caracteriza uma madeira como sendo estável ou instável dimensionalmente e, portanto, não deve ser adotado como critério de decisão para eliminar a madeira para determinados fins, mas sim, como uma das ferramentas de análise do desempenho do material, principalmente na determinação dos programas de secagem nas estufas. Neste sentido, a correta análise deve ser feita a partir de todos os resultados de retratibilidade, nos três sentidos anatômicos do material.

3.2 Propriedades mecânicas

Os valores médios encontrados para as propriedades mecânicas da madeira do *E. benthamii* com 23 anos, estão apresentados na tabela 4, por meio da resistência e rigidez a flexão estática e a compressão paralela, da resistência ao cisalhamento e da força necessária para a introdução de um dispositivo no ensaio de dureza. De forma geral, a madeira do presente estudo apresentou melhores resultados em todas as propriedades, quando comparado com espécies do mesmo gênero e dentro da mesma espécie em idades mais jovens, com exceção ao material de Severo (2001) com 16 anos nas propriedades de modulo de elasticidade em flexão estática e modulo de ruptura no ensaio de compressão paralela.

Considerando a NBR 7190 (ABNT, 1997), a madeira de *E. benthamii* pode ser enquadrada na Classe C20, enquadrando espécies a partir de valores de densidade, resistência a compressão, cisalhamento e modulo de elasticidade a flexão estática.

Segundo Vital et al., (1984) as propriedades de resistência da madeira tendem a aumentar com o incremento em idade do material, uma vez que seguem o padrão de densidade, a partir do aumento da espessura da parede celular e diminuição da largura das células. Moura e Brito (2001) ainda afirmam que com o aumento da idade e a consequente redução do ritmo de crescimento, ocorre um maior acúmulo de macromoléculas de celulose nas paredes secundárias das fibras, contribuindo para o aumento da espessura da parede celular, os quais podem refletir em maiores valores de resistência.

Dessa forma, plantios de uma mesma espécie realizado em locais com diferentes características de solo e de precipitação anual podem afetar o desenvolvimento e as características da madeira de uma determinada espécie (HEIN et al. 2016). Essa variação nas taxas de crescimento pode provocar alterações significativas nas características anatômicas e consequentemente, causar variações nas propriedades da madeira afetando a produtividade e qualidade final do produto (ZOBEL, 1992).

Na flexão estática, os altos valores encontrados para MOR e MOE, podem indicar a madeira para o uso em peças na posição fletida como vigas. Silva et al., (2005) ao analisar a influência da idade no ensaio de flexão estática do *E. grandis* com 10, 14, 20 e 25 anos, também encontrou padrões de aumento dos resultados de MOR e MOE com o incremento da idade.

Em geral, a madeira de árvores mais jovens, constituída de alta percentagem de lenho juvenil, possui propriedades mecânicas mais baixas que nas árvores maduras. De acordo com Larson et al. (2001), valores de MOE e MOR da madeira, são altamente correlacionados com a densidade, portanto são influenciados pela qualidade da madeira juvenil. Passialis e Kiriazakos (2004) ao analisarem a espécie de *Populus hybridogenous* observaram diferença em suas propriedades mecânicas, entre lenho juvenil e adulto. Esses autores mencionaram que baixos valores das propriedades mecânicas da madeira juvenil estão relacionados ao menor comprimento dos traqueídes, assim como aos maiores ângulos das microfibrilas e maiores conteúdos de lignina e hemicelulose

Segundo Gonçalves et al., (2009), os ensaios de flexão estática são importantes por conferir a capacidade de carregamento em peças estruturais na forma de vigas. Visto a superioridade dos resultados com espécies do mesmo gênero, já utilizadas no setor de base florestal para o mesmo fim, pode-se adequar o uso da espécie de *E. benthamii* com 23 anos para este tipo de esforço.

Na compressão paralela, o *E. benthamii* com 23 anos continuou a apresentar os melhores resultados de MOR e MOE, 443,68 kgf.cm⁻² e 124.528,76 kgf.cm⁻² (tabela 4), respectivamente, com exceção do material de Lobão et al. (2004) que era composto por *E. grandis* com 15 anos, o qual apresentou 570,02 kgf.cm⁻² e 195.143,05 kgf.cm⁻² e o *E. dunnii* de Severo (2001) com 16 anos, apresentando um valor de modulo de ruptura de 625,23 kgf.cm⁻². Os valores encontrados para compressão paralela no material estudado estão de acordo como apresentado pela NBR 7190 (ABNT, 1997), que caracteriza esta e demais propriedades para 17 espécies do gênero *Eucalyptus*; na norma os resultados apresentam intervalo entre 410,95 kgf.cm⁻² (*E. grandis*) e 800,48 kgf.cm⁻² (*E. punctata*) para a resistência a MOR e entre 130.656,21 kgf.cm⁻² (*E. grandis*) a 202.729,74 kgf.cm⁻² (*E. paniculata*) para MOE.

Os resultados obtidos para cisalhamento tangencial, seguem a mesma tendência da flexão estática e da compressão paralela às fibras, no entanto, foram inferiores aos materiais de Muller (2018) para *E. dunnii* e *E. benthamii* com 18 anos. Segundo Moreschi (2012), a resistência ao cisalhamento da madeira é diretamente proporcional a densidade da madeira, mas no plano tangencial há uma grande influência da diferença entre a porcentagem dos lenhos inicial e tardio, assim, madeiras com maior porcentagem de lenho adulto, normalmente apresentam maiores resistências que madeiras com maiores percentuais de lenho inicial.

Segundo Müller et al. (2014) bons resultados de cisalhamento denotam que o material pode ser empregado na construção civil na forma de peças engastadas, como na composição de tesouras para cobertura.

Os bons valores obtidos para dureza indicam que a madeira de *E. benthamii* pode ser utilizada na fabricação de pisos, onde este tipo de esforço acaba sendo fator limitante para o emprego do material. Os valores obtidos são superiores aos de Andrade (2015) ao caracterizar e catalogar diferentes espécies nativas, já utilizadas para a fabricação de pisos, como para a *Couratari oblongifolia* (tauari) que apresentou 588,11 kgf no sentido longitudinal e 468,32 kgf no sentido perpendicular.

Observa-se também, que a maior de dureza foi encontrada no sentido longitudinal, seguido do radial e tangencial que foram praticamente equivalentes. Esta constatação pode ser atribuída a disposição das fibras neste sentido e a necessidade de sustentação mecânica.

Tabela 4 – Valores médios para as propriedades mecânicas.

Espécie	Idade (anos)	Procedência	Referência	Flexão Estática (kgf/cm ²)		Compressão Paralela às fibras (kgf/cm ²)		Cisalhamento (kgf/cm ²)	Dureza (kgf)		
				MOR	MOE	MOR	MOE		Long.	Rad.	Tang.
<i>E. benthamii</i>	23	Lages-SC	O autor, 2020	1.112,61	156.273,92	443,68	124.528,76	133,28	710,33	639,68	621,73
Valor mínimo				985,31	141.153,14	361,37	123.923,37	110,47	672,47	601,42	583,58
Valor máximo				1.275,36	164.263,21	504,27	125.352,45	146,12	817,43	706,23	705,16
Coeficiente de variação				14,21	9,79	11,18	6,78	6,26	16,25	22,27	23,35
<i>E. grandis</i>	25	T. Borba-SC	Silva, 2002	869,00	130.559,00	-----	-----	-----	-----	-----	-----
<i>E. grandis</i>	17	Campos-MG	Gonzalez et al. 2006	858,00	149.561,00	-----	-----	-----	664,00	531,00	-----
<i>E. dunni</i>	16	Colombo-PR	Severo, 2001	1052,00	181.800,00	625,36	-----	133,50	-----	-----	-----
<i>E. grandis</i>	15	Viçosa-MG	Lobão et al. 2004	778,55	155.761,62	570,02	195.143,05	104,01	-----	-----	-----
<i>E. urograndis</i>	13	Mucuri-BA	Gonçalves et al. 2009	1.052,35	127.199,37	-----	-----	-----	-----	-----	-----
<i>E. benthamii</i>	13	Palmeira-SC	França et al., 2012	740,93	74.941,99	-----	-----	-----	-----	-----	-----
<i>E. benthamii</i>	18	Mafra	Müller, 2018	1.107,70	128.521,00	321,4	-----	149,10	880,27	816,61	706,92
<i>E. urophylla</i>	11	Vazante-MG	Cruz et al., 2003	805,58	127.739,82	407,89	67.199,28	-----	-----	-----	-----
<i>E. benthamii</i>	6	Cerro Negro-SC	Müller et al., 2014	851,77	99.469,93	380,76	26.155,72	116,35	574,40	523,89	421,90
<i>E. benthamii</i>	6	Guarapuava-PR	Benin et al., 2017	754,59	84.942,34	318,46	47.123,01	121,35	459,79	376,47	412,37

Legenda: MOR: Módulo de ruptura ao ensaio; MOE: Módulo de ruptura ao ensaio; Long.: Longitudinal; Rad.: Radial; Tang.: Tangencial.

Fonte: O autor (2020).

4 CONCLUSÃO

Os valores de densidade caracterizaram a madeira de *E. benthamii* como moderadamente pesada, sendo superior a maioria dos estudos publicados com espécies do mesmo gênero e dentro da mesma espécie, mas com madeiras de árvores mais jovens.

Na retratibilidade, os valores obtidos para anisotropia mostraram que a madeira de *E. benthamii* é instável dimensionalmente, requerendo maiores cuidados no processo de secagem.

Nas propriedades de resistência e rigidez, observou-se superioridade da madeira de *E. benthamii* no módulo de ruptura e no módulo de elasticidade a flexão estática e a compressão paralela as fibras, quando referenciado espécies comerciais do mesmo gênero. No cisalhamento e na dureza, os valores de resistência obtidos foram equivalentes as espécies supracitadas.

A madeira de *E. benthamii* pode ser classificada, de acordo com sua densidade e suas propriedades de resistência e rigidez como Classe C20, segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, I.C.N.; GOMIDE, J.L.; COLODETTE, J.L.; SILVA, H.D. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA DE *Eucalyptus benthamii* PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 167-174, jan.-mar., 2011.
- ANDRADE, A. **Pisos de madeira: características de espécies brasileira**. Piracicaba: ANPM, 2015. 184 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT; NBR 7190 - Projetos de estruturas de madeira. Brasil, 1997.
- BENIN, C.C.; WATZLAWICK, L. F.; HILLIG, E. PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus benthamii* SOB EFEITO DO ESPAÇAMENTO DE PLANTIO. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1375-1384, out.-dez., 2017.
- BORTOLETTO JR., G. Produção de compensados com 11 espécies do gênero *Eucalyptus*, avaliação das suas propriedades físico-mecânicas e indicações para utilização. **Scientia Forestalis**, v.63, p.65-78, 2003.
- CRUZ, C. R.; LIMA, J. T.; MUNIZ, G. I. B.; Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 64, p. 33-47, 2003.
- DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnologia da madeira: retratibilidade**. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1992. 33p.
- FRIGOTTO, T.; NAVROSKI, M. C.; PEREIRA, M. O.; MAZZO, M. V.; SOUZA, P. F. Seleção de procedências de *Eucalyptus smithii* na região norte de Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EUCALIPTO, III., 2015, Vitória. **Anais...** Vitória: [S. I.], 2015. p. [S. I.].
- GALLIO, E.; SANTINI, E.J.; GATTO, D.A.; DE SOUZA, J.T.; RAVASI, R.; DE MENEZES, W.M.; FLOSS, P.A.; BELTRAME, R. Caracterização Tecnológica da Madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, n. 3, p. 244-250. 2016
- GALLIO, Ezequiel et al. Caracterização de propriedades tecnológicas de três folhosas deterioradas por térmitas. **Matéria**. 2018, vol.23, n.4, e12239.
- GONÇALEZ, J.C.; BREDÁ, L.C.S.; BARROS, J.F.M.; MACEDO, D.G.; COSTA G.J.A.F.; VALE, A.T.; Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando o seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n.3, p. 329-341. 2006.
- GONÇALVES, F.G.; OLIVEIRA, J.T.S.; DELLA LUCIA, R. M.; SARTORIO, R.C.; Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de

Eucalyptus urophylla x *Eucalyptus grandis*. R. **Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.3, p.501-509, 2009

HIGA. R. C.V.; HIGA. A. R.; TREVISAN, R.; SOUZA, M. V. R. de Comportamento de vinte espécies de *Eucalyptus* em área de ocorrência de geadas na região sul do Brasil In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS. 1997, Salvador. **Anais...** Colombo: Embrapa-CNPf, 1997. v.1, p.106-110.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **IBÁ**: Relatório IBÁ 2019. Brasília, 2019. 95p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil**. São Paulo: IPT. 2013. 103 p.

JUIZO, C. G. F.; LOIOLA, P. L.; ZEN, L. R.; MARCHESAN, R.; CARVALHO, D. E.; BILA, N. F.; EGAS, A. F.; ROCHA, M. P.; KLITZKE, R. J. Variação radial das propriedades físicas da madeira de *Pinus patula* plantados em Moçambique, **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 83, p. 285-292, 2015.

KOLLMANN, F.R.; COTÉ, W.A. **Principles of Wood science and technology**. Berlin, Springer-Verlag. 592p. 1968.

LARSON, P. R. et al. **Formation and properties of juvenile wood in southern pines – a synopsis**. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2001. FPL Reporter

LOBÃO, M.S.; LÚCIA, R.M.D.; MOREIRA, M.S.S.; GOMES, A. CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DA MADEIRA DE EUCALIPTO COM DIFERENTES DENSIDADES. **Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.6, p.889-894, 2004.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J.P. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. São Paulo:IPT, 1989. 418 p.

MORESCHI, J.C. **Propriedades da madeira**. 4a ed., Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Setor de Ciências Agrárias/UFPR, 2012.

MOURA, L. F. de & BRITO, J. O. Influência da desrama artificial sobre a densidade básica, a composição química e as características dos traqueídeos da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. Et. Golf. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.25, n.3, p.369-374, 2001.

MÜLLER, B. V.; **QUALIDADE E PRODUÇÃO DE MADEIRA SERRADA DE EUCALIPTOS RESISTENTES A GEADA**. 2018. 109p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná/ UFP. 2018.

MÜLLER, B. V.; ROCHA, M. P.; CUNHA, A. B.; KLITZKE, R. J.; NICOLETTI, M. F. Avaliação das principais propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus*

benthamii Maiden et Cambage. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 4, p. 535-542, 2014.

MÜLLER, B.V.; ROCHA, M.P.; CUNHA, A.B.; KLITZKE, R.J.; NICOLETTI, M.F. Avaliação das Principais Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Floresta e Ambiente**, v.21, n.4, p.535-542, 2014.

NONES, D.L.; BRAND, M.A.; CUNHA, A.B.; CARVALHO, A.F.; WEISE, S.M.K.; DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DA MADEIRA E DO CARVÃO VEGETAL PRODUZIDO A PARTIR DE *Eucalyptus benthamii*. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 45, n. 1, p. 57 - 64, jan. / mar. 2015.

OLIVEIRA J.T.S.; TOMAZELLO Filho M.; FIEDLER N.C.; Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Árvore**. 2010; 34(5): 929-936.

PEARSON, R.G.; GILMORE, R.C. Characterization of the strength of juvenile wood of loblolly pine (*Pinus taeda*). **For. Prod. J.**, Madison, v. 21, n. 1, p. 23-30, May 1980.

SILVA et al. Densidade básica e teor de umidade da madeira de três espécies arbóreas em Paragominas, Pará. In: 1º Fórum de Anatomistas De Madeira Da Amazonia, 2016. **Anais...** 2016

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

SILVA, J. C.; MATOS, J.S.M.; OLIVEIRA, J.T.S.; EVANGELISTA, W, V. Influência da idade e da posição radial na flexão estática da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Rev. Árvore**, vol.29 no.5 Viçosa Sept./Oct. 2005.

SILVA, J.C. Eucalipto: A madeira do futuro. **Revista da Madeira**, Edição especial, 2001, 114p

SIMÃO, R. L.; NARCISO, A. G. S. O.; SOMMER, S. M. Characteristics of Wood and Pulp from *Eucalyptus dorrigoensis* Trees. In: INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON *Eucalyptus* PULP, 5., 2011, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: [S. I.], 2011. p. [S. I.].

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**: structure, properties, utilization. New York: Chapman & Hall, 1991. p. 309-339.

TURNBULL, J.W. and ELDRIDGE, K.G. The natural environment of *Eucalyptus* as the basis for selecting frost resistance species. In: **Proceedings of IUFRO/AFOCEL symposium on frost resistant *Eucalyptus***. 26th - 30th September, Bordeaux, France. p. 43-62, 1983.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa, MG: Sociedade de investigações florestais, 1984. 21p.

ZOBEL, B. J.; VAN BUIJTENEN, J. P. **Wood variation: its causes and control.**
Berlin: SpringerVerlag, 1989. 363 p.
ZOBEL, B. Silvicultural effects on wood properties. **IPF International**, n.2, p.31-38,
1992.

CAPÍTULO III - RENDIMENTO E QUALIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus benthamii* MAIDEN ET CAMBAGE NOS PROCESSOS DE DESDOBRO E SECAGEM

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, devido a seu extenso território e aos climas bastante distintos entre as diversas regiões que o compõe, possibilita a introdução e o desenvolvimento de inúmeras espécies florestais, os quais vem desde o período de colonização e povoamento do país. No que se refere as espécies do gênero *Eucalyptus*, sua introdução data do final do século XIX, desde então, vem crescendo rapidamente, impulsionado pela fácil adaptação (VECHI; MAGALHÃES JÚNIOR, 2018).

No início da década de 60, os plantios das espécies de *Eucalyptus* restringiam-se à produção de postes de transmissão, lenha, cercas vivas e quebra-ventos. No entanto, a crescente demanda de madeira no país, despertou interesse na madeira serrada, tal como aconteceu em outros países, como Austrália, África do Sul e Índia. Entretanto, as espécies deste gênero, exigem cuidados diferenciados em seu processamento, os quais tem impactos diretos na qualidade do produto final. Estes cuidados são justificados pela presença de tensões internas, que afetam severamente as suas propriedades tecnológicas, e conseqüentemente, o seu processamento e usos, especialmente, quando utilizadas árvores com ciclo de rotação médio ou curto (CALONEGO E SEVERO, 2005).

Até o início do século XXI, toda experiência silvicultural brasileira com espécies do gênero *Eucalyptus* se resumia na produção de florestas jovens, de ciclo curto e de rápido crescimento. Sendo assim, toda a madeira era utilizada na produção de celulose, carvão vegetal e painéis reconstituídos. Em vista da falta de controle da matéria-prima e dos parâmetros dependentes do processamento, as experiências na área de serraria com a madeira deste gênero têm-se mostrado muito restritas, quanto a possibilidade de suas extrapolações. Esse quadro tem grandes possibilidades de reversão, na medida em que se romperem alguns preconceitos e se aprofundarem os estudos sobre as inúmeras alternativas de uso múltiplo, principalmente na indústria moveleira, construção civil e embalagens.

Além do fato das indústrias utilizarem a madeira com ciclo curto e médio de rotação, e a maior parte das pesquisas seguirem a mesma tendência, pode-se mencionar

que as abordagens existente com a madeira de *Eucalyptus* se restringem a poucas espécies, sendo elas *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. viminalis*, *E. saligna* e o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*, que se desenvolvem em regiões de clima quente, não se estendendo as que toleram o frio e a geada, que estariam aptas para implantação na região sul do Brasil.

Nesta região, algumas espécies vêm sendo estudadas em plantios experimentais de empresas, institutos de pesquisa e universidades, com intuito de avaliar o desempenho silvicultural e tecnológico como o *E. dunnii*, o *E. badjensis* e o *E. benthamii*. Entre estas espécies, destaca-se o *E. benthamii* em função do seu grande potencial de crescimento e resistência à geada (SANTOS et al., 2012).

O *E. benthamii* é uma espécie nativa da Austrália, implantada no Brasil, mais precisamente nos Estados de Santa Catarina e Paraná pela Embrapa Florestas no ano de 1988. Apresenta rápido crescimento e excelente forma de fuste. Se plantada em época adequada, não é danificada por geadas severas (DUQUE SILVA et al., 2012).

Segundo Higa (2003), apesar do alto crescimento em diâmetro e altura, o *E. benthamii* em plantios jovens, possui uma madeira dimensionalmente instável, com índices elevados de retratibilidade, os quais explicam a alta intensidade de defeitos de processo observados no desdobro e na secagem. Assim, Higa et al. (2000) alertam que a espécie em rotações curtas, é adequada somente para a produção de lenha, carvão, estacas, postes e moirões, porém não é recomendada para serraria.

Independente da espécie de *Eucalyptus* utilizada, a produção de madeira serrada de qualidade é possível somente quando existe pesquisa básica relacionada as caracterizações anatômicas e químicas, e as propriedades físicas e mecânicas, bem como o desempenho das espécies nos diversos processos de transformação mecânica como por exemplo no desdobro e na secagem, e no desenvolvimento de produtos acabados, os quais propiciam maior agregação de valor. Assim como, estudos que utilizam a idade ideal de rotação para fins de desdobro e demais processos de industrialização da madeira.

O processo de desdobro das toras, além das características intrínsecas da espécie florestal utilizada, também é afetado pelas características dos equipamentos de corte, pelo diâmetro das toras e pelo sistema de corte aplicado, o qual é classificado em tangencial e radial.

Além de adaptações no processamento de espécies do gênero *Eucalyptus* a qualidade da madeira pode ser melhorada a partir da utilização de alternativas ao

processo de secagem convencional, visto que os defeitos podem ocorrer tanto nas atividades de desdobro, quando naquelas que envolvem os processos de secagem. Como alternativas, apesar do maior tempo necessário para a operação, pode-se mencionar a secagem ao ar livre, a secagem ao ar livre combinada com a secagem em câmara, e ainda a secagem em câmara com velocidade reduzida por meio de programas de secagem que submetem a madeira a baixas temperaturas e altas umidades relativas.

Diante do exposto, salienta-se que apesar da grande divulgação do potencial silvicultural do *E. benthamii* pelas instituições que o trouxeram para o Brasil, e dos esforços na realização de pesquisas para a utilização da espécie; as empresas reflorestadoras e pequenos / médio proprietários de florestas não estão satisfeitos com os resultados divulgados, justificando a introdução da espécie em nichos de mercado de baixo valor agregado. No entanto, é importante destacar que a caracterização tecnológica conduzida com a madeira desta espécie até o momento, são com árvores jovens, que não vislumbram o potencial madeireiro da espécie.

O objetivo deste capítulo foi avaliar a influência da classe diamétrica e do sistema de desdobro no rendimento do processo de conversão de toras de *Eucalyptus benthamii* provenientes de árvores com ciclo de rotação longa (23 anos), bem como a qualidade das peças de madeira serrada verde e seca.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Matéria-prima

As árvores de *E. benthamii* utilizadas no estudo foram provenientes de um plantio experimental com 23 anos, localizado na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), de Lages, Santa Catarina. Foram disponibilizadas pela empresa, cinco árvores com altura total média de 37,16 m (35,30 a 39,30 m), altura comercial até 8 cm de diâmetro de 31,36 m (27,60 a 33,60 m) e DAP médio de 49 cm (42 a 63 cm).

O plantio experimental foi iniciado em 1994, com objetivo de observar o crescimento e a adaptação da espécie ao clima local para a colheita de sementes potenciais. As árvores em total de 30, foram plantadas no espaçamento 3 x 3 m em 5 filas, com 6 árvores em cada uma delas. O solo do local é descrito como distrófico álico, sendo feito apenas uma adubação com 200 g de NPK (50-20-10) por cova, antes da inserção das mudas.

Após a derrubada das árvores, com motosserra, realizou-se a marcação das posições de retirada dos toretes para classificação e desdobro, a qual foi iniciada em 1,30 m, em função da primeira tora ter sido destinada para outro procedimento. Desta forma, foram removidos toretes de 2,40 m, até o diâmetro médio mínimo de 23,7 cm, gerando em média 7 toretes por árvore.

Foram medidos em cada um dos toretes, o comprimento e os diâmetros das extremidades com auxílio de uma trena e uma suta, respectivamente, de modo a determinar o volume pelo método de *Smalian* e realizar a distribuição em 4 classes diamétricas, as quais tiveram seus limites inferior e superior estabelecidos após a medição do diâmetro de todos os torestes. Dentro de cada classe diamétrica, foram estabelecidas duas sub-classes em função do sistema de desdobro a ser empregado durante o corte (Tabela 5).

Desta forma, o delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com quatro fatores (classe diamétrica) e dois níveis (sistemas de desdobro), num total de 8 tratamentos com no mínimo 4 repetições (cada uma das toras desdobradas foi considerada como uma repetição dentro de cada tratamento)

Tabela 5 – Plano experimental

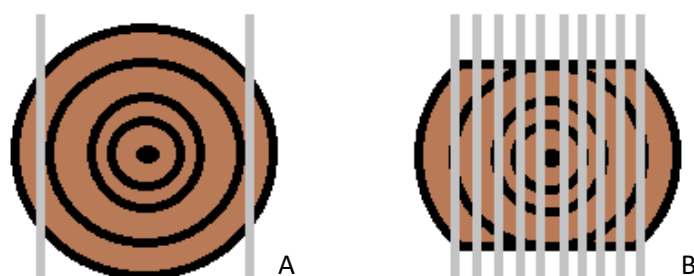
Tratamento	Classe Diamétrica	Sistema de Desdobro	Repetições (toras)
1	A	Tangencial	4
2	(23,7-30,6)	Radial	4
3	B	Tangencial	4
4	(30,7 – 34,8)	Radial	4
5	C	Tangencial	5
6	(34,9 – 40,7)	Radial	5
7	D	Tangencial	4
8	(40,8 – 54,5)	Radial	4

2.2 Sistemas de desdobro

2.2.1 Desdobro tangencial

Conforme apresentado na figura 1, as toras inicialmente foram desdobradas de forma alternada em uma serra fita simples, onde foram retiradas duas costaneiras de espessura reduzida, as quais não foram reaproveitadas. Posteriormente, o semi-bloco foi desdobrado simultaneamente em uma serra circular múltipla de dois eixos para obtenção de peças com 25,4 mm de espessura e largura variável pelo diâmetro de cada tora.

Figura 1 – Desdobro tangencial. (A) desdobro principal, (B) resserragem.

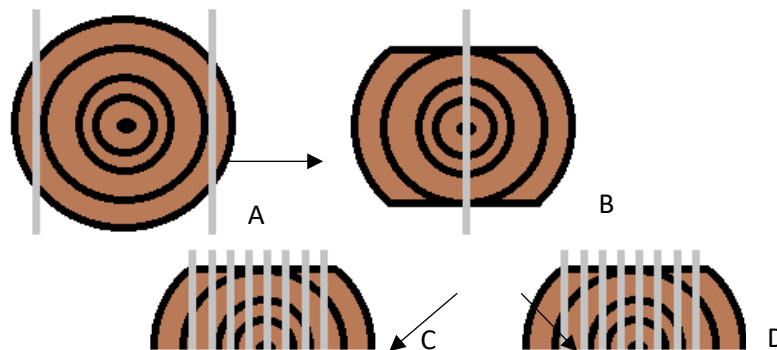


2.2.2 Desdobro radial

Na figura 2, que apresenta o desdobro radial, observa-se que as toras foram desdobradas em uma serra fita simples, onde foram obtidos um semi-bloco central e duas costaneiras de espessura reduzida, com intuito de reduzir o efeito das tensões de

crescimento no corte posterior. O semi-bloco central foi tombado e cortado ao meio na mesma serra fita simples, gerando dois semi-blocos menores. Posteriormente, cada semi-bloco foi resserrado radialmente em uma serra circular múltipla de dois eixos, gerando peças com 25,4 mm de espessura com largura variável pelo diâmetro de cada tora.

Figura 2 – Desdobro radial. (A) e (B) desdobro primário; (C e D) resserragem.



2.3 Avaliação dos processos de desdobro

2.3.1 Avaliação quantitativa

A avaliação quantitativa do processo de desdobro se refere ao rendimento em madeira serrada obtido na relação entre o somatório dos volumes das peças de madeira serrada verde de cada tora após o processamento e o volume de cada tora utilizado para a operação. Para a determinação do volume de cada peça de madeira serrada, foi feita a medição de três espessuras e três larguras ao longo do comprimento da peça com auxílio de um paquímetro. Desta forma, obteve-se o rendimento bruto.

O Rendimento líquido (clear), denominado também de real ou comercial do processo do desdobro que levou em consideração o volume de cada tora, as dimensões comerciais das peças de madeira serrada (largura de 225, 200, 175, 150, 125, 100, 75 e 50 mm e comprimento de 2,40; 2,20; 2,00; 1,80; 1,60; 1,40; 1,20 e 1,00 m) e as classes de qualidade estabelecidas pela NBR 14806 (ABNT, 2002), foi determinado com vistas as etapas posteriores de secagem e beneficiamento, ou ainda, a venda para o mercado.

2.3.2 Avaliação qualitativa

A avaliação qualitativa das peças de madeira serrada, consistiu na mensuração dos defeitos inerentes a matéria-prima e ao processo, após o desdobro e também após a secagem. Os defeitos avaliados foram fendilhamentos, rachaduras, presença de medula, nós (firmes, caridos e vazados), esmoado, empenos (encurvamento, arqueamento e torcimento), furos de inseto e bolsas ou veios de resina. A avaliação dos defeitos seguiu os procedimentos descritos na NBR 14806 (ABNT, 2002). Esta norma foi utilizada também como referência, para o enquadramento das peças em classes de qualidade a partir da mensuração de cada defeito.

2.4 Secagem

2.4.1 Preparo do material

As peças de madeira serrada, em um total de 418, provenientes do desdobro tangencial e radial, foram submetidas ao processo de secagem ao ar livre.

As peças foram divididas em duas pilhas horizontais, sendo uma com peças provenientes do desdobro tangencial e outra do radial (Figura 3). Dentro de cada uma das pilhas, com dimensão aproximada de 2 m de largura, 1,50 de altura e 2,40 de comprimento, foram distribuídas as tábuas de cada sistema de desdobro, de forma aleatória. As pilhas foram montadas sobre um piso com revestimento cerâmico e com 8 cm de altura, cobertura de telhas fibrocimento e tabiques com dimensões de 2 x 2 cm e espaçamento de 40 cm.

Figura 3 – Secagem ao ar livre das peças de madeira serrada de *E. benthamii*.



2.4.2 Monitoramento do teor de umidade

Para o monitoramento do teor de umidade das peças de madeira serrada durante o processo de secagem ao ar livre, foram selecionadas duas peças por tratamento (4 classes diamétricas e 2 sistemas de desdobro, total 8 tratamentos), as quais apresentavam características representativas. As peças foram seccionadas transversalmente em cinco partes, conforme figura 4, sendo: seção 1 e 5, peças das extremidades que foram colocadas diretamente na pilha; seções 2 e 4, peças denominadas de filetes, as quais foram utilizadas para a determinação do teor de umidade inicial; seção 3, peça que foi utilizada como amostra controle com aproximadamente 50 cm.

Figura 4 – Representação da confecção de amostras para monitoramento do teor de umidade.



Os filetes, seções 2 e 4 (figura 4), foram pesados em uma balança de precisão e colocados em uma estufa de circulação forçada de ar a temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até massa constante, sendo posteriormente resfriados em um dessecador e pesados novamente. Com o peso úmido e seco de cada um dos filetes, foi determinado o respectivo teor de umidade, cujo valor médio é o mesmo da amostra controle (seção 3), em função de terem sido retirados da mesma peça.

O monitoramento do teor de umidade por meio da amostra controle (seção 3), foi iniciado com a pesagem e determinação do peso seco, tendo como base o teor de umidade médio das seções 2 e 4. Após a pesagem, cada amostra controle foi colocada na pilha, juntamente com as seções 1 e 5, e dado continuidade ao gradeamento (figura 5).

Com a determinação do teor de umidade inicial de cada amostra controle, foi possível a obtenção do teor de umidade da carga a cada três dias por meio do método gravimétrico que foi conduzido até que as amostras controle atingissem massa constante, ou seja, até as peças entrarem em equilíbrio com o ambiente.

Figura 5 – Posicionamento das amostras controle em um dos lados da grade.



2.5 Avaliação do processo de secagem

A avaliação do processo de secagem foi feita a partir do cálculo da taxa de secagem, de acordo com as recomendações de Simpson (1991) e Severo (2000). A taxa de secagem, que corresponde à razão entre uma quantidade de água evaporada (diferença de massa entre pesagens) e a área total da peça em um determinado tempo foi determinada pela diferença de umidade entre duas medições. A taxa de secagem foi determinada para os dois métodos de desdobro. Para tanto, utilizou-se os dados de umidade obtidos durante as secagens.

Os valores de taxa de secagem foram divididos por sistema de desdobro, existindo um conjunto de dados para o sistema de desdobro tangencial e outro para o sistema de desdobro radial. Os valores avaliados foram: Desde a condição de madeira verde até 30% de umidade (taxa capilar), verde ao teor mínimo encontrado e de 30% até o mínimo de umidade dentro do material.

A avaliação do decaimento da umidade interna do material foi feita a partir da análise qualitativa de gráficos de linhas comparando com os fatores climáticos encontrados na região. Os dados referentes a precipitação média, temperatura, umidade de equilíbrio, umidade relativa do ar e velocidade do vento foram cedidos pelo instituto nacional de meteorologia (INMET) tendo este uma estação meteorológica automática na cidade de Lages-SC.

2.6 Análise dos dados

Para o Rendimento líquido (clear) e bruto, antes e depois do processo de secagem, foi utilizada uma análise multifatorial, tendo quatro fatores (classe diamétrica) e dois níveis (sistemas de desdobro). Para a análise do processo de secagem, foram feitas análises de variâncias simples. Para ambos os casos foi aplicado um teste de média, sendo este o teste de Tukey, considerando um valor de $p < 0,05$, o qual corresponde ao nível de 95% de confiabilidade. Para tanto, foi utilizado o programa SISVAR 5.6.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação do processo de desdobro - rendimento

Os resultados da análise de variância para o rendimento bruto e líquido do processo de desdobro estão apresentados na tabela 11, onde pode ser observado que a classe diamétrica e a sua interação com os métodos de desdobro, influenciaram no rendimento bruto, no entanto, ao se considerar somente os métodos de desdobro, observou-se equivalência. Já para o rendimento líquido (clear), somente a classe diamétrica influenciou no rendimento da transformação das toras em peças de madeira serrada.

Tabela 6 – Análise de variância para o rendimento bruto e líquido do desdobro.

Fonte de Variação	Rendimento bruto	Rendimento líquido (clear)
Classe diamétrica (CD)	0,0004*	<0,0001*
Sistema de desdobro (MD)	0,8327 ^{ns}	0,7568 ^{ns}
CD x MD	0,0176*	0,7202 ^{ns}

Legenda: * indicam que houve influência estatística significativa dentro de cada sistema de desdobro; ns indica que não houve influência estatística significativa dentro de cada sistema de desdobro, ambos pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A diferença estatística significativa encontrada entre as classes diamétricas para o rendimento bruto, também foi verificada por Anjos e Fontes (2017) ao avaliar espécies do gênero *Eucalyptus* spp. e por Scanavaca e Garcia (2003) no estudo com *E. urophylla*. Os autores afirmam que o maior diâmetro da ponta fina da tora, juntamente

com a menor conicidade e a melhor uniformidade do fuste, proporcionam maior volume de peças de madeira serrada, em função do maior aproveitamento da tora durante o corte, que tem como consequência, a obtenção de um maior número de peças e /ou peças mais largas, as quais apresentam um maior valor agregado no momento da venda. Wade (1992) cita que o rendimento em madeira serrada também é aumentado com o diâmetro das toras, devido ao menor volume de toras perdido com costaneiras e aparas.

Comportamento contrário, foi descrito por Del Menezzi e Nahuz (1998), com toras de *E. grandis* com 12 anos e por Cunha et al. com toras de *E. benthamii* com 13 anos; os autores salientam que além do diâmetro, existem outros fatores que interferem no rendimento em madeira serrada, como a qualidade da tora, a técnica de desdobro empregada e os equipamentos utilizados nas operações de corte.

A existência de diferença significativa neste rendimento, segue os mesmos aspectos mencionados anteriormente, somado ao maior aproveitamento das peças livres de defeitos, os quais são relativos à presença de esmoado e a retirada das irregularidades em dimensões (largura e espessura), principalmente nas extremidades das peças.

A ausência de diferença estatística significativa entre os métodos de desdobro tangencial e radial também foi encontrado por outros autores como Juízo et al. (2014), ao estudar a madeira de espécies do gênero *Eucalyptus* spp. com 27 anos, Rocha (2000) com *E. grandis* e *E. dunnii* com 12 anos e 16,5 anos, respectivamente e Cunha et al. (2015) com *E. benthamii* com 13 anos de idade. Este comportamento pode ser explicado pelo não aproveitamento das quatro costaneiras, as quais apresentavam espessura reduzida, e pelo número equivalente de cortes no processo de resserragem nas peças pelos dois métodos de desdobro. Cabe salientar que no desdobro tangencial, o semi-bloco foi resserrado em uma única vez, ou seja, este método provavelmente apresentará uma maior eficiência / produtividade, quando comparado com o desdobro radial, com dois semi-blocos por tora, e consequentemente um maior tempo de resserragem no processamento das duas partes.

Quanto à interação classe diamétrica e sistema de desdobro, observa-se diferença significativa para o rendimento bruto, que pode ser atribuída ao maior volume de peças de madeira serrada das toras de maior diâmetro e a obtenção de peças mais largas, que é característico do desdobro tangencial. Todavia, o Rendimento líquido (clear) não foi influenciado pela interação. Outro fator a ser levado em conta é o fato de que toras mais finas são provenientes de porções mais elevadas do fuste, tendo assim uma maior conicidade e resultando em um menor aproveitamento da mesma

Os valores médios apresentados na tabela 7, são referentes aos rendimentos brutos e líquidos encontrados no processamento primário de toras das quatro classes diamétricas, desdobradas por meio de dois métodos de desdobro. Observa-se um aumento gradativo nos rendimentos bruto e líquido em ambos os métodos de desdobro, à medida que o diâmetro da tora aumenta. Tomando-se como referência a análise de variância e o Teste de Tukey, constata-se de forma geral, diferenças significativas entre a classe diamétrica A (23,7 - 30,6 cm) e D (40,8 – 54,5 cm), no entanto, cabe salientar, que em uma serraria, a diferença de 1% no rendimento, já é suficiente para alterar a matéria-prima e/ou o processo, em função dos volumes de toras desdobrados por dia.

Quanto ao sistema de desdobro, observa-se equivalência no rendimento bruto, e uma falta de padronização nas duas primeiras classes diamétrica (A e B) no desdobro do tipo radial, o que pode ser devido aos defeitos naturais presentes na matéria-prima utilizada, como a presença de nós, medula e veios de resina e maior conicidade de toretes retirados nesta porção.

Ainda na tabela 7, nota-se que os rendimentos brutos foram superiores aos líquidos, que considerou as peças isentas de defeitos, ou seja, peças 100% *clear*, assim, a proposta de retirada dos defeitos naturais e de processo no refilo e na destopadeira geraram uma redução média 25,48% no aproveitamento em peças de madeira serrada.

Tabela 7 - Rendimento do processo de desdobro – madeira serrada verde.

Classe	Rendimento do processo de desdobro (%)			
	Rendimento bruto (peças inteiras)		Rendimento líquido (clear) (peças 100% <i>clear</i>)	
	Desd. Tangencial	Desd. Radial	Desd. tangencial	Desd. Radial
A 23,7 – 30,6	48,51 Aa*	44,40 A a*	19,38 A a	16,23 A b
B 30,7 – 34,8	49,57 Aa*	53,49 ABa*	24,59 B b	30,25 B a
C 34,9 – 40,7	50,53 Aa*	54,46 ABa*	35,42 Ca	31,66 B b
D 40,8 – 54,5	67,16 Ba*	65,89 Ba*	38,21 Ca	36,80 Ca
Média	53,95	54,57	29,25	28,3
Média	54,76		28,78	

Legenda: Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna / letra minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si; valores com * indicam que houve diferença estatística significativa entre rendimento bruto e líquido dentro de cada sistema de desdobro, ambos pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

O rendimento médio bruto obtido na transformação das toras de *E. benthamii* em peças de madeira serrada verde foi de 54,76% (Tabela 7), o qual foi equivalente a espécies do mesmo gênero como em Carvalho e Nahuz (2001) com o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* (56,43%), Amparado (2008) com *E. saligna* (52,77%) e Cunha et al. com

E. benthamii (54,2%); e superior a *E. grandis* (48,55%), *E. dunnii* (49,32%) e *E. saligna* (53,55%) no estudo de Anjos e Fontes (2017); e *E. saligna* (33,15%), *E. grandis* (31,70%) e *E. cloeziana* (39,30%) no estudo de Del Menezzi e Nahuz et al. (1998). Neste último, atribui-se ao diâmetro, a grande diferença em relação ao presente estudo.

No sistema de desdobro tangencial, observa-se um incremento de 1% no rendimento bruto entre as classes A e B, e entre B e C, ou seja, equivalência, no entanto, quando se compara a classe C com a classe D, tem-se um aumento de 16,6%, o qual foi significativo em relação aos anteriores. Trabalhos como o de Ferreira et al. (2004), ao analisarem a influência de métodos de desdobro tangenciais para o gênero *Eucalyptus* spp. com idade média de 14 anos, tiveram a mesma tendência de aumento no rendimento nas maiores classes de desdobro e uma menor diferença em classes menores. Espécies tropicais, também apresentaram o mesmo comportamento, segundo Biasi e Rocha (2007) para *Erismia uncinatum* (Cedrinho), *Qualea albiflora* (Cambará) e *Mezilaurus itauba* (Itaúba) com idades de 21 a 25 anos.

Para o sistema de desdobro radial, verifica-se uma amplitude maior na diferença de rendimento bruto para as classes A e B (9%), uma similaridade entre as classes B e C (1%), e um aumento considerável da classe C para a D (11%); no entanto, somente as classes A e D foram estatisticamente diferentes.

Assim, constata-se que o aumento do rendimento bruto, classe A para a D, com o aumento da classe diamétrica foi mais intenso no método radial (21,4%) do que no tangencial (18,7%).

Em relação aos métodos de desdobro, Rocha (2000), também observou rendimentos brutos equivalentes. Para o autor, que trabalhou com *E. grandis* e *E. dunnii* com 12 anos, o rendimento obtido no tangencial foi de 43,19%, enquanto que no radial, 43,94%. Outros, como Müller (2013) e Cunha et al (2015) para *E. benthamii* com 6 anos e 13 anos, verificaram uma superioridade do tangencial, principalmente para as classes com maior diâmetro.

Em termos industriais, o sistema de desdobro tangencial, otimiza o processo produtivo, demandando menos tempo de corte por não se fazer necessário tanta movimentação das toras nos equipamentos de corte. Segundo Vermaas (1995), o desdobro tangencial é preferido na Austrália por apresentar melhor desenho e maior rendimento em madeira serrada. Rocha (2002) destaca que esse método apresenta também a vantagem de permitir que o empenamento apresentado pelas tábuas seja mais facilmente corrigido do que o apresentado pelas tábuas radiais.

A tabela 7, também apresenta os valores médios para rendimento líquido (clear) do processo de desdobro, na qual nota-se uma alta dependência do rendimento com a elevação do diâmetro das toras, independente o sistema de desdobro aplicado, tanto que, os rendimentos da classe D foram o dobro da A no tangencial, e superior ao dobro no radial. Deste modo, houve uma diferença significativa no Rendimento líquido (clear) com o aumento da classe diamétrica; onde a classe A, com o menor diâmetro, apresentou rendimentos abaixo de 20% e a classe D, acima de 36% podendo ser atribuído principalmente a níveis mais elevados de conicidade e presença de nós, os quais foram descartados na contagem de rendimento líquido (clear) do material.

No que tange ao sistema de desdobro, não se observa um padrão, devido ao tangencial ser superior ao radial na classe de menor diâmetro, menor na segunda classe, maior na terceira e equivalente na maior classe diamétrica.

Nos estudos com rendimento líquido (clear) do desdobro de toras de *E. benthamii*, aos 6 anos Müller et al (2013), observaram rendimento médio (somente retirada das rachaduras), de 31,18% para o método tangencial e 35% para o método radial; e Cunha et al. (2015), com 13 anos (retirada de defeitos naturais e de processo), 39,31% para o tangencial e 39,05% para o radial. Estes valores são superiores devido ao critério escolhido pelos autores não levar em consideração a mesma quantidade de defeitos avaliados neste estudo, assim como a não utilização de medidas padrões para enquadrar o rendimento líquido (clear) em cada tábua.

É importante destacar, que no presente estudo, os rendimentos líquidos, são referentes a peças 100% *clear*, ou seja, sem defeito algum. Nas empresas, os defeitos não são retirados em sua totalidade, mas sim, em sua maioria, enquadrados em classes de menor valor agregado. Neste sentido, o próximo item, 3.1.3 abordará o rendimento neste aspecto.

3.1.1 Rendimento bruto por classe de qualidade

Na tabela 8, estão apresentados os percentuais de peças que podem ser aproveitados em cada uma das classes de qualidade e em cada sistema de desdobro aplicado, segundo a NBR 14806 (ABNT, 2002), bem como os números totais de peças obtidas no desdobro das toras. As razões para o enquadramento das peças em cada uma

das classes de qualidade, que foram determinadas por meio dos defeitos naturais e de processo, estão apresentadas na tabela 9.

Na tabela 8 observamos que temos um maior percentual de peças com defeitos nas classes de qualidade 4 e 5 a partir de tábuas desdobradas de toras pertencentes a classe diamétrica A, a qual comporta toras de menor diâmetro. Este comportamento denota uma incidência maior em defeitos em toras de menor diâmetro, podendo estar relacionado a presença de nós que por sua vez encontram-se em maior quantidade em toras altas no fuste.

Tabela 8 – Porcentagem de peças de madeira serrada por classe de qualidade.

Classes		Classes de qualidade (NBR 14806, 2002)					Total
Sistema de desdobro		1	2	3	4	5	
Diamétricas		Porcentagem de peças por classe					
A 23,7 – 30,6	Tangencial	6,67 ₍₀₂₎	6,67 ₍₀₂₎	3,33 ₍₀₁₎	50,00 ₍₁₅₎	33,33 ₍₁₀₎	100 ₍₃₀₎
	Radial	2,50 ₍₁₎	0,00 ₍₀₎	7,50 ₍₃₎	75,00 ₍₃₀₎	15,00 ₍₆₎	100 ₍₄₀₎
B 30,7 – 34,8	Tangencial	15,79 ₍₆₎	21,05 ₍₈₎	15,79 ₍₆₎	21,05 ₍₈₎	26,32 ₍₁₀₎	100 ₍₃₈₎
	Radial	1,82 ₍₁₎	20,00 ₍₁₁₎	5,45 ₍₃₎	50,91 ₍₂₈₎	21,82 ₍₁₂₎	100 ₍₅₅₎
C 34,9 – 40,7	Tangencial	2,38 ₍₁₎	4,76 ₍₂₎	4,76 ₍₂₎	45,24 ₍₁₉₎	45,24 ₍₁₉₎	100 ₍₄₂₎
	Radial	10,67 ₍₈₎	10,67 ₍₈₎	6,67 ₍₅₎	46,67 ₍₃₅₎	25,33 ₍₁₉₎	100 ₍₇₅₎
D 40,8 – 54,5	Tangencial	1,75 ₍₁₎	0,00 ₍₀₎	1,75 ₍₁₎	40,35 ₍₂₃₎	56,14 ₍₃₂₎	100 ₍₅₇₎
	Radial	4,88 ₍₄₎	1,22 ₍₁₎	3,66 ₍₃₎	34,15 ₍₂₈₎	56,10 ₍₄₆₎	100 ₍₈₂₎
Média	Tangencial	6,65 ₍₃₎	8,12 ₍₁₂₎	6,41 ₍₁₀₎	39,16 ₍₆₅₎	40,26 ₍₇₁₎	100 ₍₁₆₁₎
	Radial	4,97 ₍₄₎	7,97 ₍₂₀₎	5,82 ₍₁₄₎	51,68 ₍₁₂₁₎	29,56 ₍₈₃₎	100 ₍₂₄₂₎
	Geral	5,96 ₍₂₄₎	8,05 ₍₃₂₎	6,12 ₍₂₄₎	45,42 ₍₁₈₆₎	34,91 ₍₁₅₄₎	100 ₍₄₀₃₎

Legenda: Valores entre parênteses referem-se à quantidade de peças de madeira serrada.

Tabela 9 – Caracterização dos defeitos analisados em cada classe diamétrica

Classes Diamétricas	Classe	Sistema de Desdobro	Porcentagem das peças com o defeito / características da peça para fins de classificação
A _{23,7 – 30,6}	1	Tangencial	
		Radial	
	2	Tangencial	100% NF
		Radial	
	3	Tangencial	100% FE
		Radial	100% FE
	4	Tangencial	15% FE, 46% NC; 38% VR
		Radial	3% FE; 27% NC; 63% VR; 7% AQ
	5	Tangencial	50% FE; 40% NC; 10% VR
		Radial	33% FE; 33% NC; 33% VR.
	1	Tangencial	-----
		Radial	-----
	2	Tangencial	100% NF

B _{30,7 – 34,8}	3	Radial	27% FE; 73% NF
		Tangencial	100% FE
	4	Radial	100% FE
		Tangencial	8% FE; 31% NC; 62% VR
	5	Radial	36% FE; 29% NC; 36% VR
		Tangencial	8% FE; 31% NC; 62% VR
C _{34,9 – 40,7}	1	Radial	50% FE; 42% NC; 8% VR
		Tangencial	-----
	2	Radial	-----
		Tangencial	50% FE; 50% NF
	3	Radial	50% FE; 29% NF; 43% AQ
		Tangencial	100% FE
	4	Radial	100% FE
		Tangencial	11% FE; 42% NC; 42% VR; 5% NS
	5	Radial	19% NC; 81% VR
		Tangencial	38% FE; 25% NC; 31% VR; 6% NS
D _{40,8 – 54,5}	1	Radial	22% FE; 39% NC; 39% VR
		Tangencial	-----
	2	Radial	-----
		Tangencial	-----
	3	Radial	100% NF
		Tangencial	100% FE
	4	Radial	100% FE
		Tangencial	30% NC; 70% VR
	5	Radial	4% FE; 18% NC; 71% VR; 7% NS
		Tangencial	25% NC; 75% VR
		Radial	20% FE; 2% NC; 76% VR; 2% NS

Legenda: NF: Nó Firme; NC: Nó Cariado; VR: Veios de Resina; NS: Nó Solto; FE: Fendilhado; AQ: arqueamento

Na classe 1, que é caracterizada por peças totalmente livre de defeitos, foram enquadradas somente 24 peças, de um total de 403, o que representa somente 5,96%. Destas, 10 peças são tangenciais (6,65%) e 14 são radiais (4,97%). Não se observa nesta classe, um aumento do número de peças com o aumento do diâmetro das toras, no entanto, nas classes diamétricas menores (A e B), houve um maior percentual de peças tangenciais, e nas maiores (C e D), de peças radiais. O baixo percentual e número de peças na classe 1, está provavelmente ligado a falta de tratos silviculturais durante o desenvolvimento do experimento, tendo em vista que a única atividade realizada foi uma adubação na cova com NPK, momentos antes do plantio da muda.

Nas classes 2 e 3, os percentuais e o número de peças continuam baixos, com média geral abaixo de 9%, tanto para o tangencial, quanto para o radial. Da mesma forma que a classe 1, não se observa uma tendência com o aumento do diâmetro das toras, no entanto, nas classes avaliadas (1 e 3), não se verifica uma diferença padrão entre os sistemas de desdobro tangencial e radial.

As peças classificadas como qualidade 2 apresentavam características como a presença de nós firmes com comprimento de 25 mm/m e de fendilhamento em até 100 mm/m, enquanto que, para a qualidade 3, todas as peças apresentaram, exclusivamente, fendilhamento superior a 300 mm/m.

As classes 4 e 5, que são compostas pelas peças com o maior número de defeitos, ou seja, de menor valor agregado, apresentam o maior percentual, com médias gerais de 45,42% para a classe 4 e 34,91% para a 5. Para a classe 4, os principais defeitos encontrados nas peças foi a presença de fendilhamento com comprimento de até 500 mm/mm, nó solto, nó cariado e veios de resina em até 25 mm/m; já para a classe 5, observa-se os mesmos defeitos da anterior, no entanto, sem limite de comprimento, ou seja, são aceitas todas as peças que não foram enquadradas nas anteriores.

A presença de defeitos como nós, principalmente os cariadados, qualitativamente, tem como consequência a redução da resistência das peças. Kretschmann (2010) afirmou que os efeitos sobre a resistência da madeira dependem da proporção ocupada pelo nó na tábua e localização do nó, além da distribuição de esforços na peça. O mesmo autor relaciona a quantidade de nós cariadados com a falta ou inexistência de tratamentos culturais para o plantio em questão, assim como a consequente quebra natural dos galhos, fato este, associado ao processo de deterioração por fungos e insetos.

Segundo Foelkel (2010) a poda ou desrama em espécies do gênero *Eucalyptus* é feita com a finalidade de reduzir ao mínimo a incidência de nós na madeira. Apesar de ser impossível eliminar os ramos das árvores e sempre se ter que conviver com alguns nós, pode-se conseguir que eles se concentrem em uma região central no fuste, mais próximo da medula. O mesmo autor ainda diz que a primeira poda costuma ser feita quando o povoamento possui cerca de 1,5 anos de idade, se podando 50% das melhores árvores, a segunda, quando as árvores estiverem com 10 a 12 metros de altura e a terceira quando estas, já estiverem com altura de 15 a 20 metros. Tendo ao final do processo em média de 1,5 a 2,0 m³ de madeira livre de qualquer tipo de nó em cada tora.

A desrama, no caso deste estudo, não foi realizada em nenhum momento durante o desenvolvimento das árvores, justificando a elevada quantidade de nós, principalmente os cariadados presentes nas peças das classes 4 e 5.

O fendilhamento, que foi encontrado em peças de todas as classes, mas em grande percentual nas classes 2 e 3, é decorrente do: (i) processo de derrubada, em função do grande peso das árvores, que podem fendilhar quando caem no chão, e das tensões de crescimento que são forças que se originam na região cambial do tronco

durante a fase de maturação das células, em que elas tendem a se contrair longitudinalmente e se expandir transversalmente (LIMA et al., 2000), no entanto, este último, tende a ser menos expressivo, em função de se tratar de árvores com 23 anos; (ii) processo de armazenamento, que foi longo, cerca de 2 meses, em função da disponibilidade de transporte e desdobro na serraria; nesta etapa, acredita-se que as toras que já apresentavam algum fendilhamento, aumentaram os seus comprimento, devido as oscilações de temperatura e umidade relativa do local; e (iii) desdobro, que não foi realizado de forma simultânea nos dois primeiros cortes do desdobro primário, e sim em uma serra fita simples de forma alternada. Segundo Lima et al., (2000), os fendilhamentos estão ligados a gradientes de umidade existentes ao longo da tora o qual pode ter existido pelo tempo de armazenagem das toras no local de corte.

Os veios de resina, também chamados de bolsa de kino, gomose do eucalipto ou pau-preto, que foram muitos frequentes nas peças classificadas com qualidade 4 e 5 são muito comuns, segundo Tippet (1986), em condições subtropicais e tropicais, manifestando-se como um escurecimento dos troncos das árvores causado pela exudação de um líquido avermelhado, que contém uma quantidade maior de polifenóis do que de carboidratos. O autor cita também, que o aparecimento deste defeito é comum em períodos de seca prolongado, em plantios que foram atingidos por fogo ou algum dano mecânico, e plantios que tiveram grande incidência de patógenos como fungos e insetos. Ferreira (1989) também menciona que o defeito é decorrente de problemas fisiológicos como mudanças bruscas de temperaturas e falta de nutrientes no solo, sendo mais comum em espécies como o *E. citriodora*, *E. maculata*, *E. paniculata* e algumas procedências de *E. grandis*.

O plantio experimental, de onde foram retiradas as árvores para o estudo é caracterizado por um solo pobre, uma vez que solos distróficos são tidos como de caráter ácido, rasos, de média e baixa fertilidade e com baixa quantidade de cálcio; aliado a esta situação, pode-se mencionar a falta de adubação que pudesse suprir tal deficiência, desta forma, pode-se dizer que a presença do veios de resina em grande parte das peças foi devido ao solo onde as árvores foram plantadas e a falta de uma condução silvicultural maior específica, principalmente relacionada a correção dos nutrientes.

3.2 Avaliação do processo de secagem

3.2.1 Taxas de secagem

Na tabela 10, constam os teores de umidade das amostras controle por classe diamétrica no início e no final do processo da secagem ao ar livre (193 dias), observa-se umidade média final de 17,96%, a qual representa as peças dos dois sistemas de desdobro, tendo em vista que houve uma equivalência. O teor de umidade final obtido nas amostras controle está de acordo com as condições ambientais do local onde as peças foram submetidas a secagem, tendo em vista que INMET (2020), considera para Lages, nos meses de maio e junho, meses em que as pilhas foram desmontadas, uma umidade de equilíbrio de 17%.

Tabela 10 – Teor de umidade das amostras controle.

Amostra controle	Sistema de desdobro	TU Inicial (%)	TU mínimo (%)	Sistema de desdobro	TU Inicial (%)	TU mínimo (%)
1	Radial	73,30	16,29	Tangencial	63,31	17,02
2		77,92	17,81		62,17	17,01
3		41,18	16,36		89,04	15,57
4		45,57	18,81		99,70	19,44
5		47,03	17,29		55,38	19,61
6		49,88	20,08		71,16	18,37
7		59,69	20,36		75,74	16,67
8		49,20	18,02		59,93	18,66
Média		55,47 _(24,41)	18,12A _(8,48)		72,05 _(21,41)	17,80A _(8,09)

Legenda: TU: teor de umidade. Amostras controle 1 e 2: classe diamétrica A; 3 e 4: B; 5 e 6: C; 7 e 8: D. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

No início do processo, as amostras controle das peças tangenciais (72,05%) apresentavam teor de umidade superior as radiais (55,47%), o que pode estar relacionado a maior largura e ao fato que, do desdobro até o início do processo de secagem, tinham se passado cerca de 60 dias, o que proporcionou uma maior perda de umidade das peças radiais, que eram mais estreitas. No entanto, os dois valores médios estão de acordo com a amplitude de 50 a 133% encontrada por Zen (2016) para o início do processo de secagem para *E. grandis*, que vem a ser a espécie mais utilizada para fins de processamento mecânico no Brasil.

Na figura 6, que apresenta as curvas de secagem para os dois métodos de desdobro, as quais foram obtidas a partir dos valores médios das amostras controle, e na

tabela 25, que destaca as velocidades de secagem em dois períodos do processo, é possível observar uma maior redução do teor de umidade até 30%, a partir deste ponto, a perda de umidade foi mais lenta até o final do processo, tanto para as peças tangenciais, quanto para as radiais.

Figura 6 – Curvas de secagem ao ar livre para a madeira processada pelos dois métodos de desdobro

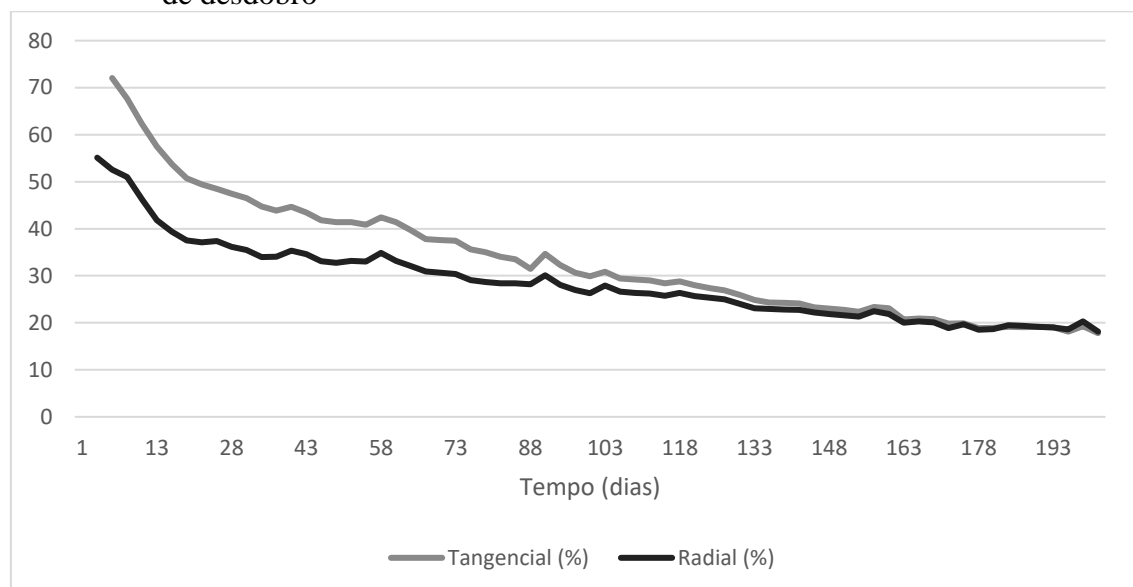


Tabela 11 – Taxas de secagem para os dois métodos de desdobro.

Teor de umidade	Taxa de Secagem (% teor de umidade / dia)	
	Radial	Tangencial
Verde a 30%	0,62 A	0,32 B
30% ao teor mínimo	0,11 A	0,13 A
Total	0,28 A	0,22 A

Nota: Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A maior taxa / velocidade de secagem observada até o ponto de saturação das fibras (PSF) é devido a facilidade da retirada da água livre ou capilar, demandando menores temperaturas, tendo em vista que a água, nesta fase, é aderida por forças de capilaridade nos espaços porosos e no lúmen celular, o que facilita a passagem da água para o meio externo. Entretanto, observa-se uma maior velocidade de secagem das peças radiais (0,62%tu/dia), quando comparado com as tangenciais (0,32%tu/dia), o que é decorrente das menores larguras das peças radiais.

Zen (2016), trabalhando com peças de densidade de 610 kg.m^{-3} provenientes de árvores de *Eucalyptus* spp com 15 anos, de dimensões de 25 x 110 x 2500 mm, observou uma taxa de secagem ao ar livre de 1,5% tu/dia, a qual foi superior aos valores médios encontrados no presente estudo. A autora cita que a baixa permeabilidade da madeira das espécies do gênero, aliada as pontoações com pequenos diâmetros, dificultam a retirada da água livre. Rozas (1993) em estudo com peças de madeira de 30 x 135 mm de *E. grandis* a partir de reflorestamento com 14 anos de idade e densidade básica de 470 kg.m^{-3} encontrou uma taxa média de secagem ao ar livre de 3,5% tu/dia até o PSF, resultado também superior ao encontrado neste estudo.

As altas taxas de secagem encontradas pelos autores podem estar relacionadas a baixa idade do material utilizado, que reflete na densidade, e consequentemente na permeabilidade da madeira.

Abaixo do PSF, pode-se observar na figura 11, uma estagnação da curva, sendo comprovada pela diminuição da taxa de secagem encontrada na tabela 25. Neste ponto, a remoção da água de impregnação é difícil e lenta, principalmente pelo fato da água da madeira estar aderida na parede celular, movimentando-se por difusão. Nesta fase, foi observado equivalência na taxa de secagem para peças tangenciais e radiais, demonstrando que a orientação dos anéis de crescimento, bem como a largura da peça não interferem no processo de forma significativa no processo; mas sim as condições ambientais, que foram as mesmas para ambos os métodos de desdobro.

Tomaselli (1977) e Jankowsky et al. (2003) mencionam que a retirada da água de impregnação é iniciada quando a linha de evaporação de água se restringe ao centro da peça, não havendo mais água livre no material, sendo a taxa de secagem regulada pelas características do material, até que o teor de umidade de equilíbrio seja alcançado. Nesta etapa, a retirada da água na madeira demanda de uma maior temperatura do ar, uma menor umidade de equilíbrio e maiores velocidades do ar.

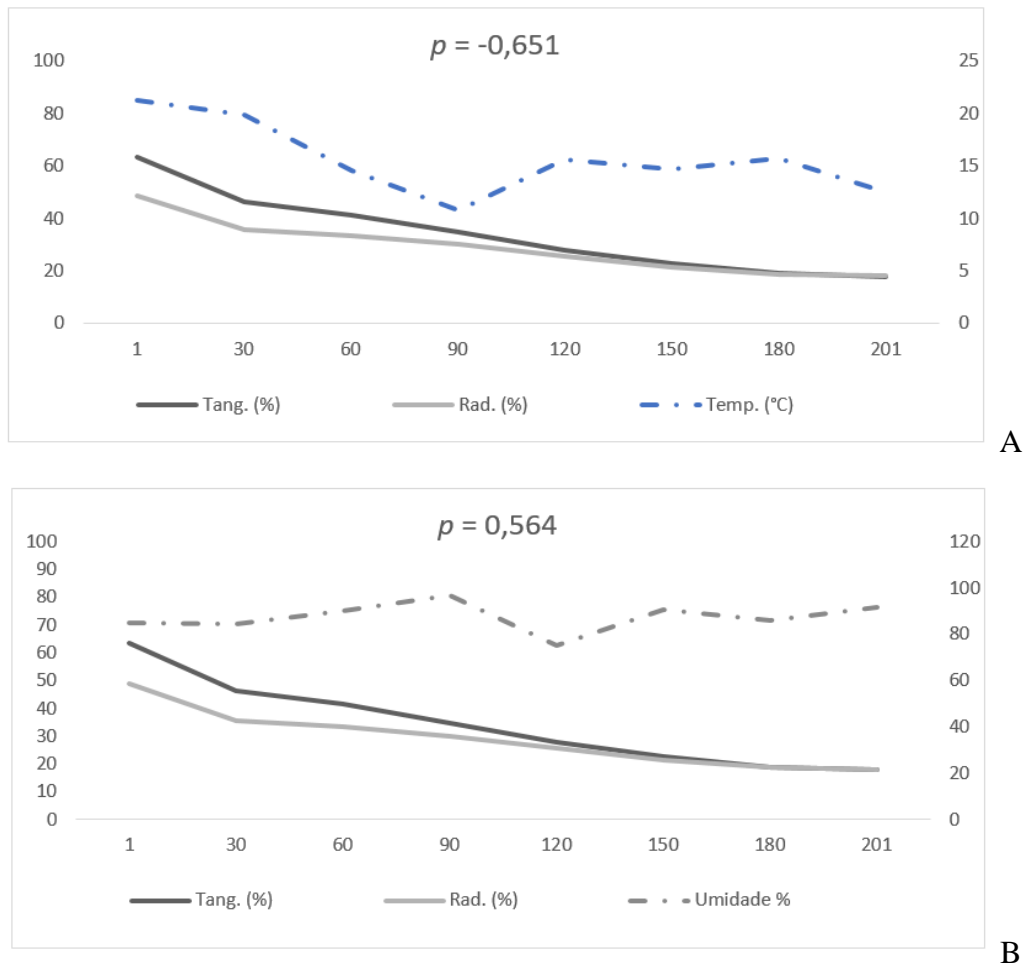
Zen (2016), observou uma taxa de secagem ao ar livre de 0,25% tu/dia, abaixo do PSF, tendo este, uma redução de aproximadamente 6 vezes, valor que se assemelha ao deste estudo.

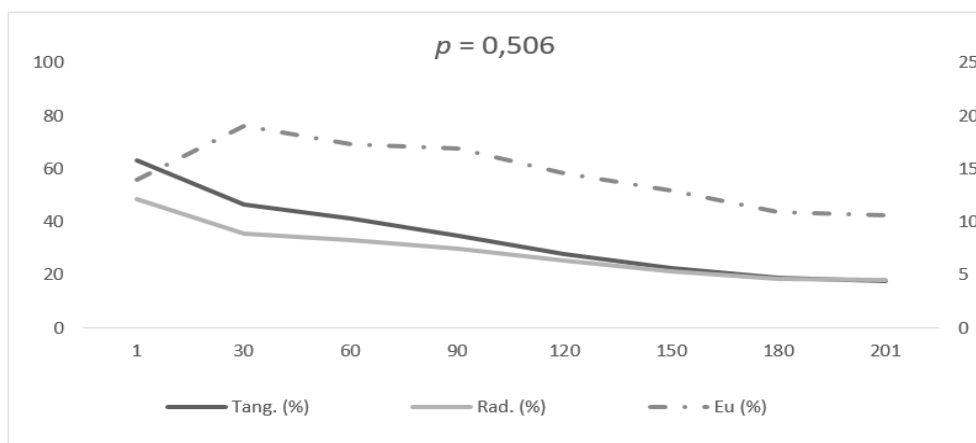
3.2.2 Taxas / velocidade de secagem X condições ambientais

Os dados meteorológicos obtidos para o período de secagem (196 dias), apresentaram valores médios de $14,57^{\circ}\text{C}$ para temperatura, 84% para umidade relativa

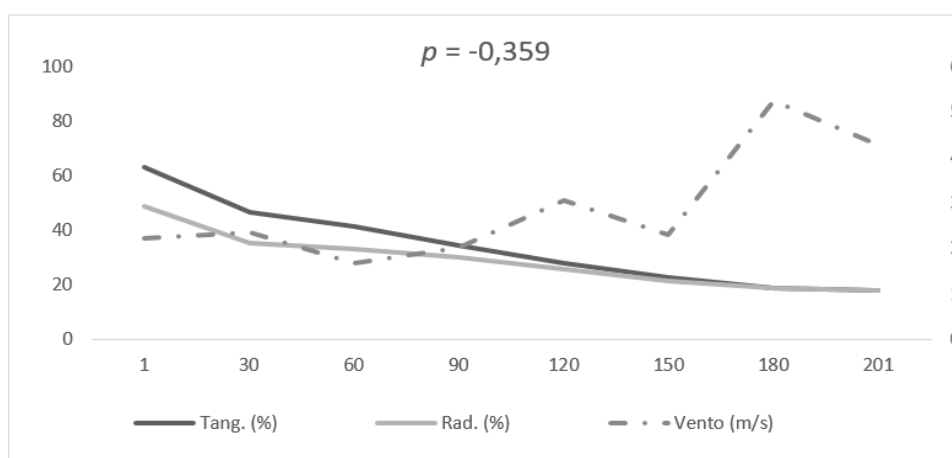
do ar, 17% umidade de equilíbrio, 4,70 mm para pluviosidade e 2,91 m/s para velocidade do ar. Destes, de acordo com a figura 7, o que apresentou uma maior correlação com a velocidade de secagem, foi a temperatura com valor de r de -0,651, seguido da umidade relativa com 0,564, umidade de equilíbrio com 0,506, velocidade do vento com - 0,359 e índice de pluviosidade com 0,034.

Figura 7 – Relação entre sistema de desdobro e condições de secagem. (A) temperatura, (B) umidade relativa, (C) umidade de equilíbrio, (D) ventilação, (E) pluviosidade.

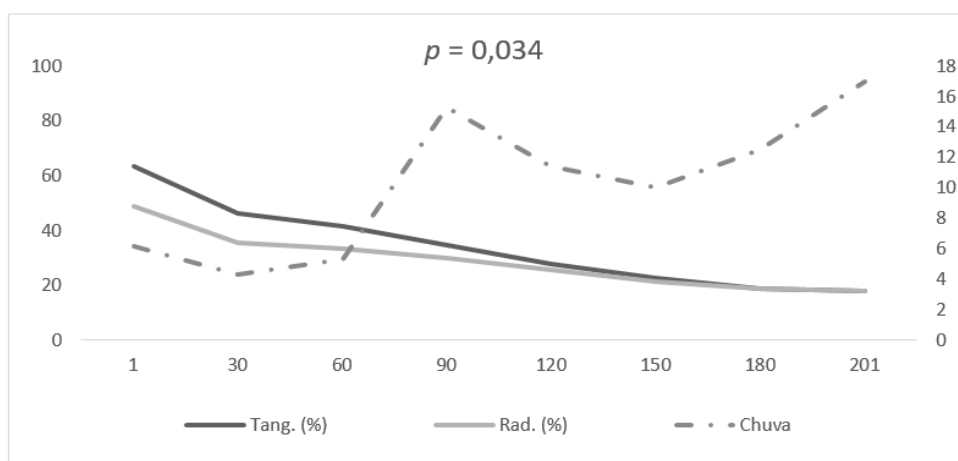




C



D



E

Na figura 8A, observa-se temperaturas médias diárias máxima e mínima de 21°C e 11°C, respectivamente, embora os dados meteorológicos, registraram durante a tarde, máxima de 23 °C e, durante a madrugada, mínima de 3°C. A correlação de Pearson negativa apresentada na figura indica que quanto maior a temperatura, menor é o teor de umidade das peças de madeira.

Segundo Severo (2007), existe uma correlação diretamente proporcional entre a temperatura e a taxa de secagem, a qual foi observada neste trabalho. Este autor também cita que a temperatura possui uma importância muito maior na retirada da água de impregnação, abaixo do PSF, favorecendo o processo de difusão. Brandt et al. (2014) ao analisar o processo de secagem da espécie de *Cupressus lusitânica* com 19 anos de idade, também encontrou uma correlação significativa entre o aumento da temperatura e a diminuição da umidade do material.

A umidade relativa do ar média para o período foi de 84%, com amplitude entre 75% e 97% (Figura 8B); nesta variável, a correlação positiva (0,564) demonstra que quanto menor a umidade relativa, ou seja, mais seco o ar, menor é o teor de umidade das peças. Severo (1989) também encontrou a mesma relação entre as variáveis, enfatizando que a umidade relativa do ar determina a capacidade do ar em absorver a umidade do material a ser seco, e para manter o processo de secagem, é necessário que haja troca de ar úmido por ar fresco.

Na figura 8C, que apresenta a relação entre teor de umidade e umidade de equilíbrio, nota-se uma relação diretamente proporcional alta ($r = 0,506$), demonstrando que a redução da umidade de equilíbrio por consequência das demais variáveis ambientais, também reduz o teor de umidade das peças, devido ao ar estar mais seco, o que favorece a retirada da água da madeira.

A velocidade do vento média para o período demonstrou uma correlação negativa para o período, concluindo que maiores velocidades do vento, estão relacionadas a maiores taxas de secagem. Esta correlação, apesar de negativa, foi menor que a encontrada para a relação temperatura/teor de umidade, devido a principal importância da velocidade do vento para as primeiras fases do processo.

A efetiva passagem do ar entre as camadas de peças que forma as pilhas está relacionada ao uso de tabiques separadores. Martins (1988) explica que a utilização de tabiques no método de secagem horizontal é utilizada para otimizar o processo, uma vez que seu uso permite a passagem do ar entre as tábuas, transferindo assim a umidade da madeira para o meio ambiente. O mesmo autor complementa que conforme o ar em volta da madeira, vai absorvendo umidade, este irá perdendo o seu poder de absorção e, se não for substituído, tenderá a um equilíbrio que fará desaparecer o fluxo de transferência da umidade da madeira para o ar. A circulação do ar é importante na remoção desse ar, substituindo o ar com alta umidade por ar seco dando sequência a

secagem e a distribuição homogênea do calor por toda a pilha, transferindo energia para a superfície da madeira.

Pode-se notar, a partir da figura 8D, que a velocidade do ar não foi constante em nenhum momento, ou seja, apresentou picos e vales no gráfico, mas com baixas intensidades, que variaram de 2 a 5 m/s, sendo assim, a correlação entre as variáveis foi baixa e inversamente proporcional. É importante destacar também, que a velocidade do ar tem grande influência na primeira fase da secagem, que é caracterizada pela retirada da água livre; como no presente estudo, as velocidades foram baixas neste período, não se obteve altas correlações.

Para pluviosidade, figura 8E, a correlação encontrada com o teor de umidade foi extremamente baixa (0,034), fato que também foi observado por Brand et al. (2014). Salienta-se que durante o experimento, as pilhas de madeira foram cobertas com telhas de fibrocimento, com o objetivo de diminuir a ação das chuvas sobre o material, e que durante o período, o volume máximo de chuvas foi de 17 mm / dia. Mesmo com a incidência de chuvas sobre as pilhas, pode-se dizer que a água que penetra na madeira, é relativamente fácil de ser retirada, quando posteriormente, se aumenta a temperatura e a velocidade do ar, juntamente com a redução da umidade relativa.

3.3 Avaliação qualitativa dos processos de desdobro e secagem

Os resultados da análise de variância, apresentados na tabela 12, demonstram grande influência do teor de umidade sobre todas as variáveis analisadas, o que demonstra o reflexo nas dimensões e nos defeitos quando se efetua o processo de secagem das peças verdes. Os demais fatores isolados, sistema de desdobro e classe diamétrica, influenciaram na largura e nos defeitos de processo, como no arqueamento, no encurvamento e no encanoamento. As rachaduras, de forma independente, sofreram também a influência somente do sistema de desdobro.

Quanto as interações, observa-se que todas influenciaram diretamente na largura das peças, no entanto, quando envolvido os defeitos, não houve influência sobre o encurvamento. Nos demais defeitos de processo, houveram interações significativas, principalmente as que envolveram sistema de desdobro e classe diamétrica, e sistema de desdobro e teor de umidade.

Tabela 12: Análise de variância para dimensões e defeitos de processo.

	p-valor					
	(L)	(E)	(ARQ)	(EV)	(EC)	(RAC)
MD	<0,0001*	0,2418 ^{NS}	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0313*
CD	<0,0001*	0,0593 ^{NS}	0,0016*	0,0001*	0,0005*	0,8484 ^{NS}
TU	<0,0001*	0,0015*	0,0028*	0,0038*	0,0024*	0,0012*
MD x CD	<0,0001*	0,0606 ^{NS}	0,0011*	0,0001*	0,0562 ^{NS}	0,0001*
MD x TU	<0,0001*	0,6306 ^{NS}	0,764 ^{NS}	0,0001*	0,0165*	0,0023*
CD x TU	<0,0001*	0,5911 ^{NS}	0,0032*	0,0001*	0,1025 ^{NS}	0,9473 ^{NS}
MD x CD x TU	<0,0001*	0,2908 ^{NS}	0,1087 ^{NS}	0,0290*	0,0206 ^{NS}	0,3485 ^{NS}

Legenda: MD: Sistema de Desdobro; CD: Classe Diamétrica; TU: Teor de Umidade; L: Largura; E: Espessura; ARQ: Arqueamento; EV: Encurvamento; EC: Encanoamento; RC: Rachadura.

3.3.1 Largura

Na tabela 13, que apresenta a largura das peças verdes e secas, bem como, os valores máximos e mínimos, de acordo com a classe diamétrica e o sistema de desdobro, pode-se observar um incremento da dimensão com o aumento do diâmetro das toras, onde a classe A apresenta as menores larguras, as classes B e C, intermediárias e equivalentes, e a classe D, maior dimensão, independentemente do sistema de desdobro. Entretanto, quando se observa o sistema de desdobro dentro cada classe diamétrica, o tangencial apresenta as maiores larguras em todas as classes.

Quanto a diferença entre as peças verdes e secas, observa-se diferença significativa em todas as condições avaliadas, a qual é decorrente do processo de secagem, principalmente nas peças tangenciais que apresentaram maior retratibilidade.

Tabela 13 – Largura das peças verdes e secas.

Classe	Largura das peças de madeira serrada (mm)			
	Peças verdes		Peças secas	
	Sistemas de desdobro			
	Tangencial	Radial	Tangencial	Radial
A 23,7– 30,6	¹⁶⁹ 165,13 ₁₅₉ (38,21) Ca*	⁸⁷ 85,07 ₉₂ (23,65) Cb*	¹⁶⁰ 152,67 ₁₅₆ (35,13) Ca	⁸⁰ 78,40 ₇₅ (23,10) Cb
B 30,7 – 34,8	²⁰⁷ 200,71 ₁₉₆ (17,98) Ba*	¹²⁷ 123,55 ₁₁₉ (25,32) Bb*	¹⁸⁴ 182,17 ₁₈₀ (24,41) Ba	¹¹⁹ 116,19 ₁₁₃ (32,53) Bb
C 34,9 – 40,7	²⁰¹ 201,12 ₂₀₃ (31,21) Ba*	¹³⁵ 131,10 ₁₂₉ (16,21) Bb*	¹⁸⁶ 183,41 ₁₈₁ (40,00) Ba	¹²⁷ 124,60 ₁₂₁ (28,14) Bb
D 40,8 – 54,5	²²⁹ 227,13 ₂₂₃ (26,72) Aa*	¹⁶⁴ 162,56 ₁₆₀ (23,87) Ab*	²¹⁵ 202,55 ₂₁₀ (29,12) Aa	¹⁵⁶ 151,10 ₁₄₈ (25,32) Ab

Legenda: Valores sobrescritos referem-se aos valores de largura superior; valores subscritos referem-se aos valores de largura inferior; valor subscritos e entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna / letra minúscula na linha não diferem

estatisticamente entre si; valores com * indicam que houve diferença estatística significativa entre peças verdes/secas dentro de cada sistema de desdobro, ambos pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Outro ponto que pode é destacado na tabela 13, é o alto coeficiente de variação, que tem uma amplitude de 16,21% a 38,21% para as peças verdes; refletindo nas peças secas com intervalo entre 23,10% a 40,00%.

O aumento da largura com o incremento da classe diamétrica e as diferenças significativas observadas entre desdobro tangencial e radial, também foram observados por Rocha e Tomaselli (2001), ao avaliar o efeito de dois modelos de corte (radial e tangencial), duas classes diamétricas para *E. grandis* de 12 anos e *Eucalyptus dunni* de 16,5 anos. Segundo os autores, o desdobro radial proporcionou um número maior de peças, mas com menores larguras, devido as toras serem cortadas ao meio no desdobro primário, o que limita a dimensão, tanto que, a aplicação deste método acaba se justificando somente para toras com alto valor agregado e/ou grandes diâmetros. Esta situação, também é mencionada por Fagundes (2003), onde cita que a utilização de tábuas no sentido radial pode ser facilmente empregada em toras mais grossas se tornando pouco viável em toras com diâmetros menores, devido a quantidade de subdivisões necessárias para a obtenção de peças com superfícies verdadeiramente radiais.

Como um possível uso das peças resultantes do processo de desdobro radial, em toras de menor diâmetro, tem-se o material colado, como enchimento de portas e painéis, onde sua largura pode ser reduzida.

Verifica-se também na tabela 16, que as peças radiais verdes apresentam um maior incremento médio em largura com o aumento das classes diamétricas; enquanto as tangenciais apresentam largura da classe A de 165 mm e da classe D 227 mm, as radiais apresentam 85,07 mm para a A e 162,56 mm para a D, o que proporciona diferenças de 62 mm e 78 mm, respectivamente.

A presença de diferença estatística entre as peças verdes e secas, se deve a processo de secagem, onde a madeira retrai durante a retirada da água da parede celular, o que é mais evidenciado na largura das peças tangenciais com 9,00% de retração média, quando comparado com as radiais, com 6,45%. A menor contração em largura das peças radiais é explicada, segundo Garbe (2006), pela presença dos raios da madeira que estão presentes perpendicularmente à medula, os quais têm uma menor contração

neste sentido, o que faz uma força contrária à contração normal da madeira, reduzindo esta retração.

3.3.2 Espessura

A espessura das peças verdes e secas estão apresentadas na tabela 14, onde pode ser observado que a classe diamétrica e o sistema de desdobro não influenciaram nos resultados obtidos, com amplitude de 31,90 a 33,50 mm para as peças verdes e de 29,14 a 31,48 mm para as peças secas. No entanto, constata-se valores maiores do que a espessura verde nominal proposta, que era de 25,4 mm, o que é decorrente do ajuste deficiente da serra circular múltipla no desdobro secundário. Entre as peças verdes e secas, observa-se retrações significativas para todas os fatores e níveis analisados.

Tabela 14 – Espessura das peças verdes e secas.

Tabela 17. Espessura das peças verdes e secas.				
Classe	Espessura das peças de madeira serrada (mm)			
	Peças verdes		Peças secas	
	Sistemas de desdobro			
	Tangencial	Radial	Tangencial	Radial
A 23,7 – 30,6	³⁴ 33,50 ₃₂ (7,34) Aa*	³³ 33,10 ₃₂ (24,12) Aa*	³² 31,48 ₃₁ (11,32) Aa	³¹ 30,70 ₂₉ (23,92) Aa
B 30,7 – 34,8	³⁴ 33,10 ₃₁ (12,42) Aa*	³² 31,90 ₃₁ (20,29) Aa*	³¹ 30,70 ₂₉ (2,81) Aa	³¹ 30,62 ₃₀ (28,18) Aa
C 34,9 – 40,7	³⁴ 33,40 ₃₂ (8,45) Aa*	³³ 32,70 ₃₁ (17,23) Aa*	³² 30,62 ₂₉ (8,68) Aa	³⁰ 29,14 ₂₈ (19,52) Aa
D 40,8 – 54,5	³⁴ 33,30 ₃₁ (7,81) Aa*	³⁴ 33,80 ₃₂ (25,43) Aa*	³² 29,14 ₂₈ (9,90) Aa	³² 31,44 ₃₁ (21,31) Aa

Legenda: Valores sobrescritos referem-se aos valores de espessura superior; valores subscritos referem-se aos valores de espessura inferior; valor subscritos e entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna / letra minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si; valores com * indicam que houve diferença estatística significativa entre peças verdes/secas dentro de cada sistema de desdobro, ambos pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Verifica-se na tabela 14, maiores coeficientes de variação das peças obtidas no método radial, os quais variaram de 17,23 a 28,18%. Müller (2013) ao caracterizar qualitativamente a espécie de *E. benthamii*, mencionou que os maiores coeficientes de variação encontrados no sistema de desdobro radial, se deve a contração desigual das peças em espessura, que normalmente tende a apresentar-se mais elevada nas tábuas radiais do que nas tábuas tangenciais, devido ao comportamento anisotrópico da madeira.

3.3.3 Arqueamento

Os valores médios de arqueamento estão representados na tabela 15, onde evidencia-se nas peças verdes, uma equivalência do empenamento supracitado para as peças tangenciais com o aumento do diâmetro das toras, e uma redução significativa para as peças radiais. Já para as peças secas, encontra-se diferenças para ambos os métodos de desdobro, quando se aumenta a classe diamétrica, no entanto, não se tem um padrão. Entre as peças tangenciais e radiais secas, diferentemente das peças verdes, observa-se para o sistema de desdobro tangencial um aumento entre as classes diamétricas A e C e uma diminuição para a classe D. Já no sistema de desdobro radial, os valores diminuíram entre a classe A e D.

Tabela 15 –Arqueamento das peças verdes e secas.

Classe	Arqueamento das peças de madeira serrada (mm)			
	Peças verdes		Peças secas	
	Sistemas de desdobro			
	Tangencial	Radial	Tangencial	Radial
A 23,7 – 30,6	³ 0,78 ₀ (86,48) Aa*	⁷ 2,96 ₀ (122,32) Bb*	⁵ 2,02 ₀ (125,12) Aa	¹⁰ 5,19 ₀ (93,12) Bb
B 30,7 – 34,8	⁴ 1,65 ₀ (63,62) Aa*	⁶ 2,16 ₀ (103,65) Ba*	³ 2,17 ₀ (93,15) ABa	⁷ 4,97 ₀ (102,74) ABb
C 34,9 – 40,7	³ 1,68 ₀ (107,31) Aa*	⁷ 2,48 ₀ (78,12) Ba*	⁵ 2,48 ₀ (97,54) Ba	⁷ 4,66 ₀ (98,21) ABb
D 40,8 – 54,5	³ 1,66 ₀ (78,52) Aa*	³ 1,17 ₀ (99,73) Aa*	⁴ 1,85 ₀ (118,12) Aa	⁶ 3,54 ₀ (87,12) Ab

Legenda: Valores sobrescritos referem-se aos valores de arqueamento superior; valores subscritos referem-se a aos valores de arqueamento inferior; valor subscritos e entre parênteses referem-se a ao coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna / letra minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si; valores com * indicam que houve diferença estatística significativa entre peças verdes/secas dentro de cada sistema de desdobro, ambos pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

A maior intensidade do arqueamento encontrado nas peças radiais verdes pode ser explicada pelo processo de desdobro da tora, que ao ser seccionada no meio em sua passagem pela serra, produz peças encurvadas. Assim, após o desdobro, as toras desdobradas de forma radial tiveram seu encurvamento transformado em arqueamento (Müller, 2013).

Outro fato a ser considerado, é a obtenção de peças de menor largura no sistema de desdobro radial, as quais, em comparação com as tangenciais, possuem menor resistência mecânica, devido a sua menor largura, sendo, portanto, mais propensa a apresentar defeitos desse tipo, se acentuando pelas tensões da secagem, as quais agem

diretamente na largura da peça (Menezzi; Nahuz, 1998). Um método de minimizar a ocorrência deste defeito é a utilização de pesos nas extremidades das pontas, como uma forma de restringir o material do movimento, (Rocha, 2000).

Müller (2013) encontrou valores de arqueamento para peças verdes de *E. benthamii* com 18 anos de idade de 3,06 mm/m para peças tangenciais e 5,43 mm para radiais, os quais aumentaram, respectivamente, em 5,55 mm/m e 6,73 mm/m após a secagem. Pereira et al. (1999), testando dois métodos de desdobro para o *E. dunnii* com 13 anos de idade, observaram, para o método tangencial, uma ocorrência de um arqueamento médio de 4,27 mm/m. Quando se compara ao presente estudo, os valores médios dos autores foram maiores, o que pode ser atribuído, entre outros fatores, a presença de madeira juvenil, podendo estar presentes em tábuas provindas de árvores com idades menores. Segundo Jankowsky (1979), tábuas resultantes de indivíduos adultos, podem, muitas vezes conter parte do lenho juvenil. Esta característica fornece a peça diferenças entre densidades, contração volumétrica e teor de umidade ao longo do material, acarretando maiores empenamentos.

Resultados equivalentes ao estudo, foram encontrados por Rosso (2006), no qual a autora observou 2,9 a 4,11 mm/m para peças ainda não submetidas ao processo de secagem das espécies de *Corymbia citriodora*, *E. grandis* e *E. saligna* com 13 anos de idade.

Menores valores que aqueles encontrados neste estudo, foram vistos por Rocha e Tomaselli (2002), ao avaliar os defeitos antes e pós processo de secagem para a espécie de *E. dunni* com 12 anos de idade, com incidência de defeito médio de 0,23 mm/m para o desdobro tangencial e 4,78 mm/m no radial, para a medição anterior ao processo de secagem. Após a secagem, as médias foram de 0,55 mm/m para o desdobro tangencial e 7,25 mm/m para o desdobro radial.

De forma geral, o defeito do tipo arqueamento, está de acordo com os valores encontrados na literatura para outras espécies do mesmo gênero. Este defeito ocasiona uma perda no valor comercial da madeira, tendo muitas vezes, que ser seccionada para que possa vir eliminada, ou pelo menos minimizada.

3.3.4 Encurvamento

O encurvamento das peças de madeira serrada, de acordo com a tabela 16, diminuiu com o aumento da classe diamétrica, tanto para as peças verdes, quanto para

as secas. Quanto ao sistema de desdobro, observou-se maiores valores médios para as peças radiais verdes, o que não foi refletido nas peças secas, que se demonstraram equivalentes. Nas peças secas tangenciais, verifica-se maior encurvamento decorrente do processo de secagem, quando comparado com o processo de desdobro, devido a maior estabilidade das peças no processamento mecânico e uma maior instabilidade na retirada da água da madeira. Já as peças radiais, o encurvamento foi reduzido na secagem, independentemente da classe diamétrica.

Tabela 16 – Encurvamento das peças verdes e secas.

Classe	Encurvamento das peças de madeira serrada (mm)			
	Peças verdes		Peças secas	
	Sistema de desdobro			
	Tangencial	Radial	Tangencial	Radial
A 23,7 – 30,6	⁴ 2,21 ₀ (73,84) Ba*	⁹ 5,61 ₀ (78,32) Bb*	⁵ 3,72 ₀ (92,38) Ba	⁶ 3,87 ₀ (83,12) Ca
B 30,7 – 34,8	⁵ 2,19 ₀ (64,94) Ba*	⁸ 4,52 ₀ (84,89) Bb*	⁶ 3,16 ₀ (93,54) Ba	⁴ 3,25 ₀ (93,95) Ca
C 34,9 – 40,7	⁶ 2,17 ₀ (78,53) Ba*	⁸ 4,41 ₀ (64,91) Bb*	⁷ 3,15 ₀ (98,32) Ba	⁸ 2,76 ₀ (72,69) Ba
D 40,8 – 54,5	⁷ 2,09 ₀ (86,03) Aa*	⁶ 3,27 ₀ (88,47) Ab*	⁵ 2,51 ₀ (99,76) Aa	⁵ 1,64 ₀ (89,23) Aa

Legenda: Valores sobrescritos referem-se aos valores de encurvamento superior; valores subscritos referem-se aos valores de encurvamento inferior; valor subscritos e entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna / letra minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si; valores com * indicam que houve diferença estatística significativa entre peças verdes/secas dentro de cada sistema de desdobro, ambos pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

A redução do encurvamento das peças verdes com o aumento da classe diamétrica, mesmo com altos valores de coeficiente de variação, proporcionados por intervalo de 0 a 7 mm para as peças tangenciais e de 0 a 9 mm para as radiais, pode ser atribuído, segundo Hills e Brown (1978), ao fato que toras com maiores diâmetros produzem um volume de material serrado maior, o qual tem maior estabilidade em relação aos empenamentos, principalmente quando se compara o sistema de desdobro tangencial com o radial.

As peças, após o processo de secagem, apresentaram maiores encurvamentos das peças tangenciais, com exceção da classe D; e maior redução do defeito, quando destacado as peças radiais que são mais estáveis na secagem. Assim, pode-se dizer que o peso exercido pelas peças superiores das pilhas, não foi efetivo para as peças tangenciais, mas para as peças radiais, somado a maior estabilidade na secagem, resultou na minimização do problema. Além do processo de secagem em si, Müller et

al. (2019), cita que o encurvamento é um defeito provocado pela combinação de fatores, como as propriedades intrínsecas à madeira.

Menezzi e Nahuz (1998) citam que, este defeito pode ser evitado ou reduzido através da uniformidade do desdobro e do gradeamento correto durante o processo de secagem, ainda assim, o encurvamento observado pode ser reduzido, submetendo-se novamente as tábuas ao processo de secagem mediante a aplicação de cargas transversais (GARCIA, 1995).

Ferreira et al. (2004) encontrou valores médios próximos aos observados no presente estudo, ao estudar a influência de métodos de desdobro tangenciais sobre a qualidade da madeira ao final do processo de secagem do gênero *Eucalyptus*, chegando a encurvamentos de 2,9 a 3,2 mm/m.

Rocha e Trugilho (2006) ao estudarem a qualidade da madeira de *E. dunnii* antes e após o processo de secagem, verificaram um aumento na incidência deste defeito. A média da incidência para as peças verdes tangenciais foi de 6,68 mm/m e para peças secas de 5,58 mm/m. Para o sistema de desdobro radial, o encurvamento foi de 4,90 mm/m nas verdes e 1,79 mm/m nas secas.

Müller et al. (2019) chegou em valores superiores ao deste estudo para o encurvamento da espécie de *E. benthamii* com 18 anos de idade, utilizando dois métodos de desdobro tangenciais distintos. A autora chegou em um valor médio do defeito de 3,20 mm/mm para a condição verde e 4,26 mm/m para a condição seca.

3.3.5 Encanoamento

Como verificado na tabela 17, a incidência deste defeito foi praticamente nula para as peças verdes; este comportamento está relacionado ao fato de que o encanoamento é resultante da diferença de contração que existe entre as faces das tábuas, resultante do processo de perda de umidade do material (ROCHA, 2000; ROCHA; TRUGILHO, 2006).

Tabela 17 – Encanoamento das peças verdes e secas.

Classe	Encanoamento das peças de madeira serrada (mm)			
	Peças verdes		Peças secas	
	Sistemas de desdobro			
	Tangencial	Radial	Tangencial	Radial
A 23,7 – 30,6	⁰ 0 ₀ (352,10) Aa*	¹ 0,12 ₀ (394,21) Ab*	⁷ 5,98 ₀ (204,21) Ab	⁵ 1,52 ₀ (284,83) Aa
B 30,7 – 34,8	³ 0,21 ₀ (284,12) ABb*	¹ 0,05 ₀ (412,12) Aa*	¹¹ 6,94 ₀ (194,32) Ab	⁷ 1,87 ₀ (278,94) ABa
C 34,9 – 40,7	⁴ 0,02 ₀ (197,54) Aa*	² 0,17 ₀ (352,10) Ab*	¹² 7,25 ₀ (163,34) ABb	⁵ 2,01 ₀ (259,34) Ba
D 40,8 – 54,5	³ 0,53 ₀ (173,32) Bb*	³ 0,11 ₀ (358,65) Aa*	¹² 8,45 ₀ (206,32) Bb	⁵ 2,54 ₀ (286,43) Ba

Legenda: Valores sobrescritos referem-se aos valores de encanoamento superior; valores subscritos referem-se aos valores de encanoamento inferior; valor subscritos e entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna / letra minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si; valores com * indicam que houve diferença estatística significativa entre peças verdes/secas dentro de cada sistema de desdobro, ambos pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

Após o processo de secagem, observa-se a influência da classe diamétrica e do sistema de desdobro, onde os maiores diâmetros das toras e/ou as peças mais largas apresentaram maior incidência do defeito, o que é devido a maior dificuldade de retirada da água da parede celular, o que promove o desenvolvimento do encanoamento.

Da mesma forma que o encurvamento, a disposição das pilhas é citada por Rocha (2000) como papel fundamental na diminuição da incidência deste defeito, tendo o peso da tábua adjacente papel fundamental para exercer peso sobre as pilhas.

Rocha e Trugilho (2006), ao avaliarem os mesmos métodos de desdobro descritos neste trabalho, verificaram que a intensidade deste defeito também foi menor no desdobro do tipo radial, concluindo assim, que o encanoamento é um defeito típico de tábuas tangenciais.

Os resultados obtidos no presente estudo, foram superiores aos encontrados por Müller et al. (2019) para a mesma espécie, tendo a autora, encontrado para a peças secas, 0,56 mm deste defeito. Rocha e Trugilho (2006) também obtiveram valores mais satisfatórios que os deste estudo para a espécie de *E. dunni*, tendo este uma média de 2,88 mm para o material seco no desdobro tangencial e sem nenhum valor para o desdobro radial, após a secagem. Da mesma forma Rocha (2000) encontrou uma flecha média de encanoamento de 1,75 mm no desdobro tangencial, após a secagem, para a mesma espécie dos autores anteriormente citados.

A partir dos resultados obtidos neste estudo, observa-se que os resultados de encanoamento se mostraram superiores aos encontrados na literatura para espécies do

mesmo gênero, denotando uma maior atenção as peças em relação ao seu processo de secagem, de modo a minimizar a redução da qualidade do produto final.

3.3.6 Rachaduras

O índice de rachaduras encontrado nas peças de madeira serrada verde, descrito na tabela 18 foi maior para as classes diamétricas menores (A e B) no sistema de desdobro tangencial e para as intermediárias no radial (B e C). Já nas peças secas, não se observou a mesma tendência no tangencial, o qual apresentou maiores índices, nas classes intermediárias (B e C). Quanto ao sistema de desdobro empregado, observou-se maiores rachaduras nas peças tangencias verdes e secas, quando comparadas com as radiais; fato que também foi observado por Rocha (2000) para *E. grandis* e *E. dunnii*. Tendo este fato explicado pela maior proporção de raios na face das peças pelo desdobro tangencial, acarretando uma maior incidência de rachaduras por este sistema de desdobro.

Tabela 18 – Rachaduras das peças verdes e secas.

Classe	Rachaduras das peças de madeira serrada (mm)			
	Peças verdes		Peças secas	
	Sistemas de desdobro			
	Tangencial	Radial	Tangencial	Radial
A 23,7 – 30,6	²⁰ 17,47 ₀ (28,32) Bb	⁹ 6,92 (50,32) Aa*	²⁰ 17,46 (28,31) Ab	²³ 8,11 (53,85) Aa
B 30,7 – 34,8	³⁰ 25,6 ₀ (31,47) Bb*	²⁴ 11,92 (58,53) Ba*	³⁷ 26,69 (32,47) Bb	²⁹ 12,56 (61,21) Ba
C 34,9 – 40,7	¹³ 10,28 (40,12) Aa*	¹⁴ 10,28 (44,81) Ba	²⁷ 20,79 (37,12) Ab	¹⁹ 11,95 (43,12) Ba
D 40,8 – 54,5	¹⁹ 12,94 (46,21) Ab*	¹⁵ 7,84 (33,84) Aa*	²⁵ 18,62 (47,12) Ab	¹⁷ 7,59 (31,23) Aa

Legenda: Valores sobrescritos referem-se aos valores de rachadura superior; valores subscritos referem-se aos valores de rachadura inferior; valor subscritos e entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna / letra minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si; valores com * indicam que houve diferença estatística significativa entre peças verdes/secas dentro de cada sistema de desdobro, ambos pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Os valores médios de rachadura na condição verde, estão de acordo com Müller et al. (2019), que obteve para *E. benthamii* com métodos de desdobro tangenciais, 12,09% para o material verde e 15,84% para o material seco; e com Souza et al. (2012),

que observaram para *E. grandis* aos 14 anos, valores médios de 15,1% e 23,7% para o desdobro tangencial na condição verde.

No entanto, também foram encontrados valores menores que os do presente estudo, como no estudo de Trugilho (2005), ao avaliar peças do gênero *Eucalyptus* desdobradas tangencialmente entre 8 e 19 anos, chegando a valores médios de 9,2%; e no de Rocha e Trugilho (2006), para a espécie de *E. dunni*, que obtiveram para o desdobro tangencial nas condições verde e seca, respectivamente 11,80% e 16,20%. Para o desdobro radial, nas condições verde e seca, os resultados deste autor foram respectivamente de 4,90% e 5,10%.

Todavia, Haseleim et al. (2004) para *E. grandis* com 27 anos, encontrou o valor médio de rachaduras de 63,56%. O autor, explica que este índice elevado pode estar relacionado a grande quantidade de peças com a presença de medula. Rocha (2000) em seus estudos, verificou, através da análise de peças centrais, contendo a medula, que estas apresentaram rachaduras, e que aproximadamente 50% das mesmas tiveram toda a superfície com rachaduras logo após o desdobro.

O aumento das rachaduras após o processo de secagem, foi um evento observado também por Severo (2000) na análise de peças de *E. dunnii* com 16 anos de idade e por Lima (2005), para *E. grandis*, reforçando o fato das tensões de secagem estarem diretamente ligadas com a incidência deste defeito.

A largura da tábua pode ter influência direta com o índice de rachaduras, explica Calonego e Severo (2005), onde estes, mostram que as tábuas mais estreitas, retiradas do desdobro radial são constituídas, comumente de um único lenho, diferentemente das tábuas mais largas, as quais são formadas pela junção dos lenhos juvenil e adulto, causando uma maior heterogeneidade, tornando-a mais propensa a apresentar defeitos deste tipo.

4 CONCLUSÃO

O rendimento do processo de desdobro das toras de *E. benthamii* em peças de madeira serrada foi influenciado de forma significativa pela classe diamétrica, tanto no rendimento bruto, quanto no líquido (peças 100% *clear*), sendo que, quanto maior o diâmetro das toras, maiores foram os rendimentos. O sistema de desdobro (tangencial e radial) influenciou somente quando na interação com a classe diamétrica no rendimento bruto.

O rendimento bruto médio obtido foi de 54,76%, enquanto que o líquido foi de 28,78%. A redução de rendimento pode ser atribuída aos defeitos naturais da madeira como a presença de veios de resina, nós soltos, nós cariados e nós firmes, bem como de processo como rachaduras e arqueamento. Caso os defeitos das peças não fossem retirados, e as mesmas fossem comercializadas de acordo com os parâmetros da NBR 14806 (ABNT, 2002), a grande maioria das peças seriam enquadradas como classe de qualidade 4 e 5, devido a ausência de tratos silviculturais anterior e durante o processo de crescimento dos indivíduos.

No processo de secagem, o teor de umidade inicial médio foi de 55,47% para as peças radiais e 72,05% para as tangenciais, em virtude das diferenças em largura. Já no final do processo, após 196 dias, os teores de equilíbrio equilibraram em 18,12% e 17,80%, respectivamente. A taxa de secagem das peças foi superior nas peças radiais durante a retirada da água livre, e equivalente as tangenciais na retirada da água de impregnação até a umidade de equilíbrio.

Os fatores climáticos que mais influenciaram na redução do teor de umidade das peças de madeira serrada durante o processo de secagem ao ar livre foram a temperatura, a umidade relativa e a umidade de equilíbrio, enquanto que a precipitação afetou de forma menos expressiva.

Na avaliação qualitativa do processo de secagem, observou influência significativa de todas as variáveis analisadas (sistema de desdobro, classe diamétrica e teor de umidade) e suas interações na largura das peças e no encurvamento. O arqueamento também foi influenciado por todas, com exceção das interações entre sistema de desdobro X teor de umidade e das três variáveis. A ocorrência de rachaduras nas peças foi influenciada pelo sistema de desdobro, pelo teor de umidade e pela interação das duas variáveis.

O sistema de desdobro tangencial produziu peças mais largas que o radial, o que aumenta o valor agregado, e muitas vezes, limita a utilização de peças radiais para usos que necessitem tal característica.

No sistema de desdobro tangencial, as peças apresentaram melhores resultados em arqueamento e encurvamento antes da secagem, enquanto que o radial, melhores resultados quanto ao encanoamento e a presença de rachaduras.

Após a secagem, houve um aumento nos defeitos avaliados, com exceção da largura e espessura, valores os quais diminuiram após a retirada de água, demonstrando a influência das tensões de crescimento e retratibilidade do material utilizado e o

encurvamento, sendo diminuído no sistema de desdobro radial pós processo de secagem.

De uma forma geral, os melhores aproveitamentos em qualidade e rendimento estão relacionados ao sistema de desdobro tangencial a classes diamétricas maiores, uma vez que esta configuração otimiza e padroniza os processos de desdobro do material.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMPARADO, K. F. et al. Caracterização do rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus saligna* Smith nas condições verde e seca. **Revista Forestal Venezolana**, Ano XI. v. 52, n.1, p. 71 – 76. 2008
- ANJOS, R.A.M.; FONTE, A.P.N. Rendimento de madeira serrada de espécies de *Eucalyptus*. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.16, n.1, p.26-32, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT; NBR 14806 - Madeira – Madeira serrada de eucalipto. Brasil, 2002.
- BIASI, C.P.; ROCHA, M.P. Rendimento em madeira serrada e quantificação de resíduos para três espécies tropicais. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 37, n. 1, jan./abr. 2007.
- BRANDT et al. Influência das condições meteorológicas e do método de empilhamento na qualidade da madeira serrada de *Cupressus lusitanica* Mill., submetida a secagem ao ar, em Lages – SC. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 42, n. 103, p. 429-437, set. 2014
- CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D. Efeito da vaporização de toras na redução dos defeitos associados a tensões de crescimento de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 431-440, 2005.
- CARVALHO, A.M.; NAHUZ, M.A.R. Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.59, p.61-76, 2001.
- CUNHA, A.B.; FRANÇA, M.C.; ALMEIDA, C.C.F.; GORSKI, L.; CRUZ, R.C.; SANTOS, D. AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO EM MADEIRA SERRADA DE *Eucalyptus benthamii* E DE *Eucalyptus grandis* POR MEIO DO DESDOBRO TANGENCIAL E RADIAL. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 45, n. 2, p. 241 - 250, abr. / jun. 2015.
- DEL MENEZZI C.H.S.; NAHUZ M.A.R; Técnicas de desdobro utilizadas para madeira de eucalipto – uma revisão de literatura. **Revista Árvore** 1998; 22(3): 415-428.
- DUQUE SILVA, L. et al. Desafios do uso da madeira de *Eucalyptus benthamii* para serraria. In: **Silvicultura e melhoramento genético de *Eucalyptus benthamii***. Curitiba: FUEF, 2012. v. 1. 140 p.
- FAGUNDES, H. A. V. **Produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul**. 2003. 173 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, 2003.
- FERREIRA, A. G; PAES, J. B.; MELO, R. R.; GUEDES, R. S. Consumo das madeiras de *Eucalyptus grandis*, *E. pilularis* e *E. saligna* x *E. alba* (híbrido) por cupins xilófagos (*Nasutitermes corniger* Motschulsky), em condições de laboratório. In: CONGRESSO

DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: UFCG, 2004.

FERREIRA, F.A. **Patologia florestal**: Principais doenças florestais no Brasil. Viçosa – MG: Sociedade de investigações Florestais, 1989. P 34-37.

FOELKEL, C. E. B. Eucalipto no Brasil, história de pioneirismo. 2005. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 2, n. 4, p. 66-69, jul./dez. 2005.

GARBE E. A.; **Fatores Influentes na Secagem Convencional de Pinus taeda com Ênfase em Trincas Superficiais**. Curitiba, 2006.

HASELEIN, C. R.; LOPES, M. C.; SANTINI, E. J.; LONGHI, S. J.; ROSSO, S.; FERNANDES, D. L. G.; MENEZES, L. F. Características tecnológicas da madeira de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 145-155, 2004.

HIGA, R. C. V.; PEREIRA, J. C. D. Usos Potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. **Comunicado Técnico Embrapa**, Colombo, v.1, n.2, 2003.

HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. (Ed.). **Eucalypts of wood production**. Melbourne: CSIRO, 1978. 434 p.

JANKOWSKY, I. P. Madeira juvenil: formação e aproveitamento industrial. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 81, p. 1-18, 1979.

JUIZO, C. G. F.; ROCHA, M. P.; BILA, N. F. B. Avaliação do rendimento em madeira serrada de eucalipto para dois modelos de desdobro numa serraria portátil. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 4, p. 543 - 550, 2014.

KRETSCHMANN, D. E. Mechanical properties of wood. In: **Wood handbook**: wood as an engineering material. Madison: USDA, Forest Service, 2010. p. 100-145.

LIMA, I. L. **Influência do desbaste e da adubação na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden**. 2005. 137 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2005.

LIMA, J.T.; BREESE, M.V.; CAHALAN, C.M.; Variation in wood density and mechanical properties in *Eucalyptus* clones: The future of *Eucalyptus* for wood products. **Proceedings of an IUFRO conference**, 2000. Launceston, 2000.

MARTINS, V. A. **Secagem de madeira serrada**. Brasília: Ministério da agricultura IBDF/LPF, 1988. 89p

MÜLLER et al. Qualidade da madeira serrada de cinco espécies de *Eucalyptus* resistentes à geada. **Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, Pelotas. V.10, n.1, p.57-70, 2019.

MÜLLER, B.V. **Efeito de sistemas de desdobro na qualidade e rendimento de madeira serrada de *Eucalyptus benthamii* maiden et cambagem**. 2013. 120f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2013.

PEREIRA, J.C.D.; SCHAITZA, E.G.; HIGA, A.R. Avaliação das tensões de crescimento e comparação de métodos de desdobro em madeira de *Eucalyptus dunni*. **EMBRAPA pesquisa em andamento**, n.33, p.1-2, 1999.

ROCHA, M. P. *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunii* Maiden como fontes de matéria-prima para serrarias. 2000. 186f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

ROCHA, M. P.; TOMASELLI, I. Efeito do modelo de desdobro na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunni*. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 70-83, 2002

ROCHA, M. P.; TRUGILHO, P. F. Qualidade de madeira serrada de *Eucalyptus dunni* em função do sistema de desdobro e condição de umidade. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 4, p. 314-321, out./dez. 2006.

ROSSO, S. **Qualidade da Madeira de Três Espécies de Eucalyptus Resultante da Combinação dos Métodos de Secagem Ao Ar Livre e Convencional**. 2006. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

ROZAS, E. C. E. M. **Contribuição ao desenvolvimento tecnológico para a utilização de madeira serrada de Eucalyptus grandis** (Hill Ex Maiden) na geração de produtos com maior valor agregado. 1993. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

SANTOS, G.A, et al. Potencial da silvicultura clonal de *Eucalyptus benthamii* para o sul do Brasil. [Coordenado por] SILVA, L.D., HIGA, A. R., SANTOS, G.A., In: **Silvicultura e Melhoramento Genético de Eucalyptus benthamii**. Curitiba: FUPEF, 2012. p. 77-103.

SEVERO, E. T. D. A secagem da madeira de eucalipto e seus desafios. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Org.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro II**. Vitória, ES: Aquarius, 2007. p. 185-216.

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

SIMPSON, W. T. **Dry kiln operator's manual**. Madison: U.S. Department of Agriculture, 1991. 274 p.

SOUZA J. T. et al. Qualidade da madeira serrada proveniente de árvores dominantes e médias de *Eucalyptus grandis* submetidas a secagem. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 167-174, jan./mar. 2012.

TIPPET, J.T. Formation and fate of kino veins in *Eucalyptus* L'Herit. **IAWA Bulletin** v.7, n.2., p.137-143, 1986.

TOMASELLI, I. **The influence of high - temperature drying on physical and mechanical properties of *Pinus radiata***. D.Don. University of Melbourne. Tese Doutorado. (Ph. D). 264 p. 1977.

TRUGILHO, P.F. **TENSÃO DE CRESCIMENTO EM ÁRVORES VIVAS DE CLONES DE *Eucalyptus* spp. E DE *Eucalyptus dunnii* Maiden E PROPRIEDADES DA SUA MADEIRA**. 2005. Dissertação (Pós doutorado em ciências florestais) – Universidade Federal do Parana/ UFP. 2005.

VERMAAS, H. F. Drying eucalypts for quality: material characteristics, predrying treatments, drying methods, schedules and optimization of drying quality. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA. São Paulo. IPEF/ IPTIIUFRO/ESALQ/USP. 1995. **Anais...** 132p.

WADE, M. W.; BULLARD, S. H.; STEELE, P. H.; ARAMAN, P. A. Estimating hardwood sawmill conversion efficiency based on sawing machine and log characteristics. **Forest Products Journal**, Madison, v. 42, n. 11/12, p. 21-26, Nov./Dec. 1992.

ZEN, L. R. **MÉTODOS COMBINADOS PARA SECAGEM DA MADEIRA DE *Eucalyptus*: PRÉSECAGEM AO AR LIVRE COM SECAGEM EM ESTUFA CONVENCIONAL**. 2016. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) - Universidade Federal do Paraná/ UFP. 2016.

CAPÍTULO IV - PROGRAMA DE SECAGEM PARA A MADEIRA DE *Eucalyptus benthamii* MAIDEN ET CAMAGE

1 INTRODUÇÃO

O processo de secagem da madeira serrada tem como consequência direta o aumento da resistência mecânica, a redução da susceptibilidade da madeira a agentes xilófagos, a redução do custo do transporte, a melhoria na instabilidade dimensional, bem como a melhoria na qualidade das peças nas operações de beneficiamento e acabamento do produto final.

As empresas, hoje em dia, adotam dois métodos de secagem, de acordo com a matéria-prima e com as condições financeiras e operacionais, que são particulares de cada uma. A secagem ao ar livre é a forma mais barata de diminuir o teor de umidade da madeira, porém é mais demorada, por depender das características ambientais do local onde as peças estão sendo secas, como temperatura, umidade relativa e velocidade do ar, principalmente a partir do ponto de saturação das fibras (REZENDE et al., 2010). Este método, ainda é muito utilizado em função do seu baixo custo e da qualidade obtida nas peças secas, no entanto, dependendo da destinação, não se consegue chegar a um teor de umidade desejado, o que faz com que seja utilizado somente no início como pré-secagem (BATISTA; KLITZKE, 2012).

A secagem artificial convencional, por sua vez, é um processo conduzido em câmaras, secadores ou estufas que operam em temperaturas variando entre 40 e 90 °C (Simpson, 1991). As estufas possuem um sistema de aquecimento, um sistema de umidificação do ar, um conjunto de *dampers* ou janelas que permitem a renovação do ar do interior da estufa através da admissão de ar externo e um sistema de circulação de ar, gerando um controle total de todas as variáveis determinantes no processo de secagem do material.

Cada espécie aceita padrões de secagem diferentes. Quando se trabalha com a madeira do gênero *Eucalyptus*, mais especificamente no processo de secagem, essa deve ser conduzida de forma cuidadosa, com a aplicação de programas de secagem que não sejam severos, caso contrário, é inevitável o surgimento de defeitos, como o colapso, as rachaduras, os empenamentos, entre outros, uma vez que espécies deste gênero possuem altas tensões de crescimento e impermeabilidade. Em função disso, os programas de secagem com elevações de temperatura altamente gradativas e brandas são os mais

indicados, principalmente durante a fase de secagem acima do ponto de saturação das fibras (SILVA, 2001).

Os programas de secagem podem ser definidos como uma sequência pré-estabelecida, contendo alterações adequadas de temperatura e umidade relativa do ar, que deve ser aplicada a uma carga de madeira durante a secagem (Galvão & Jankowsky, 1985).

Os principais fatores envolvidos na escolha do programa de secagem são a espécie de madeira, o teor de umidade inicial e final, a espessura do material, o uso a que se destina e o equipamento de secagem (Martins, 1988). Simpson e Verrill (1997) estudaram a possibilidade de empregar a densidade básica para estimar programas de secagem. Em geral, os resultados obtidos foram satisfatórios, entretanto, os autores comentam a existência de exceções. Por essa razão, esse método de estimativa deve ser aplicado apenas quando não são conhecidas outras informações sobre a madeira.

A partir de estudos desenvolvidos por Terazawa (1965), Brandão (1989) propôs uma metodologia para elaborar programas de secagem, baseada na relação entre os defeitos decorrentes de uma secagem a 100°C e os parâmetros do programa de secagem (temperatura inicial, temperatura final e potencial de secagem). Esses estudos envolveram a hipótese de que pequenas amostras de madeira, quando submetidas a condições severas de secagem, irão apresentar defeitos, taxa e velocidade de secagem em um nível proporcional ao esperado em uma secagem convencional.

Ciniglio (1998) desenvolveu programas de secagem para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, adaptando a metodologia descrita por Brandão (1989). Os resultados foram considerados satisfatórios, com reduzida ocorrência de defeitos. Outros autores utilizaram a mesma metodologia para o desenvolvimento de programas de secagem (ANDRADE et al., 2001; BARBOSA et al., 2005; BATISTA, 2009).

O objetivo deste capítulo foi elaborar programas de secagem para peças de madeira serrada tangenciais e radiais, provenientes de árvores de *Eucalyptus benthamii* com 23 anos de idade, a partir do método da secagem drástica, proposta por Ciniglio (1998), adaptada de Brandão (1989).

2 MATERIAL E MÉTODOS

A elaboração do programa de secagem seguiu a metodologia proposta por Ciniglio (1998), que é baseada em pequenas amostras de madeira, as quais, segundo o autor, quando submetidas a secagem drástica, apresentarão comportamento similar as peças de madeira na secagem convencional, possibilitando assim, selecionar programas de maneira confiável e rápida.

2.1 Matéria-prima

A matéria-prima utilizada para a elaboração do programa de secagem foi proveniente de árvores de um plantio experimental de *Eucalyptus benthamii* com 23 anos, localizado na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), de Lages, Santa Catarina. Foram disponibilizadas pela empresa, cinco árvores com altura total média de 37,16 m, altura comercial média até 8 cm de diâmetro de 31,36 m e DAP médio de 49 cm.

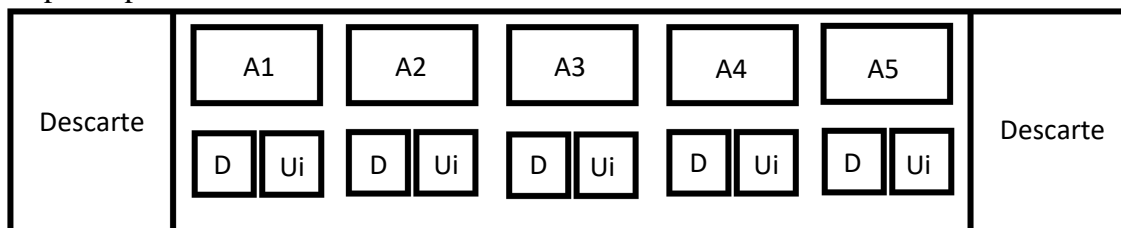
As árvores, em total de 30, foram plantadas no espaçamento 3 x 3 m em 5 filas, com 6 árvores em cada uma delas. O solo do local é descrito como distrófico álico, sendo feito apenas uma adubação com 200 g de NPK (50-20-10) por cova, antes da inserção das mudas.

Após a derrubada, o fuste da árvore foi traçado em toras a cada 2,40 m desde a posição referente ao DAP até o diâmetro mínimo de 23,7 cm.

As toras com 2,40 m de comprimento, foram desdobradas tangencialmente e radialmente em peças de madeira serrada por meio de uma serra fita simples e de uma serra circular múltipla de dois eixos. As peças de madeira serrada foram classificadas de acordo com a NBR 14806 (2002).

A partir das peças de madeira serrada da primeira classe da NBR 14806 (2002), foram selecionadas quatro peças saturadas por sistema de desdobro. De cada peça (Figura 9), foram retirados cinco corpos de prova com dimensões de 1,0 cm x 5,0 cm x 10,0 cm para os ensaios de secagem na estufa (A) e dez com dimensões de 1,0 cm x 5,0 cm x 5,0 cm, dos quais, cinco foram destinados a determinação da densidade básica (D) e cinco para determinação da umidade inicial (Ui)

Figura 9 – *Layout* de retirada dos corpos de prova das peças de madeira serrada. (A) corpos de prova para secagem, (D) corpos de prova para densidade básica, (Ui) corpos de prova para umidade inicial.



Fonte: Adaptado de Ciniglio (1998)

2.2 Determinação dos teores de umidade e da densidade básica

Os teores de umidade iniciais e finais de cada corpo de prova foram determinados por meio do método gravimétrico, que leva em consideração a massa úmida, e a massa anidra (0%u) após a secagem em estufa a temperatura de 103+/-2°C (Equação 1). Já a densidade básica, foi determinada por meio do volume do corpo de prova saturado, que foi obtido pela imersão em água em balança hidrostática, e da sua massa após secagem (0%u) (Equação 2).

$$Tu = \left(\frac{mu - mo}{mo} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$Db = \left(\frac{ms}{Vu} \right) \times 100 \quad (2)$$

Legenda: U: teor de umidade (%); Db = Densidade básica (g/cm³); mu = massa úmida ou saturada do corpo de prova (g); mo = massa do corpo de prova em 0% de umidade (g).

2.3 Ensaio de determinação do programa de secagem

Neste ensaio, os corpos de prova foram submetidos a secagem drástica a temperatura de 100°C em estufa de laboratório sem sistema de circulação forçada de ar. Durante o processo de secagem, a progressão da rachadura de topo foi acompanhada de duas em duas horas, por meio da medição da abertura e do comprimento com auxílio de um paquímetro digital. Cabe salientar, que sempre foi considerada a rachadura com maior intensidade de ocorrência. Paralelamente a avaliação das rachaduras de topo, e com o mesmo intervalo de tempo, foi avaliada a perda de massa de cada corpo de prova até atingirem 5% de umidade.

Os valores de rachadura de topo foram transformados em escores, de acordo com os critérios da Tabela 19. Os valores de perda de água foram utilizados para o cálculo da velocidade de secagem (equações 4, 5 e 6). Com base nesses valores, foram calculadas as variáveis do ensaio a 100°C, necessárias para o cálculo dos parâmetros do programa de secagem (equações 7, 8 e 9)

Tabela 19 – Notas atribuídas as rachaduras de topo após secagem drástica.

Nota	Rachadura de Topo
1	Ausente
2	CR < 5,00 e LR < 0,50
3	CR > 5,00 e LR < 0,50
4	CR < 5,00 e 0,50 > LR > 1,00
5	CR > 5,00 e 0,50 > LR < 1,00
6	CR > 5,00 e LR > 1,00

Fonte: Ciniglio (1998).

Legenda: CR = comprimento de rachadura (mm); LR = largura da rachadura (mm).

a) Velocidade da secagem até 5% de umidade

$$V1 = \left(\frac{mu - m5}{T1 \times 100} \right) \quad (4)$$

Legenda: V1 = Velocidade de secagem até 5% de umidade em g/cm².hora; mu = massa da amostra úmida / saturada (umidade inicial) em g; m5 = massa da amostra em 5% de umidade em g; T1 = tempo de secagem da umidade inicial até 5% em h; 100 = Área superficial da amostra (cm²).

b) Velocidade da secagem até 30% de umidade

$$V2 = \left(\frac{mu - m30}{T2 \times 100} \right) \quad (5)$$

Legenda: V2 = Velocidade de secagem até 30% de umidade em g/cm².hora; mu = massa da amostra úmida / saturada (umidade inicial) em g; m30 = massa da amostra em 30% de umidade em g; T2 = tempo de secagem da umidade inicial até 30% de umidade em h; 100 = Área superficial da amostra (cm²).

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

$$V3 = \left(\frac{m30 - m5}{T3 \times 100} \right) \quad (6)$$

Legenda: V3 = Velocidade de secagem de 30% a 5% de umidade em g/cm².hora; m30 = massa da amostra em 30% de umidade em g; m5 = massa da amostra em 5% de umidade em g; T3 = tempo de secagem de 30% - 5% de umidade em h; 100 = Área superficial da amostra (cm²).

Os valores médios das variáveis encontradas durante o processo da secagem drástica foram aplicados nas equações 7, 8 e 9, conforme Ciniglio (1998). Desta forma, foram obtidos os principais parâmetros de um programa de secagem convencional, temperatura inicial (Ti), temperatura final (Tf) e potencial de secagem (PS).

$$Ti = 27,9049 + 0,7881 * T2 + 419,0254 * V1 + 1,9483 * R2 \quad (7)$$

$$Tf = 49,2292 + 1,1834 * T2 + 273,8685 * V2 + 1,0754 * R1 \quad (8)$$

$$PS = 1,4586 - 30,4418 * V3 + 42,9653 * V1 + 0,1424 * R3 \quad (9)$$

Legenda: Ti: temperatura inicial da secagem (°C); Tf: temperatura final da secagem (°C); PS: potencial de secagem; T2: tempo de secagem de u% a 30% de umidade (horas), V1: velocidade de secagem de u% a 5% de umidade (g/cm².h); R2: rachadura de topo de u% a 30% de umidade (escore); V2: velocidade de secagem de u% a 30% de umidade (g/cm².h); R1: rachadura de topo de u% a 5% de umidade (escore); V3: velocidade de secagem de 30% a 5% de umidade (g/cm².h); R2: rachadura de topo de u% a 30% de umidade (escore). R3: rachadura de topo de 30% a 5% de umidade (escore).

Com base nos parâmetros encontrados, os programas de secagem foram elaborados com o auxílio das curvas de equilíbrio higrotérmico da madeira.

2.4 Análise dos dados

Para a comparação das médias entre as variáveis obtidas no processo de secagem drástica, tanto para os valores resultantes do método tangencial de desdobro como no radial, foram feitas análises de variâncias simples, sendo aplicado posteriormente um teste de média, sendo este o Tukey, considerando um $p < 0,05$, o qual corresponde ao nível de 95% de confiabilidade. Os testes foram feitos utilizando o programa SISVAR 5.6.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Variáveis analisadas durante a secagem drástica dos corpos de prova

Os valores médios obtidos para as variáveis analisadas na secagem drástica estão apresentados na tabela 20, onde pode ser observado que os valores de densidade não diferenciaram estatisticamente entre as peças dos dois métodos de desdobro.

Os valores de densidade básica para o *E. benthamii* com 23 anos são superiores aos encontrados por Eleotério et al., (2015) ao realizar programas de secagem para o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* (460 kg.m^{-3}), por Barbosa et al., (2005) ao elaborar um programa de secagem para madeiras de clones de híbridos do gênero *Eucalyptus*. com idades médias de 8 anos (550 kg.m^{-3}), por Nones et al., (2015) com *E. benthamii* com 13 anos (500 kg.m^{-3}) e por Gallio et al., (2016) com *E. benthamii* com 11 anos (540 kg.m^{-3}). Viladurre (2011) atribui a inferioridade de valores a idade das árvores, uma vez que possuem grande proporção de lenho juvenil em sua composição, o que influencia no diâmetro e comprimento das fibras.

Valores próximos de densidade básica, foram encontrados por Oliveira et al., (2005) ao analisar a densidade básica de algumas espécies do gênero *Eucalyptus* com idade em torno de 20 anos, a qual chegou em média a 560 kg.m^{-3} para o *E. utophylla*; e por Lima (1996), que obteve 640 kg.m^{-3} como média para duas espécies do gênero *Eucalyptus* spp. com 22 anos.

Tabela 20 – Valores médios obtidos no ensaio de secagem drástica.

Variáveis Analisadas	Sistema de desdobro			
	Tangencial		Radial	
Db - Densidade básica (kg.m ⁻³)	680	a	630	a
Ui - Umidade inicial (%)	36,80	a	39,93	a
T2 = Tempo de secagem da Ui até 30%	5,17	a	5,32	a
V1= Velocidade de secagem da Ui até 5% (g/cm ² .h)	0,0161	a	0,0169	a
V2 = Velocidade de secagem da Ui até 30% (g/cm ² .h)	0,0390	a	0,0506	a
V3 = Velocidade de secagem de 30% até 5% (g/cm ² .h)	0,0054	a	0,0064	a
R1 = Rachadura de topo da Ui até 5% (escore)	2,20	b	1,20	a
R2 = Rachadura de topo da Ui até 30% (escore)	2,62	b	1,20	a
R3 = Rachadura de topo de 30% até 5% (escore)	2,12	b	1,40	a

Legenda: Db:Densidade Básica; Ui: Umidade Inicial; T2: Tempo de secagem da Ui até 30%; V1: Velocidade de secagem da Ui até 5% (g/cm².h); V2: Velocidade de secagem da Ui até 30% (g/cm².h); V3: Velocidade de secagem de 30% até 5% (g/cm².h); R1: Rachadura de topo da Ui até 5% (escore); R2: Rachadura de topo da Ui até 30% (escore) e R3: Rachadura de topo de 30% até 5% (escore). As letras se referem a diferença entre métodos?

Para umidade inicial, as peças tangenciais e radiais apresentaram teores equivalentes e baixos quando comparado com outros estudos que também determinaram as mesmas variáveis durante o ensaio de secagem drástica, como Eleotério et al., (2015) para o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* e *Corymbia* spp, que obteve 99,15% e 78,6%, respectivamente; e Barbosa et al. (2005), com 10 clones de *Eucalyptus* spp. com idade média de 8 anos (102,4%).

Esta diferença é decorrente da obtenção dos corpos de prova para o presente estudo, tendo em vista que foram retirados de peças já secas, submetidas anteriormente ao processo de secagem ao ar livre. Estas peças, após a sua obtenção, ficaram submersas em água por cerca de três meses antes de serem utilizadas, obtendo o nível máximo de umidade dentro do período. Assim, não foi possível atingir níveis superiores de umidade inicial dos corpos de prova.

O tempo de secagem compreendido entre o teor de umidade inicial (36,80% e 39,93%) e o ponto de saturação das fibras (PSF) foi de 5,17 h para as peças tangenciais e 5,32 h para as radiais. Barbosa et al. (2005), encontraram, valor médio de 5,82 h para seus clones, enquanto que Eleotério et al., (2015) obteve uma média de 3,18 h e Santos (2002), 4 h ao avaliar árvores de *E. grandis* com 16 anos de idade. Nos estudos dos autores mencionados, observa-se baixos tempos de secagem até o PSF, levando-se em consideração os altos teores de umidade iniciais, o que pode estar relacionado a menor

densidade, ou seja, a maior permeabilidade, o que facilita a retirada da água livre ou capilar.

Nos três valores médios de velocidade (V1, V2 e V3), também não foram observadas diferenças significativas, estando também de acordo com os encontrados por Barbosa et al. (2005), 0,0187 para V1, 0,0337 para V2 e 0,0082 para V3; por Eleotério et al., (2015), 0,0220 para V1, 0,0371 para V2 e 0,0092 para V3; e Santos (2002), 0,017 para V1, 0,0335 para V2 e 0,0091 para V3.

Pode-se notar uma queda dos valores de V1 (umidade inicial até 30%) para V2 (30% até 5% de umidade), esta queda está relacionada com os diferentes tipos de aderência de água na madeira.

Durante a secagem, o primeiro tipo de água a ser liberado para a atmosfera é a água livre, ocasionando perda de massa da madeira. Esta água é retida nos espaços vazios das células, vasos e fibras (SANTOS, 2005). Quando toda a água livre é retirada da madeira tem-se o denominado ponto de saturação das fibras (PSF), variando em média entre 28% a 30% de umidade. Pode-se dizer que o PSF é alcançado quando a parede celular está completamente saturada de água, mas não existe água livre nos lumes das células (SKAAR, 1988)

O movimento da água livre seguirá em geral as leis capilares, ou seja, quanto menor for o diâmetro dos capilares, maior será a força de tração da coluna de água nestes capilares. Abaixo do PSF, a água é retirada de forma mais lenta, uma vez que a mesma, se encontra retida na parede celular. Neste ponto a secagem é considerada geralmente como sendo um processo de difusão, ou seja, a água das camadas mais internas se difunde na forma de vapor preenchendo os espaços vazios deixados pela água livre, até atingirem a superfície da madeira por capilaridade (SILVA et al., 1997).

Pode-se observar também que a velocidade de secagem das peças desdobradas de forma radial foi maior do que as desdobradas de forma tangencial, mesmo não tendo diferença estatística entre os resultados. Segundo Martins (1988) geralmente a água difunde-se mais rapidamente na direção radial (perpendicular aos anéis). O mesmo autor ainda diz que o fluxo ou movimentação da umidade no interior da madeira chega a ser de 10 a 15 vezes maior no sentido longitudinal do que no transversal. Já no sentido transversal, esta movimentação chega a ser de 20 a 50% maior no sentido radial em relação ao sentido tangencial pela facilidade de retirada de água pelas pontuações presentes.

Os escores referentes as rachaduras de topo diferiram estatisticamente entre os dois métodos de desdobro, tendo o método radial os melhores resultados, em função da menor propensão ao fendilhamento (Menezzi e Nahuz, 1998) e consequentemente maior estabilidade no processo de secagem. Rocha e Tomaselli (2002) observaram em peças de madeira serrada seca de *E. grandis* de 12 anos e *E. dunnii* de 16,5 anos, independente da espécie e da classe diamétrica, as rachaduras também foram mais pronunciadas no sentido tangencial.

Os escores de secagem também acompanham os resultados obtidos por Andrade et al., (2001) com *E. grandis*, 1,33 (R1), 1,29 (R2) e 1,33 (R3); por Barbosa et al. (2005), 1,67 (R1), 1,83 (R2) e 1,67 (R3) para espécies do gênero *Eucalyptus* spp.; e por Eleotério et al., (2015), que por sua vez encontrou valores de 1,0 para os três índices ao analisar o híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*.

Pode-se observar também que os escores de rachaduras (R1, R2 e R3) se comportaram de forma diferente entre os métodos de desdobro, tendo, no tangencial um valor menor no R3 (rachadura de topo de 30 a 5% de umidade) para com o R2 (rachadura de topo entre a umidade inicial até 30%), sendo comportamento contrário encontrado no sistema de desdobro radial.

A isto, pode-se justificar ao fato de que além do comprimento das rachaduras, a largura das mesmas também é levada em conta para o enquadramento dos escores, concluindo assim, que o método tangencial, devido as maiores contrações quando comparado ao método radial, diminuiu a espessura das rachaduras com o decorrer do processo.

3.2 Programa de secagem elaborados para peças tangenciais e radiais

Os programas de secagem desenvolvidos a partir do método da secagem drástica para peças tangenciais e radiais, estão apresentados nas tabelas 21 e 22, onde pode ser observado, baixas diferenças entre as temperaturas, umidades relativas e potenciais de secagem, caracterizando-os como conservadores. As diferenças encontradas nos programas estão associadas aos escores encontrados para as rachaduras de topo (Tabela 20) de u% até 5%, de u% a 30% e de 30% a 5% de umidade, tendo e vista que não houve diferença estatística entre as velocidades de secagem nos intervalos de umidade supracitados.

Tabela 21 – Programa de secagem para peças tangenciais.

Umidade	TBS	TBU	UR	UE	PS
Aquecimento	42	42	100	-	-
U>30	42	38	77	14	2,10
30-25	47	41	67	11	2,20
25-20	58	49	61	9	2,25
20-15	61	48	35	7	2,30
15-14	64	48	42	6	2,30
Uniformização	64	58	72	11,00	-
Acondicionamento	64	61	84	14,00	-

Legenda: TBS: temperatura do bulbo seco (°C); TBU: temperatura do bulbo úmido (°C); UR: umidade relativa (%); UE: umidade de equilíbrio (%); PS: potencial de secagem.

Tabela 22 – Programa de secagem para peças radiais.

Umidade	TBS	TBU	UR	UE	PS
Aquecimento	41	41	100	-	-
U>30	41	38	79	15,00	2,00
30-25	46	40	67	11,00	2,20
25-20	55	46	58	9,00	2,15
20-15	60	44	42	6,00	2,30
15-14	64	48	41	6,00	2,30
Uniformização	64	58	72	11,00	-
Acondicionamento	64	61	84	14,00	-

Legenda: TBS: temperatura do bulbo seco (°C); TBU: temperatura do bulbo úmido (°C); UR: umidade relativa (%); UE: umidade de equilíbrio (%); PS: potencial de secagem.

Na tabela 23, constam os parâmetros de secagem (valores de temperatura inicial, temperatura final e potencial de secagem), obtidos no presente estudo e por outros autores que desenvolveram seus estudos com a mesma metodologia e com espécies do gênero *Eucalyptus* spp., com fins de elaboração de programas de secagem.

Os programas de secagem gerados (Tabelas 21 e 22), propõem um decaimento da umidade do material de 5% em cada etapa. A quantidade de etapas foi determinada pela umidade inicial encontrada no material e temperatura inicial do TBS calculada. O mesmo padrão de cronograma de secagem foi feito por Susin (2002), Barbosa (2005), Batista (2009), Andrade et al., (2001) e Santos (2002).

Tabela 23 – Parâmetros de secagem para espécies do gênero *Eucalyptus* spp.

Espécie	Idade	Parâmetros			Fonte
		T°C inicial	T°C final	PS	
<i>E. benthamii</i> (T)	23	42,00	64,00	2,10	O autor (2020)
<i>E. benthamii</i> (R)	23	41,00	64,00	2,00	O autor (2020)
<i>E. saligna</i>	40	39,70	67,20	2,07	Susin (2012)
<i>E. robusta</i>	40	37,20	67,00	1,92	Susin (2012)
<i>E. grandis</i>	16	40,00	65,00	2,00	Santos (2002)
<i>E. saligna</i>	11	40,00	66,00	2,00	Batista (2009)
<i>Eucalyptus</i> spp.	8	41,80	66,00	2,02	Barbosa (2005)
<i>E. grandis</i>	---	40,50	64,90	2,10	Ciniglio (1988)
<i>E. urophylla</i>	---	40,30	65,50	2,44	Ciniglio (1988)
<i>E. grandis</i>	---	41,70	65,70	2,17	Andrade et al., (2001)
<i>E. tereticornis</i>	---	39,00	62,70	2,01	Andrade et al., (2001)

Legenda: T°C: temperatura; PS: potencial de secagem.

A partir dos valores de temperatura inicial, pode-se observar que para espécies do gênero *Eucalyptus*, tem-se uma amplitude pequena entre os autores citados na tabela 25, variando de 37 a 42°C, as quais podem variar de acordo com o tempo de secagem e a quantidade de rachaduras do material até 5% de umidade interna. Para a temperatura final, tem-se variação de 62,70 a 67,20°C, também tendo variações pequenas entre espécies do gênero e de idades diferentes.

Segundo alguns autores como Ciniglio (1998), Vermass (1998) e Martins et al., (1999) a utilização de temperaturas iniciais e potenciais de secagem baixos são recomendados para a melhor qualidade do produto final, porém, em trabalhos como o de Susin (2012), a utilização de temperaturas baixas para a espécie de *E. robusta*, resultou em programas de secagem de elevada duração.

Segundo Eleotério et al., (2014) para analisar a severidades desses programas é necessário aplicá-los e avaliar a variação nos defeitos entre o início e o final da secagem, sendo que programas de secagem para espécies com baixa difusividade e alta retratibilidade podem ser severos, mesmo em condições de baixas temperaturas e altas umidades relativas do ar.

Os programas feitos são coerentes com as recomendações da literatura para a madeira do gênero *Eucalyptus* de uma forma geral (PRATT, 1994; VERMAAS, 1995 e MARTINS, 1999) e similar aos programas elaborados pelos autores citados na tabela

25. Devido ao padrão encontrado entre os autores, em seus resultados na realização de programas de secagem a partir da metodologia de secagem drástica para as espécies do gênero *Eucalyptus*, podemos considerar os programas (tabela 23 e 24) como um programa genérico e ponto de partida para as espécies deste gênero.

4 CONCLUSÃO

No processo de secagem drástica, foi observado velocidades de secagem equivalentes entre as peças tangenciais e radiais, independente do teor de umidade referenciado. No entanto, verificou-se um maior percentual de rachaduras nas peças tangenciais, tanto na retirada da água até 30% de umidade, quanto até 5%.

As temperaturas iniciais e finais, juntamente com o potencial de secagem a serem implementados nos programas de secagem foram os mesmos para peças tangenciais e radiais. Temperatura inicial média de 41,5°C, temperatura final de 64°C e potencial de secagem médio de 2,05, proporcionaram a elaboração de programas de secagem similares e conservadores para os dois tipos de peça.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A.; JANKOWSKY, I. P.; DUCATTI, M. A. Grupamento de madeiras para secagem convencional. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n., p. 89-99, jun. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT; NBR 14806 - Madeira – Madeira serrada de eucalipto. Brasil, 2002.

BARBOSA, C. G.; LIMA, J.T.; ROSADO, S.C.S.; TRUGILHO . P.F. Elaboração de um programa de secagem para madeiras de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 40-48, jan./mar. 2005.

BATISTA, D. C. **Qualidade da secagem convencional conjunta da madeira de nove clones do gênero *Eucalyptus***. 2009. 105p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

BATISTA, D.C.; KLITZKE, R.J.; ROCHA M.P. Proposta de programa de secagem para a madeira de “Guarujá” (*Micropholisvenulosa* Mart. etEichler) Pierre, sapotaceae. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 03, n. 01, p. 22-32, Maio de 2012.

BRANDÃO, A.T.O. **Determinação de metodologia para a indicação de programas de secagem de madeiras**. 1989. 100f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

CINIGLIO, G. **Avaliação da secagem de madeira serrada de *E. grandis* e *E. urophylla***. 1998. 73 p. Dissertação (Mestrado em tecnologia da madeira) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

DEL MENEZZI, C. H. S.; NAHUZ, M. A. R. Comportamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex-maiden no desdobro. **Revista Arvore**, Vicosa, MG, v. 22, n. 4, p. 563-571, 1998.

ELEOTÉRIO, J. R.; HORNBERG, K. F.; REICHERT, D.; BAGATTOLI, T. R.; MENEGHELLI, I. Efeito da espécie e da condição de secagem na formação de defeitos da madeira serrada de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, p. 41-47, 2014.

ELEOTÉRIO, J.R.; BAGATTOLI, T.R.; HORNBERG, K.F.; SILVA, C.M.K.; Secagem drástica de madeiras de *Eucalyptus* e *Corymbia* fornece informações para a elaboração de programas de secagem. **Pesq. flor. bras.**, Colombo, v. 35, n. 84, p. 451-457, out./dez. 2015.

GALLIO et al. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. **Sci. Agrarias**, Paraná, Marechal Cândido Rondon, v. 15, n. 3, jul./set., p. 244-250, 2016.

GALVAO, A P M; JANKOWSKY, I P. **Secagem racional da madeira**. [S.l: s.n.], 1985.

JANKOWSKY, I. P.; DUCATTI, M. A.; ANDRADE, A. Estudo identifica necessidade de programas de secagem. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 11., n. 66, p. 42-47, out. 2002.

LIMA, T. G. **Variações no sentido radial e longitudinal de algumas propriedades das madeiras de *Eucalyptus microcorys* F. Muell e *Eucalyptus pilularis* Sm.** 1996. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1996.

MARTINS, V.A. **Secagem da madeira serrada.** Brasília: Gutenberg, 1988.
NONES, D. L.; BRAND, M.A.; CUNHA, A.B.; CARVALHO, A.F.; WEISE, S.M.K. Determinação das propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal produzido a partir de *Eucalyptus benthamii*. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 45, n. 1, p. 57 - 64, jan. / mar. 2015.

MARTINS, V. A. **Secagem de madeira serrada.** Brasília: Ministério da agricultura IBDF/LPF, 1988. 89p

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

ROCHA, M. P. da; TOMASELLI, I. Efeito do modelo de desdobro na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 70-83, 2002.

SANTOS, G. R. V. **Otimização da Secagem da Madeira de *Eucalyptus grandis*.** 2002. 81f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SILVA J.R.M., MENDES, L.M., WENZEL, M.K., TRUGILHO P.F. Secagem ao ar livre da madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de móveis. **Cerne**, 1997; 3(1): 170-186. 1997.

SILVA, J.C. Eucalipto: A madeira do futuro. **Revista da Madeira**, Edição especial, 2001, 114p

SIMPSON, W. T. **Method to estimate dry-kiln schedules and species groupings:** tropical and temperate hardwoods. Madison: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1996. 55 p.

SIMPSON, W.T.; VERRILL, S.P. 1997. Estimating kiln schedules for tropical and temperate hardwoods using specific gravity. **Forest Products Journal**, 47 (7/8): 64-68.
SKAAR, C. **Wood-water relations.** New York: Springer-Verlag; 1988.

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

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

VERMAAS, H.F. Drying of eucalypts with special reference to young, fat-grown plantation material. In: SEMINARIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA E ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1, Belo Horizonte, 1998. **Anais...** Viçosa: SIF/UFV, 1998. p. 106-118.

VIADURRE et al. Lenho Juvenil e Adulto e as Propriedades da Madeira. **Floram**, v.18, n.4, p.469-480, 2011.