

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
FLORESTAL

Guilherme Valcorte

**SECAGEM DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*
UTILIZANDO DIFERENTES PROCESSOS E
IMPREGNAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA**

Santa Maria, RS
2021

Guilherme Valcorte

**SECAGEM DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* UTILIZANDO DIFERENTES
PROCESSOS E IMPREGNAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Tecnologia de Produtos Florestais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal.**

Orientador: Prof. Dr. Elio José Santini

Santa Maria, RS
2021

VALCORTE, GUILHERME
SECAGEM DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* UTILIZANDO
DIFERENTES PROCESSOS E IMPREGNAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE
PRATA / GUILHERME VALCORTE.- 2021.

68 p.; 30 cm

Orientador: Elio José Santini
Coorientador: Clovis Roberto Haselein
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2021

1. Prata coloidal 2. . Nanotecnologia 3. Resistência
da madeira I. Santini, Elio José II. Haselein, Clovis
Roberto III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

© 2021

Todos os direitos autorais reservados a Guilherme Valcorte. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.
E-mail: gvalcorte@gmail.com

Guilherme Valcorte

**SECAGEM DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* UTILIZANDO DIFERENTES
PROCESSOS E IMPREGNAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Tecnologia de Produtos Florestais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal**.

Aprovado em 26 de fevereiro de 2021:

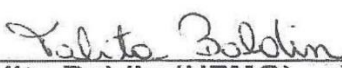
Comissão examinadora:



Elio José Santini (UFSM) - videoconferência
(Presidente/Orientador)



Silvana Rosso (UNIPAMPA) - videoconferência



Talita Baldin (UFMG) - videoconferência

Santa Maria, RS
2021

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Elaine por ser minha base, inspiração e sempre acreditar em mim;

Ao meu orientador Prof. Dr. Elio José Santini pelas orientações, sugestões e confiança durante a elaboração deste trabalho, além disso, pela dedicação em me orientar durante o período de mestrado;

À minha namorada Jéssica, pelo incentivo, amizade, amor companheirismo e as inúmeras ajudas,

Aos meus irmãos e sobrinhos, Liliane, Tiago, Caroline, Isabele, Lorenzo, Rafael e Vicente, por sempre estarem dispostos a me ajudarem quando precisei;

Aos meus colegas de laboratório, Alessandra, Laura, Luciane, Maira, Nádia, Pedro e Roberta por estarem sempre me dando apoio e trocando conhecimentos quando necessário;

Aos meus colegas da pós-graduação Carol, Cláudia, Éricklis, Kássya pelas ajudas desde o primeiro semestre de pós-graduação;

Aos técnicos do Laboratório de Produtos Florestais Fabiana, Nelson e Tarso, pelas inúmeras ajudas durante o mestrado;

Aos funcionários do DDPA, Chico, Cleber, Leandro e Ricardo pelas ajudas durante a obtenção das árvores para a realização deste estudo;

Ao Prof. Dr. Rômulo Trevisan e a Laura pela ajuda e disponibilidade dos equipamentos para realização de alguns testes no Laboratório de Tecnologia e Produtos Florestais da UFSM-FW;

À Universidade Federal de Santa Maria, pelo ensino gratuito e de qualidade proporcionado ao longo do mestrado;

A todos que de alguma forma estiveram comigo e fizeram essa caminhada ser mais prazerosa;

À CAPES pela bolsa de estudos concedida.

RESUMO

SECAGEM DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* UTILIZANDO DIFERENTES PROCESSOS E IMPREGNAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA

AUTOR: Guilherme Valcorte
ORIENTADOR: Elio José Santini

Hodiernamente há um crescimento exponencial na utilização de madeiras do gênero *Eucalyptus* nas indústrias madeireiras, principalmente em produtos com maior valor agregado, como móveis e assoalhos. Tendo em vista sua importância na indústria florestal e de comercialização da madeira, é notória a necessidade de implantação de tecnologias que proporcionem uma madeira de melhor qualidade e processos de secagem aprimorados. Por conta disso, o objetivo deste estudo é avaliar a secagem da madeira de *Eucalyptus grandis* utilizando diferentes processos de impregnação de nanopartículas de prata. Para tanto, foram utilizadas toras dessa espécie, obtidas junto ao Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária - RS. Após a realização do desdobro e a impregnação em autoclave laboratorial das nanopartículas de prata nas concentrações de 40 e 100 ppm, em seguida, as tábuas nas dimensões de 2,5 x 10 x 31 cm, respectivamente, espessura, largura e comprimento foram submetidas à secagem em câmara climatizada, com temperatura média de 20°C e umidade relativa 65% e estufa laboratorial com circulação forçada com temperatura constante de 60°C, para posterior ensaios de: teor de umidade, taxa de secagem, defeitos, flexão dinâmica, flexão estática, biodeterioração e molhabilidade. Os resultados mostraram que ocorreu maior perda de umidade naquelas peças com impregnação de 40 ppm com secagem em estufa e câmara climatizada, assim como, uma maior taxa de secagem em estufa. Além disso, ocorreu maior incidência de defeitos naquelas madeiras impregnadas com 100 ppm e secas em estufa, sendo que aquelas com impregnação de 40 ppm e secas nesse mesmo método apresentaram valores menores que a testemunha. Já a massa específica obteve valores médios semelhantes aos referenciados na literatura para a espécie trabalhada. Ademais, o teste de flexão dinâmica identificou maior resistência ao impacto nas madeiras impregnadas com 100 ppm e secas em estufa, enquanto o teste de flexão estática apresentou melhores resultados para aquelas peças impregnadas com 40 e 100 ppm e secas em câmara. Finalizando, os testes de biodeterioração não apresentaram resultados significativos, porém, aquelas peças com impregnação de 100 ppm obtiveram menor perda de massa. Além disso, o teste de molhabilidade indicou que as tábuas com impregnação de 100 e 40 ppm mostraram maior potencial hidrofóbico. A partir dos resultados do presente estudo, foi possível concluir que a impregnação de nanopartículas de prata traz benefícios de resistência e higroscopicidade para as madeiras do *Eucalyptus grandis*.

Palavras-chave: Prata coloidal. Nanotecnologia. Resistência da madeira.

ABSTRACT

DRYING OF *Eucalyptus grandis* WOOD USING DIFFERENT PROCESSES AND IMPREGNATION OF SILVER NANOPARTICLES

AUTHOR: Guilherme Valcorte

ADVISOR: Elio José Santini

Today there is an exponential growth in the use of *Eucalyptus* wood in the timber industries, mainly in products with higher added value, such as furniture and floors. In view of its importance in the forestry industry and in the commercialization of wood, there is a clear need for the implementation of technologies that provide better quality wood and improved drying processes. Therefore, the aim of this study is to evaluate the drying of *Eucalyptus grandis*'s wood using different silver nanoparticle impregnation processes. For this purpose, logs of this species were used, obtained from Diagnosis and Agricultural's Department Research - RS. After unfolding and impregnating the silver nanoparticles in concentrations of 40 and 100 ppm in laboratory autoclave, the boards in the dimensions of 2.5 x 10 x 31 cm, respectively, thickness, width and length were submitted to drying in an air-conditioned chamber, with an average temperature of 20 ° C and a relative humidity of 65% and a laboratory oven with forced circulation with a constant temperature of 60 ° C, for subsequent tests of: moisture content, drying rate, defects, dynamic flexion, flexion static, biodeterioration and wettability. The results showed that there was a greater loss of humidity in those parts with 40 ppm impregnation with drying in an oven and an air-conditioned chamber, as well as a higher drying rate in an oven. In addition, there was a higher incidence of defects in those wood impregnated with 100 ppm and kiln dried, and those with 40 ppm impregnation and dried in the same method showed lower values than the control. The specific mass obtained mean values similar to those referenced in literature for the species worked. In addition, the dynamic flexion test identified greater resistance to impact in wood impregnated with 100 ppm and kiln dried, while the static flexion test showed better results for those parts impregnated with 40 and 100 ppm and chamber dried. Lastly, the biodeterioration tests didn't show significant results, however, those parts with 100 ppm impregnation had less loss of mass. In addition, the wettability test indicated that the boards with 100 and 40 ppm impregnation showed greater hydrophobic potential. From the results of this present study, it was possible to conclude that the impregnation of silver nanoparticles brings resistance and hygroscopic benefits to *Eucalyptus grandis*'s woods.

Keywords: Colloidal silver. Nanotechnology. Wood strength.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização e coleta das árvores.....	26
Figura 2 - Seleção das árvores a serem utilizadas.....	27
Figura 3 - Pranchão central (A), retirada da medula (B) e material utilizado para confecção dos corpos de prova (C).....	28
Figura 4 - Ilustração das dimensões das tábuas submetidas aos métodos de secagem.....	29
Figura 5 - Autoclave usada para impregnação de nanopartículas de prata na madeira.....	30
Figura 6 - Secagem em câmara climatizada.....	31
Figura 7 - Secagem em estufa laboratorial.....	32
Figura 8 - Esquema da retirada das amostras para obtenção da teor de umidade inicial das peças.....	33
Figura 9 - Tábuas após desdobro.....	35
Figura 10 - Ilustração da tábua com encanoamento.....	36
Figura 11 - Ilustração da tábua com torcimento.....	37
Figura 12 - Equipamentos utilizados nos testes mecânicos, EMIC DL 2000 (A) e Pêndulo Charpy (B).....	39
Figura 13 - Goniômetro Kruss, modelo DSA 25.....	43
Figura 14 - Curva de secagem em estufa laboratorial das amostras em função do teor de umidade inicial e o tempo decorrido em horas.....	44
Figura 15 - Curva de secagem em câmara climatizada das amostras em função do teor de umidade inicial e o tempo decorrido em horas.....	46
Figura 16 - Valores em milímetros do defeito de encanoamento.....	51
Figura 17 - Disco com presença de grã espiralada.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Plano experimental com suas quantidades.....	29
Tabela 2 - Classificação dos empenamentos.....	36
Tabela 3 - Dimensões, velocidade do ensaio e número de amostras que foram utilizadas na determinação das propriedades mecânicas.	38
Tabela 4 - Classificação da perda de massa conforme a ASTM D-2017 (1994).	42
Tabela 5 - Teor de umidade inicial, final e tempo decorrido da secagem em estufa laboratorial.....	45
Tabela 6 - Teor de umidade inicial, final e tempo decorrido da secagem em câmara climatizada.	47
Tabela 7 - Taxa de secagem em estufa laboratorial.	48
Tabela 8 - Taxa de secagem em câmara climatizada.	49
Tabela 9 - Quantidade de tábuas que apresentaram defeito de torcimento em porcentagem (%).	53
Tabela 10 - Valores de massa específica aparente (Mea), resistência ao impacto (Fbw), trabalho absorvido (W), coeficiente de resiliência (K) e cota dinâmica (CD) realizadas neste estudo.	54
Tabela 11 - Valores médios do módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) para ensaio de flexão estática.....	56
Tabela 12 - Valores de perda de massa para espécie de <i>Eucalyptus grandis</i> sob fungo apodrecedor de madeira.	57
Tabela 13 - Valores médios de ângulo de contato das madeiras de <i>Eucalyptus grandis</i>	58

LISTA DE SIGLAS, ABREVEATURAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AFN	Association Francaise de Normalization
Ag	Prata
ASTM	American Society for Testing and Materials
cm	Centímetros
CP's	Corpo de Provas
COPANT	Comissão Panamericana de Normas Técnicas
DAP	Diâmetro da Altura do Peito
DDPA	Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
FW	Frederico Westphalen
g.cm^{-3}	Gramas por Centímetros Cúbicos
$\text{g.cm}^{-2}.\text{h}$	Gramas por Centímetros Quadrados por Hora
I	Primeiro
II	Segundo
III	Terceiro
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IV	Quarto
Kgf.cm^{-2}	Quilograma Força por Centímetro Quadrado
Kgm^2	Quilograma Metro Quadrado
KJ.m^{-2}	Quilojoules por Metros
LPF	Laboratório de Produtos Florestais
LTPF	Laboratório de Tecnologia e Produtos Florestais
m	Metro
mim	Minuto
mm	Milímetros
m/s	Metros por Segundo
nm	Nanômetros
NP's Ag	Nanopartículas de Prata
PPM	Parte Por Milhão
PSF	Ponto de Saturação das Fibras
RS	Rio Grande do Sul
SEAPDR	Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural
spp	Espécies
TS	Taxa de Secagem
TSD	Tukey Significant Difference
TU	Teor de Umidade
TUf	Teor de Umidade Final
TUi	Teor de Umidade Inicial
UFMS	Universidade Federal de Santa Maria
V	Quinto

VI	Sexto
%	Porcentagem
°C	Graus Celsius
±	Mais ou Menos
µL	Microlitro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVO	15
1.1.1	Objetivo geral.....	15
1.1.2	Objetivos específicos.....	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	ESPÉCIE	16
2.2	MADEIRA E A SECAGEM.....	16
2.2.1	Secagem convencional.....	17
2.2.2	Secagem ao ar livre.....	18
2.3	TAXA DE SECAGEM	19
2.4	DEFEITOS RESULTANTES DO PROCESSO DE SECAGEM	20
2.4.1	Empenos	20
2.4.1.1	<i>Encanoamento</i>	<i>21</i>
2.4.1.1	<i>Torcimento</i>	<i>21</i>
2.5	NANOPARTÍCULAS.....	21
2.5.1	Nanotecnologia.....	21
2.5.2	Nanopartículas de prata.....	22
2.5.3	Nanopartículas e a madeira.....	23
2.6	PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA.....	23
2.6.1	Flexão estática.....	23
2.6.2	Flexão dinâmica.....	24
2.7	DETERIORAÇÃO DA MADEIRA.....	24
2.8	PROPRIEDADE SUPERFICIAL	25
2.8.1	Molhabilidade.....	25
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.1	OBTENÇÃO E PREPARO DO MATERIAL	26
3.2	PLANO EXPERIMENTAL.....	29
3.3	IMPREGNAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA	30
3.4	MÉTODOS DE SECAGEM DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i>	31
3.4.1	Secagem em câmara climatizada.....	31
3.4.2	Secagem em estufa laboratorial.....	32
3.6	TEOR DE UMIDADE	32
3.7	TAXA DE SECAGEM	34
3.8	AVALIAÇÃO DOS DEFEITOS DA MADEIRA	34

3.8.1	Massa específica aparente	37
3.9	PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA.....	38
3.9.1	Flexão dinâmica.....	39
3.9.2	Flexão estática.....	40
3.10	BIODETERIORAÇÃO DA MADEIRA.....	41
3.10.1	Perda de massa por fungos.....	41
3.11	MOLHABILIDADE.....	42
3.12	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1	TEOR DE UMIDADE	44
4.2	TAXA DE SECAGEM	48
4.3	DEFEITOS PÓS-SECAGEM	50
4.4	PROPRIEDADES MECÂNICAS	53
4.4.1	Flexão dinâmica.....	53
4.4.2	Flexão estática.....	56
4.5	ENSAIO DE APODRECIMENTO ACELERADO EM LABORATÓRIO	57
4.6	PROPRIEDADE DE SUPERFÍCIE	58
4.6.1	Molhabilidade.....	58
5	CONCLUSÃO.....	59
	REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

O mercado madeireiro atual busca a otimização em qualidade e rendimento, alavancando lucros e diminuindo custos. Em vista disso, técnicas florestais, como a secagem, são necessárias para agregar valor à madeira. Especificadamente, na secagem de madeira, há a possibilidade de alcançar um teor de umidade de equilíbrio, de modo que a variação de entrada e saída de umidade seja mínima, conseguindo assim a qualidade do produto final.

A melhoria na qualidade da madeira e a otimização dos processos industriais de desdobro e secagem são fundamentais para as indústrias de base florestal, já que estas podem fornecer conhecimento de novas técnicas de desdobro e secagem, principalmente quando se trata de secagem de madeiras refratárias como do gênero *Eucalyptus*.

Conceitualmente as madeiras do gênero *Eucalyptus* são de difícil secagem. O comportamento destas madeiras durante a remoção da água também é único, e diferente dos *Pinus* ou das nativas tradicionalmente utilizadas. Por conta disso, muitas indústrias enfrentam problemas na qualidade das peças secas ou preferem adotar outras espécies como matéria prima principal (ZEN et al., 2019). Desta forma, para que as espécies desse gênero sejam mais bem aproveitadas, torna-se necessário um método de secagem adequado dependendo da sua finalidade.

Nesse sentido, a secagem convencional se destaca por ser mais rápida, com controle de taxa de secagem e ainda é capaz de acelerar a perda de umidade da madeira com menor incidência de defeitos possíveis, gerando um produto de maior qualidade (REZENDE et al., 2015) e, conseqüentemente, baixos custos.

Já a secagem ao ar livre pode ser considerada mais eficiente para redução de umidade da madeira, principalmente na fase inicial (ZANUNCIO et al., 2014), onde a perda de água ocorre de forma acelerada. Contudo, o método apresenta o inconveniente de demandar maior tempo em relação aos demais, até que o teor de umidade da madeira passe do ponto de saturação das fibras (PSF), alcançando o teor de umidade desejado (TALGATTI et al., 2018). Ainda para os mesmos autores, a instalação ao ar livre é feita de maneira simples e com custos reduzidos, mas deve-se observar alguns cuidados, como: manter as

pilhas alocadas em local seco e arejado, preferencialmente em locais ensolarados e, quando possível, utilizar cobertura nas pilhas, para evitar incidência de raios solares e da chuva.

Visando obter melhores resultados, existem muitas tecnologias que podem ser utilizadas para melhorar o uso da madeira, no entanto, A tecnologia de impregnação da madeira com nanopartículas de prata anterior ao processo de secagem pode atribuir ao material características relevantes, tais como: aumento da durabilidade, redução da higroscopicidade e efeito catalisador na secagem da madeira (DASHTI et al., 2012). A avaliação de todos estes processos em conjunto são fundamentais para fornecer subsídios, de modo a minimizar os defeitos, o tempo de secagem, melhorar a qualidade da madeira, além de diminuir ao ataque de microrganismos.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste estudo foi avaliar a secagem da madeira de *Eucalyptus grandis* utilizando diferentes processos de impregnação de nanopartículas de prata.

1.1.2 Objetivos específicos

Analisar a curva de secagem do *Eucalyptus grandis* em estufa laboratorial e câmara climatizada;

Medir a taxa de secagem das peças durante os processos em secagem de estufa laboratorial e câmara climatizada;

Avaliar as alterações das propriedades mecânicas da madeira em estudo;

Avaliar a qualidade das peças serradas após o processo de secagem em câmara climatizada e estufa laboratorial;

Verificar a resistência biológica de madeiras tratadas com nanopartículas de prata sob efeito do fungo de podridão branca;

Avaliar o efeito das alterações na superfície da madeira estudada quanto à molhabilidade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ESPÉCIE

O *Eucalyptus* foi introduzido no Brasil em 1903, a fim de abastecer a indústria de produção de madeira para carvão e dormentes para estrada de ferro, assim como foram amplamente utilizados para reflorestamento de áreas desmatadas (MARTINI,2004). Esse gênero é nativo da Austrália e possui cerca de 680 espécies já catalogadas (MABBERLEY, 2008).

O gênero *Eucalyptus* se tornou hodiernamente o mais importante do Brasil para a indústria madeireira abastecida por florestas plantadas, pois esse apresenta uma grande velocidade de desenvolvimento, facilidade de implantação em grandes áreas e uma versatilidade de aplicação da madeira (BATISTA; KLITZKE; ROCHA, 2015). Esse gênero é utilizado como matéria-prima para a confecção de celulose e papel, na fabricação de óleos essenciais, compensados, mourões e em indústrias de siderurgia, serrarias, entre outros (FERREIRA et al., 2014).

Além disso, o usufruto de florestas plantadas, como do gênero supracitado, prima pela não extração de florestas nativas e gera a confecção de produtos de qualidade, fato que corrobora para o desenvolvimento do setor florestal (VIDAL E HORA, 2011).

Diante disso, a espécie *Eucalyptus grandis* possui características próprias, apresentando altas taxas de produtividade das florestas plantadas, além de ter uma disponibilidade considerável de florestas para pronto uso e uma boa adaptação em grande parte do território brasileiro, o que as difere das demais espécies (SILVA,2002).

2.2 MADEIRA E A SECAGEM

A madeira é considerada uma matéria-prima com propriedades únicas, como: material orgânico heterogêneo, poroso, higroscópico e anisotrópico (ALMEIDA et al., 2016). Essas propriedades proporcionam uma maior qualidade a este material, o que permite que sejam utilizadas na fabricação de produtos de origem madeireira (GALLIO et al., 2018).

Assim, o estudo da madeira se mostra indispensável, uma vez que o conhecimento sobre os processos de industrialização madeireira possui grande importância para a melhora de seu aproveitamento e utilização. Diante disso, os incentivos científicos e econômicos são responsáveis por proporcionar que as tecnologias empregadas na secagem da madeira evoluam, atendendo assim às necessidades humanas imediatas ou futuras (GUELLA, 2016).

Parte importante nesse processo de estudo é a secagem da madeira, que consiste na redução da umidade com o objetivo de atingir um teor pré-determinado. Esse processo deve ser realizado com o mínimo de defeitos, no menor tempo possível e de uma forma economicamente viável (MARTINS, 1988).

No decorrer da secagem ocorrem simultaneamente os mecanismos de movimentação por difusão de vapor d'água, água higroscópica e capilar (OLIVEIRA, 1981). A difusão higroscópica é responsável pelo movimento da molécula de água até a cavidade celular e, posteriormente, a água em estado de vapor se movimenta por difusão através do ar presente no lume. Em seu percurso até a superfície, o vapor d'água é adsorvido novamente por outra parede celular, o que resulta em um novo processo de difusão de água higroscópica que ocorre em ciclos até que a água alcance a superfície da madeira (ANDRADE, 2000).

As espécies de madeira possuem características distintas e específicas e, por esse motivo, cada uma apresenta um programa próprio quando submetida à secagem. No entanto, gêneros semelhantes podem ser agrupados em um mesmo planejamento (ANDRADE, 2000). O programa de secagem é uma sequência de ações a serem realizadas durante a secagem da madeira com controle de temperatura e umidade relativa e tem por objetivo a rapidez na secagem e garantia de qualidade do material ao final da mesma (OLIVEIRA, 1981).

2.2.1 Secagem convencional

A secagem convencional é usualmente realizada em estufas ou secadores, onde se tem o controle da circulação do ar, da temperatura e da umidade relativa (ANDRADE, 2000). Esse mecanismo é convencionalmente

utilizado para secar espécies coníferas, sendo o sistema mais usual de aquecimento aquele que se utiliza de bateria de trocadores de calor. Nesse tipo de secagem são utilizados como fluidos térmicos: o ar, a água quente, o vapor d'água ou óleo térmico (JANKOWSKY, 1995). Ainda, o método considerado mais eficiente é por fluído térmico utilizando o vapor d'água proveniente de caldeiras (SANTOS; JANKOWSKY e ANDRADE, 2003).

As estufas de secagem convencionais operam entre 35°C e 90°C e são equipadas com um sistema de ventilação, conjunto de “dampers” ou janelas, sistema de umidificação e um sistema de vaporização (PRATT, 1974). Além disso, à disposição das pilhas de madeira também auxilia na remoção da umidade presente na superfície das tábuas (MELO, 1999).

O sistema de ventilação tem a finalidade de conduzir o calor, seja dos elementos do irradiador, das serpentinas ou de outros tipos de aquecimento. A circulação do ar, que depende do tipo de câmara, é obtida naturalmente ou por meio de circuladores acionados eletricamente – em velocidades que variam de 0,35 a 2 m/s – tendo em vista que as velocidades em torno de 2 m/s são tidas como as mais econômicas e efetivas, no entanto, velocidades maiores somente devem ser aplicadas para umidades iniciais elevadas (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985). O sistema de umidificação normalmente é realizado antes de se iniciar a secagem da madeira e nesse se utiliza um conjunto de bicos pulverizadores que são instalados no interior da estufa a fim de umidificar o ar com vapor de baixa pressão ou água fria (JANKOWSKY; GALINA, 2013).

Por fim, o sistema de vaporização atua controlando a umidade através de pulverizadores que são posicionados de modo que a ação dos ventiladores faça o ar quente e úmido do interior da estufa ser removido e permita a entrada de ar do meio externo (JANKOWSKY, 1995).

2.2.2 Secagem ao ar livre

A principal finalidade de secar madeira ao ar livre é fazer com que a mesma perca a maior quantidade de água possível, utilizando a natureza como responsável. Muitas vezes esse método é usado como uma secagem parcial ou até como secagem completa, dependendo do uso final (PONCE; WATAI, 1985). A secagem ao ar livre consiste no empilhamento da madeira serrada em pátios

de secagem, deixando as tábuas expostas aos fatores ambientais, permitindo que a mesma seque naturalmente até atingir a umidade de equilíbrio do ambiente (SUSIN et al., 2014).

Para que o processo de secagem ao ar livre seja eficiente, é necessário que a disposição das pilhas no pátio seja correta – orientadas à predominância da direção dos ventos, pois assim, o *layout* correto no pátio permitirá que a passagem de ar entre as peças seja uniforme – as tábuas devem estar 50 cm acima do solo e este deve possuir uma cobertura escura para maior retenção de energia ou, caso seja um pátio gramado, a grama deve ser mantida sempre baixa (ROSSO, 2006).

Na maioria das espécies, quando em forma de tábuas, nos primeiros 15 a 30 dias ocorre a perda de pelo menos metade do teor de umidade. O restante deste teor é posteriormente eliminado de maneira 3 a 5 vezes mais demorada, desde que as tábuas permaneçam sob as mesmas condições de ambiente. Isto acontece pelo fato da água livre que está acima do ponto de saturação das fibras evaporar com facilidade (SILVA et al., 1997).

A secagem ao ar livre possui limitações e essas estão geralmente associadas à sua dependência das condições atmosféricas. Na região Sul do país, onde o processo é mais favorável no período da primavera/verão, quando a temperatura e insolação são muito intensas, observam-se menor umidade relativa e precipitação (SANTINI, 1992).

2.3 TAXA DE SECAGEM

A taxa de secagem é definida como a relação entre a quantidade de água evaporada, em determinado tempo, pela área de evaporação da peça (MUNIZ, 2002). Essa é uma variável importante e crucial quanto à obtenção de informações sobre o comportamento da madeira durante o processo de secagem, tendo influência direta proveniente do método eleito para remoção da massa de água da madeira (SANTINI; HASELEN, 2002). Ainda, essa taxa depende principalmente da temperatura, da umidade relativa do ar e da velocidade do vento (SUSIN et al., 2014).

Algumas das características que afetam a taxa de secagem são: a estrutura anatômica, a densidade, a espessura das tábuas e o conteúdo de

umidade, sendo que essas características podem dificultar a saída de água durante o processo de secagem (KOLLMANN; COTE. 1968). Além disso, a estrutura anatômica da madeira pode restringir a taxa de movimentação da água, assim como a sensibilidade da estrutura anatômica pode acentuar o surgimento de tensões no processo de secagem, o que limita a taxa e causa inúmeros defeitos de secagem (VERMAAS, 1998).

2.4 DEFEITOS RESULTANTES DO PROCESSO DE SECAGEM

Os defeitos de secagem são as alterações que ocorrem na estrutura da madeira dificultando seu reprocessamento (BRANDÃO, 1989). Esses resultam da secagem e acabam por reduzir o valor de mercado da madeira, havendo assim desinteresse em espécies refratárias (MARTINS, 1988).

Os defeitos geralmente são identificados durante a secagem e podem decorrer do próprio processo ou das características do material (SANTOS, 2002). O empenamento, o endurecimento superficial, as rachaduras e o colapso se apresentam como os principais defeitos produzidos durante a secagem (MENDES; MARTINS; MARQUES, 1998).

Diante disso, para minimizar esses defeitos e reduzir o tempo de secagem, é aconselhado que apenas uma espécie seja seca por vez e que as peças sejam de mesma espessura e qualidade (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

Assim, é de grande importância que sejam adotados procedimentos adequados na secagem, como temperaturas baixas e umidade relativa mais alta nas etapas iniciais, com intuito de agregar valor à madeira serrada por meio da minimização da incidência de defeitos (SANTINI, 1992). Nesse sentido, é necessária a seleção e o uso adequado dos separadores e a escolha do programa de secagem correto para redução dos empenamentos das tábuas, fatores que contribuem para uma secagem rápida e uniforme (PONCE E WATAI, 1985).

2.4.1 Empenos

O empenamento ocorre principalmente devido ao processo de secagem natural ou artificial, podendo ser denominado como: arqueamento,

encanoamento, encurvamento, torcimento e forma diamante. Essas deformações ocorrem pela diferença entre contrações radiais, tangenciais e longitudinais em uma peça de madeira, ou ainda, pela presença de lenho juvenil, desvio da grã, presença de tração ou compressão durante o crescimento da árvore, assim como pela presença de endurecimento superficial não removido pelo condicionamento (GALVÃO E JANKOSWSKY, 1985).

2.4.1.1 Encanoamento

O encanoamento é um defeito relacionado ao empenamento das peças que resulta na alteração do nível das arestas ou bordas longitudinais, fazendo com que esses níveis difiram da zona central (PALERMO, 2010). Esse defeito pode ocorrer quando uma face é seca com maior rapidez e/ou no caso de uma se contrair mais que a outra, mesmo com a secagem uniforme, apresentando peças com aspecto côncavo (GALVÃO & JANKOSWKY, 1985).

2.4.1.1 Torcimento

O torcimento é verificado quando as bordas de uma peça de madeira não se encontram no mesmo plano (PALERMO, 2010), podendo ser resultante das mesmas causas do encanoamento, como também pela combinação de diferentes contrações e desvio de grã, como a disposição espiralada das fibras, o que é bastante característico em espécies do gênero *Eucalyptus* (GOMIDE, 1973).

2.5 NANOPARTÍCULAS

2.5.1 Nanotecnologia

O termo nanotecnologia refere-se ao estudo do fenômeno e da manipulação de sistemas físicos que produzam informações significativas, em escala conhecida como nano (10^{-1} m = 1 nm), com comprimentos típicos que não excedam 100nm em comprimento, em pelo menos uma direção. Portanto, a nanotecnologia foca no projeto, caracterização, produção e aplicação de sistemas e componentes em nanoescala (USKOKOVI, 2007).

Com a utilização de materiais nanoestruturados é possível ver o avanço tecnológico em diversas áreas da ciência, como por exemplo, na medicina, com a possibilidade de rastreamento, diagnósticos e tratamentos de doença, por meio do uso de dispositivos em nanoescala, medicamentos nanoestruturados e até mesmo técnicas e equipamentos nanoestruturados, empregando procedimentos pouco evasivos e com menor risco de infecções (ANTUNES et al., 2012).

Assim, a nanociência não está direcionada a um único setor, e estuda as propriedades da matéria em nanoescala nos mais variados ramos tecnológicos, contribuindo fortemente em setores alimentícios, agrícolas, indústrias civis, têxtil e demais segmentos industriais (DUNCAN, 2016).

2.5.2 Nanopartículas de prata

Atualmente existe um grande interesse em materiais compostos por prata, por conta de sua atividade antimicrobiana e concomitante aumento da resistência das estripes bacterianas em relação aos antibióticos convencionais (PINTO, 2012). As suas aplicações são inúmeras, como nas indústrias alimentícias, antimicrobianas, peles artificiais, tratamentos de água e curativos. Além disso, também podem ser considerados biossensores e catalizadores na indústria de papel, odontológica, entre outras (ABDI, 2010). A prata nanoparticulada possui efeito inibidor de mais de 650 espécies de microorganismos, sendo eles bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, fungos e até vírus (ANTUNES et al., 2013; PETICA et al., 2008).

Apesar de não ser claro o mecanismo de atuação da prata contra os fungos, acredita-se que as NP's Ag possam atuar acelerando a degradação oxidativa da membrana celular e interferindo no processo de divisão celular, apresentando grande afinidade pelo fósforo e enxofre presentes no meio intracelular, podendo interferir também em outros processos bioquímicos dos fungos (KIM et al., 2012). Além disso, experimentos constataram em seus estudos com o fungo *Fusarium culmorum*, que a presença da prata nanoparticulada provoca a diminuição da formação e germinação dos esporos, reduzindo o crescimento do micélio (KASPROWICZ; KOZIOT; GORCZYCA, 2010).

2.5.3 Nanopartículas e a madeira

O tratamento da madeira com nanopartículas vem se mostrando muito vantajoso, pois essa aplicação possui novas características, tais como: retardamento de chamas, aumento da durabilidade, diminuição da higroscopicidade, diminuição da permeabilidade e catalisador na secagem da madeira (DASHTI et al., 2012).

Na secagem, o calor é transferido para a secção de núcleo de madeira principalmente por difusão, condução e convecção através de vasos. Já nas amostras impregnadas com nano-metal, as nanopartículas que estão espalhadas por todas as paredes celulares, vasos e pontuações, facilitam a transferência de calor no interior da madeira. Neste contexto, os fluidos de transferência de calor comuns (condução e convecção), podem facilitar a transferência de calor para parte mais profunda das amostras de madeira com a ajuda de pequenas quantidades de nanopartículas metálicas, tais como prata e de óxido de zinco (TAGHIYARI, 2012).

Os resultados obtidos por Dashti et al., (2012) mostraram que o aumento da aplicação de nanopartículas de argila fez com que o coeficiente de difusão decrescesse significativamente, funcionando como um isolante. Por outro lado, os resultados indicaram que as nanopartículas de prata têm muito efeito sobre o coeficiente de permeabilidade e transferência de calor (TAGHIYARI, 2012).

2.6 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

A determinação das propriedades mecânicas da madeira é fundamental para definir adequadamente a aplicação e a sua finalidade, especialmente em relação aquelas que precisam de maior resistência e rigidez (ARAÚJO, 2007). As propriedades mecânicas definem o comportamento da madeira quando submetida a esforços de natureza mecânica, permitindo compará-la com outras de propriedades conhecidas (STANGERLIN, 2009).

2.6.1 Flexão estática

A flexão estática refere-se ao comportamento que a madeira apresenta ao ser submetida a uma carga aplicada em sua face tangencial, com o objetivo

de ocasionar seu flexionamento. Para fins práticos, a madeira, até determinado ponto, apresenta uma característica elástica, ou seja, quando cessada a força que a deforma, a mesma ainda apresenta capacidade de retornar ao estado original. Quando a madeira passa a ser plástica, a sua capacidade de se recompor ao seu estado original é perdido, mesmo com a força que a deforma cessada (MORESCHI, 2012).

Com isso, o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE), dois parâmetros definidos utilizando teste de flexão estática, são extremamente importantes na caracterização tecnológica da madeira, por ambos estimarem a resistência do material, submetendo uma força aplicada perpendicularmente ao eixo longitudinal da peça (SCANAVACA JUNIOR; GARCIA, 2004).

2.6.2 Flexão dinâmica

A resistência a flexão dinâmica de um material é definida como sendo a capacidade de determinada peça em resistir ao impacto. Essa propriedade mecânica tem importância na vida prática, especialmente quando utilizamos a madeira como cabos de ferramentas, carrocerias, mastros, escadas e alguns artigos esportivos (MORESCHI, 2005). O teste de flexão dinâmica é extremamente relevante, pois é capaz de analisar uma importante propriedade mecânica da madeira, e seu estudo possibilita a determinação da capacidade de resistência ao impacto e, assim, determinar suas possíveis formas de uso (BELTRAME, 2010).

2.7 DETERIORAÇÃO DA MADEIRA

Todas as espécies de madeira, até mesmo as com reconhecida durabilidade natural, não possuem a capacidade de resistir, indefinidamente, a variações das condições ambientais, ao ataque de microrganismos ou a ação do homem (OLIVEIRA et al., 2005). Isso ocorre porque a madeira é composta de material orgânico, sendo normalmente utilizada quando não apresenta mais vida, ou seja, constitui-se da parte morta de um vegetal, estando sujeita, portanto, à deterioração e decomposição (SILVA, 2002).

Sendo assim, os fungos são apresentados como os xilófagos mais agressivos à madeira, causando desde manchas até sua decomposição, sendo classificados como: apodrecedores, emboloradores e manchadores (ROCHA, 2001). Diante disso, os fungos apodrecedores, pertencentes a classe dos basidiomicetos, são os principais causadores de danos em materiais lignocelulósicos. Dentre esses, os fungos mais agressivos são os da podridão parda e podridão branca (KELLEY et al., 2002).

Além disso, os fungos apodrecedores causam degradação enzimática na parede celular, fazendo com que haja a perda de massa e alterações das propriedades da madeira, como a dureza, conhecida como a habilidade de resistir ao impacto, e a flexão estática (OLIVEIRA et al, 1988).

2.8 PROPRIEDADE SUPERFICIAL

2.8.1 Molhabilidade

A análise de molhabilidade têm por finalidade a caracterização das alterações superficiais da madeira, no entanto, pode ser considerada uma propriedade física (HILL, 2006). Este fenômeno é característico, pelo fato de apresentar manifestações microscópicas de interações moleculares entre líquidos e sólidos em contato direto na interface (BERG, 1993).

A determinação do quão higroscópico ou hidrofóbico a madeira é depende de fatores característicos de cada espécie, como a porcentagem de cerne ou alburno, o método de secagem utilizado, a orientação das grãos, a procedência do material, entre outros (SOARES et al., 2011).

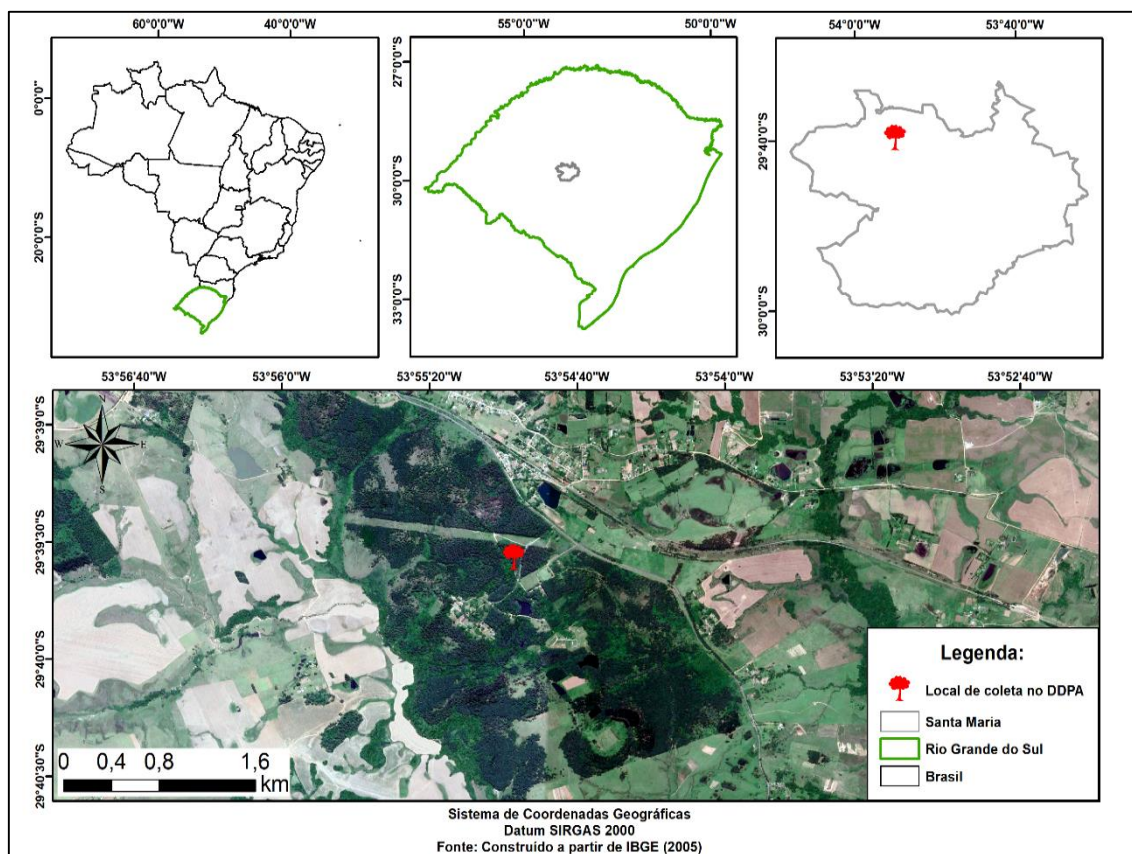
Para isso, utiliza-se o método de gota séssil que é simplesmente medir o ângulo de contato de uma gota de líquido que é depositada em uma superfície lisa e horizontal (ERBIL, 2014). A medição é realizada com auxílio de equipamentos específicos: goniômetro equipado com seringas e um software para obtenção do ângulo de contato (STALDER et al., 2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 OBTENÇÃO E PREPARO DO MATERIAL

O presente estudo foi realizado no Laboratório de Produtos Florestais (LPF), pertencente ao Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria, *campus* Sede. Para a sua elaboração, foram utilizadas três árvores de *Eucalyptus grandis*, abatidas e desdobradas no Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA), pertencente à Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural (SEAPDR), localizada no Distrito de Boca do Monte, Santa Maria – RS, como exposto na Figura 1.

Figura 1 - Localização e coleta das árvores.



Fonte: Autoria própria.

As árvores foram selecionadas de forma aleatória, observando os aspectos como a sanidade, fuste limpo, retilíneo e sem bifurcação e diâmetro da

altura do peito (DAP) superior a 25 cm, além de ter sido evitada a seleção de árvores próximas a bordaduras dos plantios.

As três árvores selecionadas tinham 14 anos, com DAP de 30 cm e altura média de aproximadamente 25 m, das quais foram utilizadas apenas a primeira tora de 1,3 metros, cortada 10 cm acima do nível do solo.

Após o abate e seccionamento das árvores (Figura 2), as toras foram transportadas para a serraria da Universidade Federal de Santa Maria, para o desdobro.

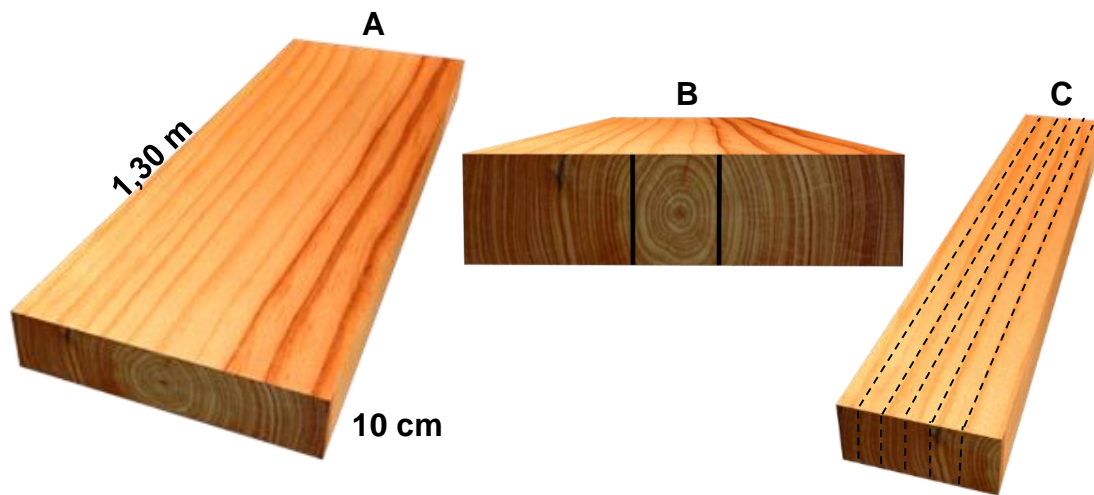
Figura 2 - Seleção das árvores a serem utilizadas.



Fonte: Autoria própria.

Na serraria, foi realizado o desdobro primário das toras com ajuda da serra fita vertical e carro porta toras, sendo que cada tora gerou um pranchão central de 10 cm de espessura e 1,30 m de comprimento, dos quais foram descartadas a parte central da medula, para que assim fosse realizada a confecção dos corpos de prova conforme as normativas descritas para cada ensaio realizado (Figura 3).

Figura 3 - Pranchão central (A), retirada da medula (B) e material utilizado para confecção dos corpos de prova (C)



Fonte: Autoria própria.

Em seguida, foi confeccionado com ajuda de serra circular de bancada, destopadeira, serra fita e desgrossadeira os corpos de prova (C) nas dimensões 2,5 x 10,0 x 31,0 cm de, respectivamente, espessura, largura e comprimento (Figura 4). As nanopartículas de prata foram obtidas na empresa Naturals Brazil, com concentrações de 40 ppm e 100 ppm.

Figura 4 - Ilustração das dimensões das tábuas submetidas aos métodos de secagem.



Fonte: Autoria própria.

3.2 PLANO EXPERIMENTAL

O experimento foi dividido em dois métodos (estufa laboratorial e câmara climatizada) e três tratamentos (testemunha, 40 ppm e 100 ppm), cada tratamento apresentou 6 repetições, totalizando 36 corpos de prova. Na tabela 1 está disposto o plano experimental com suas respectivas quantidades de tábuas utilizadas por método e tratamento.

Tabela 1 - Plano experimental com suas quantidades.

Métodos	Tratamentos	Repetições	Total
Estufa laboratorial	Testemunha	6	36
	40 ppm	6	
	100 ppm	6	
Câmara climatizada	Testemunha	6	
	40 ppm	6	
	100 ppm	6	

Fonte: Autoria própria.

3.3 IMPREGNAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA

Após a elaboração dos corpos de prova, o próximo passo é a impregnação do líquido de nanopartículas de prata na madeira. Desta forma, utilizou-se uma autoclave laboratorial na qual foi aplicada uma contrapressão durante 15 min e, em seguida, o líquido foi transferido para o interior da autoclave, para assim ser aplicada uma pressão de 8 bar durante 1 hora (Figura 5).

Figura 5 - Autoclave usada para impregnação de nanopartículas de prata na madeira.



Fonte: Autoria própria.

3.4 MÉTODOS DE SECAGEM DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*.

3.4.1 Secagem em câmara climatizada

Após a impregnação da NP's Ag, os corpos de prova foram submetidos à secagem na câmara climatizada do LPF nas condições de $20^{\circ}\text{C} \pm 2$ de temperatura e $65\% \pm 2$ de umidade relativa, simulando a secagem ao ar livre da região de Santa Maria, RS e ali permaneceram por 109 horas, até atingirem o equilíbrio higroscópico, a um teor de umidade correspondente a aproximadamente 20% (Figura 6). Então foram realizados os ensaios para determinar as características físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis*.

Figura 6 - Secagem em câmara climatizada.



Fonte: Autoria própria.

3.4.2 Secagem em estufa laboratorial

A secagem controlada foi realizada em estufa de laboratorial da marca Marconi modelo MA 035 com circulação e renovação de ar (Figura 7), utilizando temperatura constante de $60^{\circ}\text{C} \pm 2$. Durante o processo de secagem, a cada 2 horas foram tomadas de todas as amostras o seu peso e suas respectivas dimensões (espessura, largura e comprimento). Assim que as tábuas atingissem o valor constante, parava-se a medição, alocava as peças em câmara climatizada até atingir 12% para realizar os testes de flexão estática, dinâmica, apodrecimento acelerado e molhabilidade.

Figura 7 - Secagem em estufa laboratorial.



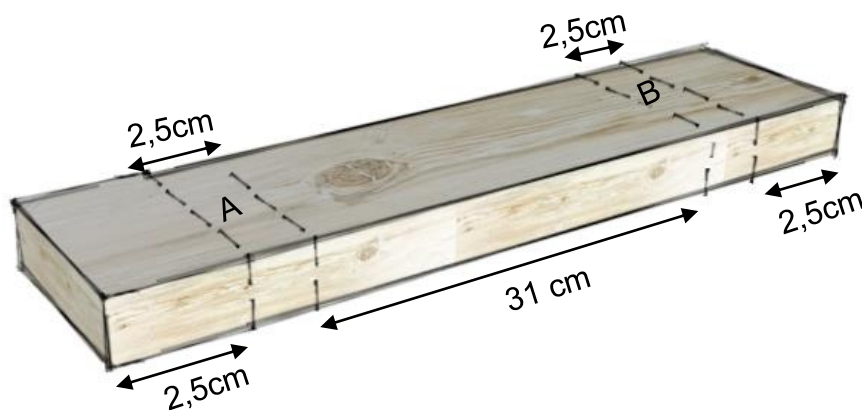
Fonte: Autoria própria.

3.6 TEOR DE UMIDADE

O método utilizado para determinar o teor de umidade da madeira, foi o gravimétrico. Foram descartados de todas as tábuas, os primeiros 2,5 cm com o objetivo de minimizar a influência da secagem dos topos. Posteriormente, foram

retirados dois corpos de provas de 2,5 cm como amostra de controle, conforme ilustrado na Figura 8. A parte central foi usada para impregnação de nanopartículas de Ag.

Figura 8 - Esquema da retirada das amostras para obtenção da teor de umidade inicial das peças.



Fonte: Autoria própria.

Durante a secagem da madeira, o teor de umidade inicial de cada amostra de controle foi calculado por meio da média aritmética das duas seções (A e B). O teor de umidade de cada seção foi determinado pela equação 1, utilizando estufa de convecção natural com temperatura constante de $103^{\circ}\text{C} \pm 2$.

$$TU_i = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100$$

Equação 1

Onde:

TU_i = Teor de umidade inicial (%);

P_u = Peso úmido da amostra (g);

P_s = Peso seco da amostra (g).

Em cada pilha de madeira foram colocadas duas amostras de controle em locais diferentes de fácil remoção e reposição, de modo a permitir uma medição real e representativa do teor de umidade das mesmas. O teor de umidade de cada pilha foi calculado por meio da equação 2:

$$TUa = \frac{Pa(TUi + 100)}{Pi} - 100$$

Equação 2

Onde:

TUa: Teor de umidade atual (%);

Pa: Peso atual da amostra (g);

Pi: Peso úmido da amostra (g);

TUi: Teor de umidade inicial (%).

As peças permaneceram nas pilhas até que atingissem o teor médio de umidade aproximado de 17,8%, percentual considerado o teor de umidade de equilíbrio para madeira na região central do Rio Grande do Sul nesta época do ano, de junho a agosto.

3.7 TAXA DE SECAGEM

A taxa de secagem foi determinada pela equação 3, descrita por Santini (1980);

$$TS = \frac{Qae}{Ae \times T}$$

Equação 3

Onde:

Ts: Taxa de secagem (g/cm² h);

Qae: Quantidade de água evaporada (g);

Ae: Área superficial da peça (cm²);

T: Tempo de secagem decorrido (horas).

3.8 AVALIAÇÃO DOS DEFEITOS DA MADEIRA

Com o auxílio da serra circular destopadeira, refiladeira e desengrossadeira, fez-se corpos de prova de *Eucalyptus grandis* retos e planos (Figura 9), ou seja, sem presença de defeitos, para que assim fosse possível

observar os defeitos após os processos de secagem em estufa e câmara climatizada.

Figura 9 - Tábuas após desdobro.



Fonte: Autoria própria.

Ao realizar o processo de secagem das tábuas foi possível observar o aparecimento de dois tipos de empenamentos, o encanoamento e o torcimento. Para analisar esses defeitos, foram utilizadas as classes de qualidade da NBR 14.806 para madeira serrada de eucalipto (ABNT, 2002). A mensuração dos empenamentos encontrados neste estudo utilizou paquímetro digital com precisão de 0,01mm.

a) Encanoamento

O encanoamento foi quantificado conforme metodologia proposta por Rocha (2000) e seus valores foram apresentados como sua flecha máxima em milímetros, demonstrado na Figura 10.

Figura 10 - Ilustração da tábua com encanoamento.



Fonte: Autoria própria.

Ainda, o encanoamento foi quantificado e classificado conforme recomendações da NBR 14.806 (ABNT, 2002), realizando a classificação de madeiras secas (Tabela 2).

Tabela 2 - Classificação dos empenamentos.

Empenamento	Magnitude		
	Leve	Médio	Forte
Arqueamento	$a \leq 3$	$3 < a \leq 10$	$a > 10$
Encanoamento	$c \leq 2$	$2 < c \leq 4$	$c > 4$
Encurvamento	$e \leq 10$	$10 < e \leq 20$	$e > 20$

Fonte: NBR 14.806 (2002).

b) Torcimento

O torcimento (Figura 11), por se tratar de um empenamento não permitido em nenhuma das classes, de acordo com a NBR 14.806, não foi quantificado quanto à medida em mm, somente a porcentagem de tábuas danificadas.

Figura 11 - Ilustração da tábua com torcimento.



Fonte: Autoria própria.

3.8 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA

3.8.1 Massa específica aparente

Os corpos de prova para a averiguação das propriedades físicas foram confeccionados com base na norma NBR 7190/97 – projeto de estrutura de madeira. Para analisar a massa específica aparente a 12% ($P_{12\%}$) de teor de umidade do corpo de prova, utilizou-se a equação 4:

$$Pa = \frac{M_{12\%}}{V_{12\%}} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

$P_{12\%}$ = Massa específica a 12% (g/cm^3);

$M_{12\%}$ = Massa a 12% de teor de umidade (g);

$V_{12\%}$ = Volume a 12% de teor de umidade (cm^3).

Para determinar a massa específica aparente a 12%, os corpos de provas foram levados a uma câmara climatizada, com uma temperatura de 20°C e umidade relativa de 65%, onde permaneceram até atingirem massa constante. Já para a obtenção da massa específica seca, os corpos de prova foram submetidos a uma secagem em estufa com circulação de ar e temperatura de 103°C até apresentar massa constante.

3.9 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

Os corpos de provas para a realização testes mecânicos de flexão estática e dinâmica foram confeccionados por meio das tábuas já impregnadas e ao final das avaliações de secagem (Tabela 3). Os procedimentos de confecção, condicionamento e ensaio dos corpos de prova para testes mecânicos seguiram a recomendação da norma D143-94 – ASTM (2005) e o teste de flexão dinâmica foi realizado conforme a norma NF B51009 da Association Francaise de Normalization (AFN, 1942).

Tabela 3 - Dimensões, velocidade do ensaio e número de amostras que foram utilizadas na determinação das propriedades mecânicas.

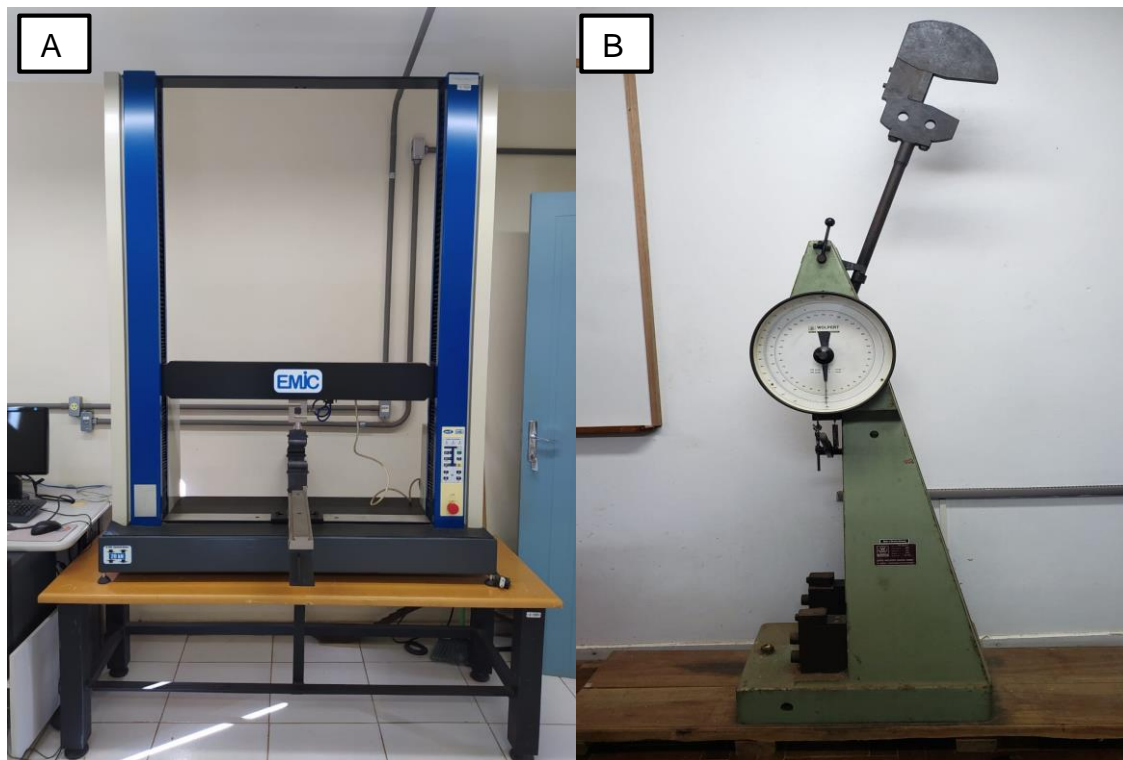
Propriedades mecânicas	Dimensões dos corpos de prova	Velocidade do ensaio (mm/min)	Número de amostras
Flexão estática	2,0 x 2,0 x 30,0	1,0	60
Flexão dinâmica	2,0 x 2,0 x 30,0	-	60

Fonte: Adaptação de ASTM, 2005.

Logo após a confecção das amostras, os corpos de prova foram acondicionados em câmara climatizada a uma temperatura de 20°C e umidade relativa de 65%, permanecendo até atingir umidade de equilíbrio em torno de 12%.

O teste de flexão estática foi realizado no LTPF-FW utilizando EMIC DL 2000 (A) com velocidade constante de 1mm/min, já a flexão dinâmica foi realizada em pêndulo de Charpy (B) no LPF – UFSM. Na Figura 12 são demonstrados os equipamentos.

Figura 12 - Equipamentos utilizados nos testes mecânicos, EMIC DL 2000 (A) e Pêndulo Charpy (B).



Fonte: Autoria própria.

3.9.1 Flexão dinâmica

O teste foi realizado no pêndulo de Charpy, pois quando ocorre o impacto do mesmo com a amostra, obtém-se o trabalho absorvido (W) em joule, na escala graduada da máquina. Esses valores em joule foram convertidos em kgm utilizando a relação $1 \text{ joule} = 0,101972 \text{ kgm}$. Logo após, utilizou-se as equações (5 e 6), respectivamente para obter o coeficiente de resiliência (K) e a cota dinâmica (CD), já para obtenção da resistência da madeira à flexão dinâmica (f_{bw}) utilizou-se a NBR 7190 (ABNT, 1997), por meio da equação (7).

$$K = \frac{W}{b * (h^{10/12})}$$

Equação 5

Onde:

K = coeficiente de resiliência (Mpa.m);

W = Trabalho absorvido para romper o corpo-de-prova (J);

b e h = Dimensões transversais do corpo-de-prova (cm).

$$CD = \frac{K}{P.aparente^2}$$

Equação 6

Onde:

CD = Cota dinâmica;

K = Coeficiente de resiliência (Mpa.m);

P_{aparente}² = Densidade aparente (g/cm³).

$$Fbw = \frac{1000.w}{b * h}$$

Equação 7

Onde:

F_{bw} = Resistência ao impacto, em KJ/m²;

W = Energia necessária para fraturar o corpo de prova (trabalho absorvido), em joules (J);

b e h = Dimensões transversais do corpo-de-prova (mm).

3.9.2 Flexão estática

Para a caracterização das propriedades de flexão estática do módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE), os corpos de prova foram identificados na posição medula-casca e submetidos a ensaios na EMIC DL 2000 que é equipada com sistema de aquisição de dados que fornece os valores de testes citados anteriormente.

Os corpos de prova foram confeccionados de modo a atender as prescrições da COPANT 30:1 006 (Comissão Panamericana de Normas Técnicas, 1972), o qual suas medidas são 2,0 x 2,0 x 30,0 cm, respectivamente, espessura, largura e comprimento. Em seguida, foram realizadas as comparações das médias dos módulos de elasticidade e de ruptura, obtidos no software da máquina de testes.

3.10 BIODETERIORAÇÃO DA MADEIRA

O ensaio de apodrecimento acelerado foi realizado no laboratório de biodeterioração da madeira da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, sendo que para realizar o teste foram confeccionados corpos de provas (2,5 x 2,5 x 0,9, respectivamente, espessura, largura e comprimento) a partir das tábuas analisadas na secagem, o que resultou nos seguintes tratamentos: testemunha e impregnação de NP'sAg com 40 ppm e 100 ppm.

Em seguida, foram esterilizadas as placas de petri de 12mm e o meio BDA (Batata - Dextrose – Agar), esse meio foi depositado nas placas, esperando até sua solidificação, em seguida colocado as duas amostras dos corpos de prova nas placas. Logo após, foi retirado das colônias do fungo *Pycnoporus sanguineus* (podridão branca), enviadas pelo Setor de Biodegradação e Preservação da Madeira - LPF/ IBAMA, um disco micelial de 8mm e depositado no centro da placa de petri. Posteriormente, foram destinados até uma sala com temperatura constante de 25°C e iluminação artificial, durante um período de 60 dias.

3.10.1 Perda de massa por fungos

Para avaliação da resistência da madeira tratada ao ataque dos fungos apodrecedores, foi comparada a diferença entra a massa seca inicial e a final (Equação 8).

$$PM = \frac{MSi - MSf}{MSi} \times 100$$

Equação 8

Onde:

PM = perda de massa (%);

MSi = massa seca inicial (g);

MSf = massa seca final (g).

Já na classificação da perda de massa, foi analisada a perda de massa sofrida pela madeira com valores apresentados pela ASTM D-2017 (1994), conforme Tabela 4.

Tabela 4 - Classificação da perda de massa conforme a ASTM D-2017 (1994).

Classes de resistência	Perda de massa (%)	Massa residual (%)
Muito Resistente	0 – 10	90 – 100
Resistente	11 – 24	76 – 89
Resistência Moderada	25 – 44	56 – 75
Não-Resistente	≥ 45	≤ 55

Fonte: Autoria própria.

3.11 MOLHABILIDADE

Para o teste de molhabilidade da madeira foi realizada a medição do ângulo de contato sobre a superfície da peça; para tal foi utilizado um goniômetro digital (Figura 13) e, como líquido para a formação da gota utilizou-se água deionizada, com volume de aproximadamente 10 µL. As amostras selecionadas possuíam dimensões de 2,5 x 2,5 x 10 cm, respectivamente, espessura, largura e comprimento. Para cada tratamento foram utilizados 10 corpos de prova, sendo depositada uma gota na superfície transversal e após 10 segundos de acomodação foi realizada a medição do ângulo e depois de 30 segundos realizado uma nova medição.

Figura 13 - Goniômetro Kruss, modelo DSA 25.



Fonte: Autoria própria.

3.12 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Foi realizado um delineamento inteiramente casualizado (DIC) com fatorial 2x3, apresentando o experimento com 2 fatores (câmara climatizada e estufa laboratorial), onde cada um teve 3 níveis (testemunha, 40 ppm e 100ppm). No entanto, para os testes de biodeterioração e molhabilidade foi realizado a análise simples de DIC.

Ainda, foram verificados a homocedasticidade da variância ($p > 0,05$) e a normalidade da distribuição dos erros experimentais ($p > 0,05$), respectivamente, Bartlett e Shapiro-Wilk. Nos casos em que não houve a diferença significativa, foi necessário realizar a transformação dos dados, utilizando a raiz quadrada.

Em dados com valores significativos, foi necessário realizar o teste de Tukey, em 5% de probabilidade de erro, com o intuito de identificar estas diferenças. A normalidade e homocedasticidade foram observadas utilizando o software estatístico Past e o teste de médias com software Rstudio.

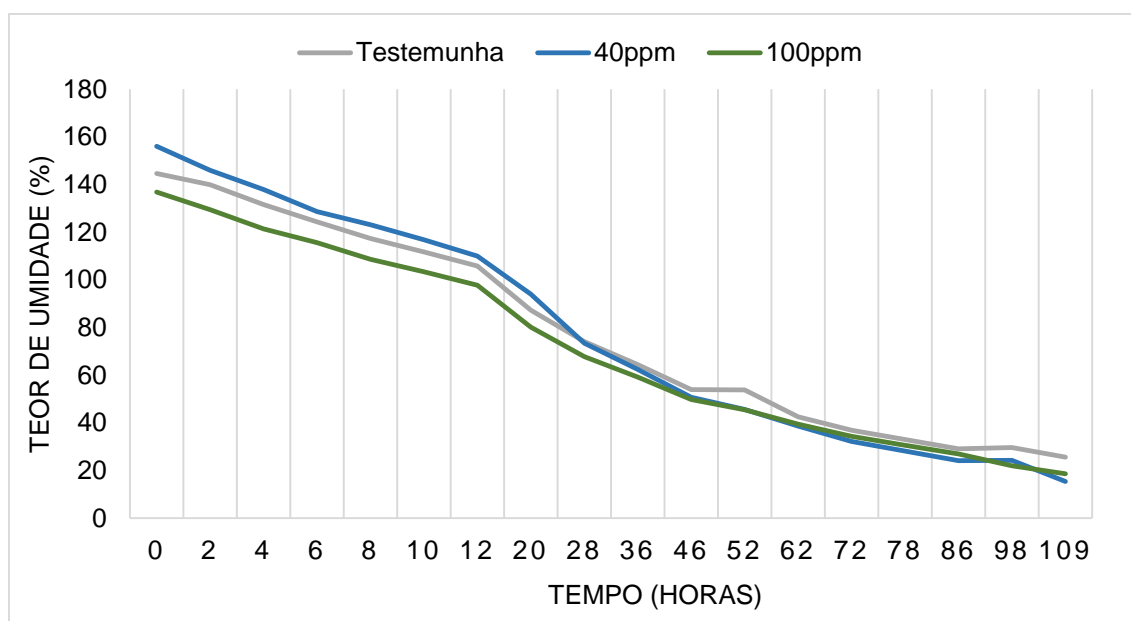
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 TEOR DE UMIDADE

A Figura 14 ilustra as curvas de secagem das madeiras secas em estufa laboratorial. Relacionando o teor de umidade e o tempo de secagem, percebe-se que a curva apresenta as características normais das curvas de secagem, sendo que a partir das 28 horas de processo a testemunha apresentou menor perda de teor de umidade em relação às madeiras que foram impregnadas com NP's Ag. Isso acontece, pelo fato dos nano-metais estarem espalhados por todas as paredes celulares, vasos e pontuações, facilitando uma melhor transferência de calor ao interior da madeira. Assim, o TUF da testemunha apresentou-se mais alto do que o das madeiras com impregnação de nanopartículas de prata.

Ao analisar a Figura 14, pode-se observar através da curva de umidade para a retirada da água da madeira, que levaram aproximadamente 78 horas para que fosse atingido o PSF. Já para a remoção da água de impregnação, foram necessárias mais 31 horas, totalizando 109 horas de secagem, chegando até aproximadamente 19% de teor de umidade.

Figura 14 - Curva de secagem em estufa laboratorial das amostras em função do teor de umidade inicial e o tempo decorrido em horas.



Fonte: Autoria própria.

Isso acontece, segundo Viscarra (1998), porque a perda da água da madeira ocorre de maneira diferente dependendo do teor de umidade em que a peça se encontra, ou ainda, se está acima ou abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF). Para a retirada da água livre da madeira por capilaridade, segundo autores como Galvão e Jankowsky (1985) e Simpson (1991), devem ser tomados alguns cuidados no início do processo para espécies de baixa permeabilidade, como o gênero *Eucalyptus*, para que assim minimize-se a ocorrência de defeitos.

O teor de umidade inicial médio, horas de secagem e teor de umidade final da secagem em estufa laboratorial estão expostos na Tabela 5. A partir da análise do teor de umidade médio dos tratamentos, pode-se observar que houve uma redução de 125,94% de umidade durante as 109 horas de secagem. Nota-se ainda, que a maior média inicial (155,98%) e a menor média ao final (15,32%) foram obtidas quando utilizada a concentração de 40 ppm, a qual apresentou uma maior perda de umidade nas 109 horas de secagem.

Tabela 5 - Teor de umidade inicial, final e tempo decorrido da secagem em estufa laboratorial.

Tratamento	TU_i	Horas	TU_f
Testemunha	144,58	109	25,60
40 ppm	155,98	109	15,32
100 ppm	136,74	109	18,58
Média	145,77	-	19,83

Fonte: Autoria própria.

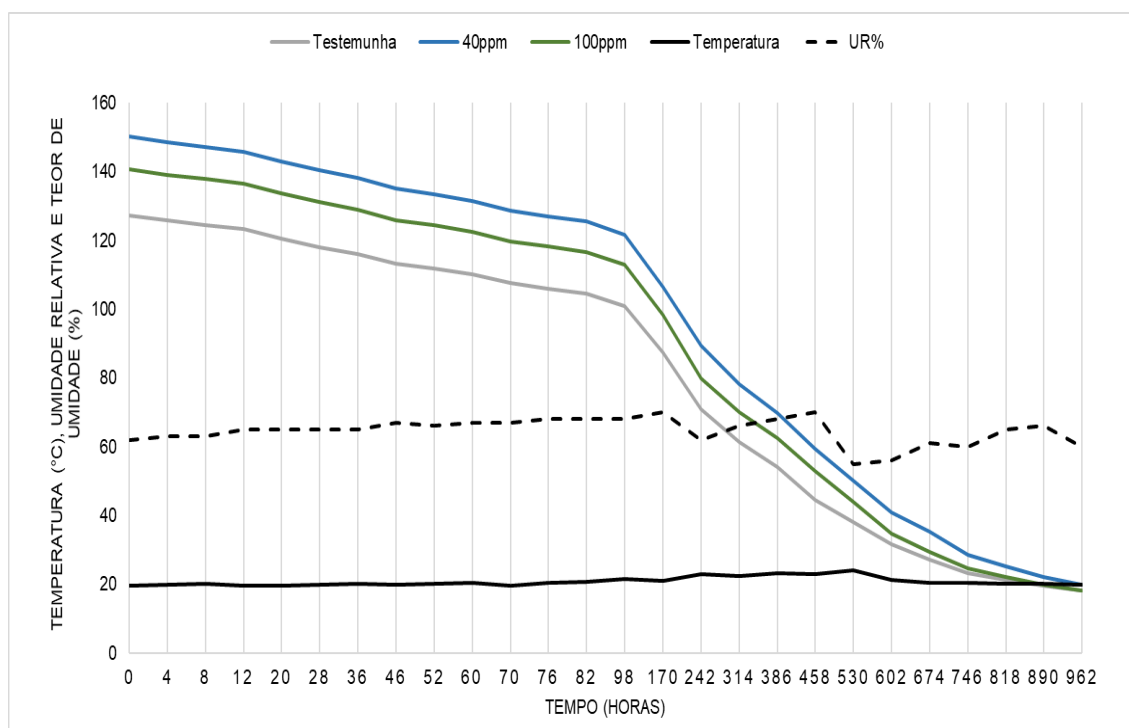
Os resultados obtidos no teor de umidade inicial estão semelhantes aos observados por outros estudos para a espécie de *Eucalyptus grandis* com vaporização (MELLADO, 1993; REZENDE et al., 2015). As perdas de umidade em relação ao tempo de secagem da madeira se mostram superiores às encontradas por autores como Ciniglio (1998), Severo (1998) e Rocha (2000), que fizeram secagem em estufa convencional para a mesma espécie, em estufa semelhante.

A Figura 15 ilustra a curva de secagem com os mesmos tratamentos citados anteriormente, porém para secagem em câmara climatizada. Este método é semelhante à secagem ao ar livre, pois é utilizada uma sala climatizada

com temperatura e umidade relativa média da cidade em questão. Juntamente com a curva de temperatura e umidade relativa da câmara climatizada, nota-se que até 98h, ou seja, 5º dia de secagem, momento em que se mostrava um teor de umidade médio de 112% de TU, houve um distanciamento maior entre as medições. Por conta disso, apresentou-se esse desnível maior na curva de secagem.

Ainda podemos observar que, anteriormente ao PSF, a curva apresentou característica linear com a água capilar, sendo a taxa de secagem quase constante. Já próximo aos 30%, na transição para a água higroscópica, foi observada a diminuição da curva. Após atingir o PSF, a secagem higroscópica predominou e a curva teve uma inclinação menor, representada pela taxa de secagem. Nessa condição de secagem a testemunha apresentou menor TUf e maior perda total de umidade do que aquelas peças impregnadas com nanopartículas de prata.

Figura 15 - Curva de secagem em câmara climatizada das amostras em função do teor de umidade inicial e o tempo decorrido em horas.



Fonte: Autoria própria.

França et al. (2019), em seu estudo utilizando tábuas de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, apresentou uma curva de secagem semelhante à vista neste trabalho, no qual o PSF médio do experimento foi atingido após 446 horas de secagem. Em outro estudo, Rosso (2006), utilizando-se do *Eucalyptus grandis*, conseguiu atingir o PSF em aproximadamente 888 horas durante a estação do outono, enquanto no inverno o PSF foi atingido após 360 horas. Além disso, Carvalho (2006) estudou a mesma espécie, porém demorou 432 horas para atingir o PSF.

Neste estudo o PSF foi atingido em 674 horas, apresentando um tempo um pouco mais elevado do que os estudos de França et al. (2019), Carvalho (2006) e do que de Rosso (2006) durante a estação de inverno. Esta diferença de tempo pode ser explicada devido ao fato das peças terem sido secadas em câmara climatizada, a uma temperatura média de 20°C e umidade relativa de 65% e não ao ar livre, como realizado em tais estudos.

O teor de umidade médio inicial e final, junto com as horas de secagem estão expostos na Tabela 6. Quando comparamos a perda total de umidade da madeira (TUi – TUf), os valores obtidos pela câmara climatizada (120,79%) são inferiores aos apresentados na estufa laboratorial (125,94%), exemplificando sua secagem mais lenta.

Tabela 6 - Teor de umidade inicial, final e tempo decorrido da secagem em câmara climatizada.

Tratamento	TUi	Horas	TUf
Testemunha	127,38	962	18,03
40 ppm	150,34	962	19,98
100 ppm	140,85	962	18,20
Média	139,53	-	18,74

Fonte: Autoria própria.

Em estudo semelhante para secagem ao ar livre no inverno da região de Santa Maria – RS, Rosso (2006) apresentou valores de teor de umidade inicial médio de 85% e final médio de 24%, em 936 horas para a madeira de *Eucalyptus grandis*. Já França et al. (2019) realizou sua secagem ao ar livre no estado do Espírito Santo, durante o outono, e obteve um teor de umidade inicial médio de 83,56% e final médio de 15,95%, em 3.528 horas.

Na presente pesquisa, obteve-se um teor de umidade inicial médio de 139,53% e final médio de 18,74% em 962 horas, obtidos em uma temperatura média de 20°C e teor de umidade relativa de 65% em uma câmara climatizada. Ainda, nota-se que o tratamento de 40 ppm apresentou a maior perda de umidade (130,36%) durante as 962 horas de secagem, seguido pelo tratamento de 100 ppm (122,65%), tendo estes apresentado maior TUi e TUf ligeiramente maiores que aqueles da testemunha.

4.2 TAXA DE SECAGEM

Na Tabela 7 estão expostas as taxas de secagem acima e abaixo do PSF, além da média geral para a secagem em estufa laboratorial. Por meio dessa, pode-se observar que aquelas madeiras com valores de taxa de secagem acima do PSF com a impregnação de 40 ppm diferiram significativamente da testemunha e daquela com impregnação de 100 ppm, mostrando que houve uma maior perda de umidade da madeira em relação às demais. Quando comparado a secagem em estufa com o teor de umidade abaixo do PSF, concluímos que não houve diferença significativa, no entanto, podemos verificar que a testemunha apresentou maior perda de umidade nesta fase.

Os valores médios da taxa de secagem em estufa variaram de 2,07 a 2,95 (g.cm⁻².h)10³, sendo que a peça com impregnação de 40 ppm obteve a maior taxa de secagem 2,95 (g.cm⁻².h)10³, diferindo significativamente das demais. Em estudo similar, Rosso (2006) encontrou o valor médio de 2,8 (g.cm⁻².h)10³ de taxa de secagem no verão, para a espécie *Eucalyptus grandis*, valor similar aos encontrados nessa pesquisa.

Tabela 7 - Taxa de secagem em estufa laboratorial.

Método	Tratamento	Taxa de secagem (g/cm ² .h)10 ³		
		Acima do PSF	Abaixo do PSF	Média geral
Estufa	Testemunha	2,4775 b	0,2025 a	2,0761 b
	40 ppm	3,5447 a	0,1945 a	2,9535 a
	100 ppm	2,6135 b	0,1991 a	2,1874 b

*Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade de erro; teste de médias (TSD - Tukey Significant Difference).

Fonte: Autoria própria.

Zen (2016) relata que o valor médio na secagem convencional da madeira verde até 30% (água capilar) ficou em 0,7468 %U.h⁻¹, de 30% até 9% (água de impregnação) ficou em 0,1715 %U.h⁻¹ e de verde até 9% ficou em 0,2845 %U.h⁻¹, demonstrando que há uma redução de perda de umidade da peça quando abaixo do PSF. Corroborando, Guina Luis (2014) verificou uma redução na faixa higroscópica da taxa de secagem ao estudar o efeito da vaporização da madeira de eucalipto para dois tratamentos.

Quanto a secagem em câmara climatizada, podemos verificar na Tabela 8 que os valores médios da taxa de secagem variaram de 0,2284 a 0,3172 (g.cm⁻².h)^{10³}, não apresentando diferença significativa. Pode-se observar ainda, que as madeiras tratadas com NP's Ag impregnadas com 40 ppm e abaixo do PSF, mesmo não apresentando diferença significativa dos demais tratamentos, manifestou maior perda de umidade em relação às demais, no entanto, a maior média geral foi com a concentração de 100 ppm.

Tabela 8 - Taxa de secagem em câmara climatizada.

Método	Tratamento	Taxa de secagem (g/cm ² .h) ^{10³}		
		Acima do PSF	Abaixo do PSF	Média
Câmara	testemunha	0,3749 a	0,0129 a	0,2284 a
	40 ppm	0,2784 a	0,0213 a	0,2373 a
	100 ppm	0,2694 a	0,0142 a	0,3172 a

*Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade de erro; teste de médias (TSD - Tukey Significant Difference).
Fonte: Autoria própria.

De acordo com Zen et al. (2019), em análise semelhante, usando madeiras de *Eucalyptus* spp., as taxas de secagem obtidas nas condições de teor de umidade de verde até 30%, 30% até 22% e verde até 22%, foram respectivamente, 1,5, 0,25 e 1,00 (g.cm⁻².h)^{10³}, sendo inferiores ao encontrado nesse estudo.

Assim como Batista, Klitzke e Rocha (2015), cujos valores médios para secagem *Eucalyptus* spp em câmara climatizada foram de: 0,128 à 0,157 (g.cm⁻².h)^{10³}, menores dos que os encontrados no presente trabalho, tendo o autor classificado a secagem de sua pesquisa como lenta. Já Talgatti (2014), utilizando espécie de *Eucalyptus grandis* em secagem ao ar livre na região de Santa Maria

– RS e apresentando temperatura e umidade relativa semelhante à deste estudo, obteve taxa de secagem média de $0,1977 \text{ (g.cm}^{-2}\text{.h)}10^3$.

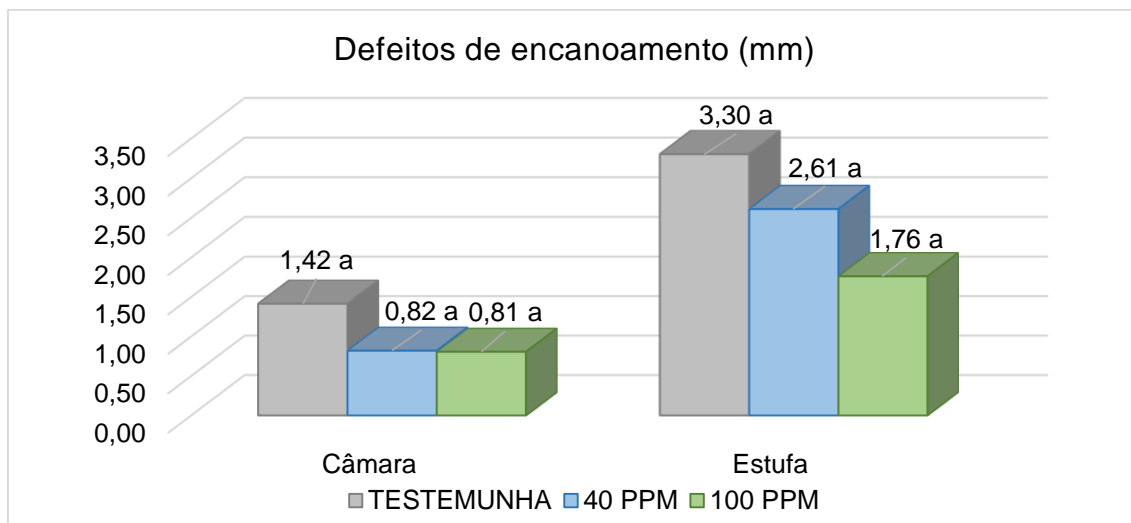
4.3 DEFEITOS PÓS-SECAGEM

Após a realização do experimento as peças apresentaram apenas os defeitos de encaçamento e torcimento. A partir disso, podemos observar na Figura 16 que as tábuas secas em câmara climatizada e impregnadas com nanopartículas (40 ppm e 100 ppm) demonstraram uma redução nos valores de defeitos em relação à testemunha de aproximadamente 0,6 mm, mesmo assim não apresentou uma diferença significativa.

Na secagem em estufa houve um aumento nos valores de defeitos em relação a secagem em câmara climatizada. Pode - se observar que as madeiras impregnadas com NP's Ag de 40 e 100 ppm apresentaram respectivamente 2,61 e 1,76 mm de defeitos, valores menores em relação a testemunha que apresentou 3,30 mm, no entanto, não houve diferença significativa entre as mesmas.

De modo geral, as tábuas secas em câmara climatizada apresentaram melhores resultados, sendo classificadas como média magnitude conforme NBR 14.806 (ABNT, 2002). No entanto a secagem em estufa apresentou valores superiores a 4mm, e as tábuas classificadas como magnitude forte.

Figura 16 - Valores em milímetros do defeito de encanoamento.



*Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade de erro; teste de médias (TSD - Tukey Significant Difference).

Fonte: Autoria própria.

Conforme a pesquisa de Batista, Klitzke e Rocha (2015), a espécie de *Eucalyptus grandis* tem propensão à grandes valores de encanoamento, tendo o autor encontrado 60,49 mm, valor acima dos obtidos nesta pesquisa. Além disso, Batista, Klitzke e Rocha (2010) explicam que a madeira dessa espécie pode ser de muito instável dimensionamento, ocasionando tal defeito.

Ainda, de acordo com Caixeta et al. (2002) em estudo com *Eucalyptus* entre 13 e 17 anos, após avaliação da qualidade da madeira submetida a secagem ao ar livre, aferiram-se valores médios de encanoamento de 3,12 mm, sendo o encanoamento verificado pelo autor supracitado semelhante a testemunha.

Ademais, Stangerlin et al. (2009) relata que o encanoamento pode ser resultante da diferença entre contrações transversais que pode ocorrer pela exposição de apenas uma face da tábua a secagem. Já Ponce (1995) diz que as madeiras de eucalipto são suscetíveis ao defeito de encanoamento durante a secagem, principalmente se realizada em condições severas e de altas temperaturas.

Foi possível observar a presença de torcimento nas peças, causado pela presença de grã espiralada, o qual é característico em madeiras do gênero *Eucalyptus* sp., assim, é possível verificar na Figura 17 uma leve inclinação nas

amostras. Por se tratar de um defeito muito grave, o torcimento não é aceito e, por conta disso, foram apenas quantificadas em porcentagem as tábuas que apresentaram este defeito e não houve medição, conforme demonstrado na Tabela 8.

Figura 17 - Disco com presença de grã espiralada.



Fonte: Autoria própria.

De acordo com Bechtel e Allen (1987), a grã espiralada é definida como desvio das fibras, sendo o ângulo entre os elementos longitudinais da madeira e o eixo do tronco, podendo ocorrer como resultado do corte das peças ou por existência natural. Ainda, Nogueira (2007) relata que a presença de torcimento é causada pela grã espiralada contidas nas árvores. Algumas espécies do gênero *Eucalyptus* spp. são propensas a apresentarem essa característica.

Podemos observar na Tabela 9 que a testemunha com secagem em câmara climatizada apresentou o maior número de tábuas com torcimento, seguida da com impregnação de 100 ppm seca em estufa laboratorial. Segundo Martins (1988), o torcimento é ocasionado pela combinação de contrações

diferentes e desvios de grã, como grã espiralada. Ainda, Brandão (1989) relata que a variação dimensional nos sentidos radial e tangencial, diferença entre a madeira juvenil e adulta, bem como a diferença entre o lenho inicial e tardio ajudam ao aparecimento deste empenamento.

Tabela 9 - Quantidade de tábuas que apresentaram defeito de torcimento em porcentagem (%).

Métodos	Tratamento		
	Testemunha	40 ppm	100 ppm
Estufa	33,33	33,33	66,66
Câmara	83,33	50,00	33,33

Fonte: Autoria própria.

4.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS

4.4.1 Flexão dinâmica

Na Tabela 10 é possível visualizar os valores médios da massa específica aparente, assim como o valor de trabalho absorvido (W), coeficiente de resiliência (K), cota dinâmica (CD), resistência ao impacto (Fbw) referentes aos diferentes métodos de secagem (estufa e câmara) e diferentes métodos de impregnação de nanopartículas de prata (testemunha, 40 ppm e 100 ppm).

Tabela 10 - Valores de massa específica aparente (Mea), resistência ao impacto (Fbw), trabalho absorvido (W), coeficiente de resiliência (K) e cota dinâmica (CD) realizadas neste estudo.

Métodos	Tratamentos	Mea (g.cm ⁻³)	Fbw (KJ.m ⁻²)	W (Kgm)	K (Kgf.cm ⁻²)	CD
Estufa	testemunha	0,566 a	5,008 b	1,042 b	0,580 b	1,06 b
	40 ppm	0,555 a	5,068 b	1,055 b	0,587 b	1,15 b
	100 ppm	0,605 a	6,962 a	1,443 a	0,805 a	1,80 a
Câmara	testemunha	0,593 a	5,218 a	1,169 a	0,600 a	1,03 b
	40 ppm	0,517 b	5,205 a	1,224 a	0,602 a	1,38 ab
	100 ppm	0,531 b	5,642 a	1,171 a	0,653 a	1,59 a

*Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade de erro; teste de médias (TSD - Tukey Significant Difference).

Fonte: Autoria própria.

Os valores médios de massa específica do presente estudo variam entre 0,5545 g.cm⁻³ e 0,6047 g.cm⁻³ para os tratamentos em estufa e de 0,5173 g.cm⁻³ a 0,5927 g.cm⁻³ para aqueles tratamentos em câmara. Conforme a classificação de Carvalho (1996), todas as madeiras dos diferentes tipos de tratamentos e secagem são classificadas como leves, apresentando massa específica entre 0,50 g.cm⁻³ a 0,64 g.cm⁻³, fato corroborado por Lopes et al. (2011) que classifica a madeira da espécie de *Eucalyptus grandis* como leve, com valor médio de 0,58 g.cm⁻³. Além disso, a testemunha com secagem em câmara apresentou a maior massa específica, evidenciando uma diferença significativa dos demais tipos de tratamento, mostrando que para esse processo obtém-se melhores resultados. Na secagem em estufa não houve diferença significativa entre os diferentes tratamentos.

Os valores médios de trabalho absorvido (W) variam de 1,13 kgm² a 2,12 kgm² para os diferentes tratamentos com secagem em estufa e de 1,40 kgm² a 1,52 kgm² para aqueles da secagem em câmara, sendo o tratamento com impregnação de 100 ppm e com secagem em estufa aquele que apresenta o maior trabalho absorvido (2,12 kgm²). Segundo Pedroso e Matos (1987) as espécies de *Eucalyptus* spp. presentes no estudo tem seu trabalho absorvido variando de 2,0 kgm² à 7,2 kgm². Ainda, Pertuzzatti et al. (2017) apresenta resultados condizentes com a presente pesquisa, pois demonstra que a espécie

Eucalyptus grandis quando seca em estufa apresenta trabalho de 1,63 kgm² e, com secagem em câmara, em condições de temperatura e umidade análogas à presente pesquisa, apresenta trabalho absorvido de 1,57 kgm².

Os valores médios de cota dinâmica (CD) apresentados por Pedroso e Matos (1987) para *Eucalyptus* spp. variam de 0,36 a 1,23. Após a impregnação de 100 ppm, tanto as peças com secagem em estufa quanto as com secagem em câmara apresentaram valores maiores e com diferença significativa. Conforme Carvalho (1996), madeira com valores acima de 1,2 de cota dinâmica é considerada resistente, o que concede essa característica àquelas madeiras impregnadas com 100 ppm e secas em estufa ou câmara, assim como a impregnada com 40 ppm e seca em câmara, demonstrando o aumento de resistência das tábuas após a impregnação com nanopartículas.

Os valores médios do coeficiente de resiliência (K) do presente estudo variaram de 0,35 a 0,66 kgm.cm⁻² para os tratamentos com secagem em estufa e de 0,37 a 0,44 kgm.cm⁻² com secagem em câmara climarizada. Conforme Pedroso e Matos (1987) o coeficiente de resiliência para *Eucalyptus* spp. varia de 0,25 a 1,17 kgm.cm⁻², estando os valores desse trabalho pertencentes à essa faixa. Ainda, segundo Carvalho (1996) os coeficientes de resiliência dentro do intervalo de 0,4 a 1,0 kgm.cm⁻² são classificados como resistentes, diante disso, destacam-se aquelas madeiras impregnadas com 100 ppm com secagem em estufa (0,66 kgm.cm⁻²) e com secagem em câmara (0,44 kgm/cm²). Assim sendo, as peças que foram impregnadas com 100 ppm e secas em estufa apresentaram maior média de coeficiente de resiliência e uma diferença significativa dos demais tratamentos desse tipo de secagem.

A resistência ao impacto (Fbw) das peças na secagem em câmara, impregnadas com nanopartículas na concentração de 100 ppm e secas em estufa mostraram diferença significativa dos demais tratamentos desse tipo de secagem, inferindo que a impregnação de NP's Ag proporcionou o aumento de sua resistência ao impacto, corroborando os anteriormente apresentados de W, K e CD.

4.4.2 Flexão estática

Os valores médios do MOE em estufa variam de 80.497,9 a 101.074,1 kgf.cm⁻², enquanto para MOR variam de 708,89 a 854,48 kgf.cm⁻². Já nas peças secas em câmara, o MOE varia de 75.452,9 a 82.835,6 kgf.cm⁻², enquanto o MOR varia de 649,89 a 677,79 kgf.cm⁻² (Tabela 11). A partir disso, notamos que as nanopartículas não inferem um maior valor de MOR ou MOE para aquelas peças secas em estufa, enquanto para aquelas secas em câmara climatizada, os maiores valores de MOR e MOE são atribuídos para madeiras com impregnação de 40 ppm, enquanto a impregnação de 100 ppm mostrou valores inferiores ao tratamento de 40 ppm, porém melhores que a testemunha quanto ao MOE.

Tabela 11 - Valores médios do módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) para ensaio de flexão estática.

Métodos	Tratamentos	MOE	MOR
Estufa	Testemunha	101074,1 a	854,48 a
	40 ppm	80497,9 b	708,89 b
	100 ppm	89594,8 ab	770,95 ab
Câmara	Testemunha	75452,9 a	655,76 a
	40 ppm	82835,6 a	677,79 a
	100 ppm	81977,7 a	649,89 a

*Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade de erro; teste de médias (TSD - Tukey Significant Difference).

Fonte: Autoria própria.

Conforme a pesquisa de Silva (2002), o valor médio para o MOE é de 101.313 kgf.cm⁻², referente a espécie *Eucalyptus grandis*. Assim, observamos que os valores encontrados na presente pesquisa são inferiores àqueles apresentados por Silva (2002). Ainda, para o mesmo autor o valor médio de MOR foi de 854 kgf.cm⁻², valor condizente com aquelas peças secas em estufa, entretanto, as madeiras com secagem em câmara apresentaram valores inferiores.

Ainda, Gallio et al. (2016) e Gonçalves et al. (2009) reiteram que quanto maior o módulo de ruptura e elasticidade, melhorando a qualidade do material, sua resistência e obtendo uma maior capacidade da madeira em retornar ao seu estado natural sem que ocorra deformação plástica. Sendo assim, notou-se efeito benéfico das nanopartículas quanto às madeiras secas em câmara climatizada, em equivalência da secagem ao ar livre, sendo a impregnação com 40 ppm o tratamento a causar tal efeito.

4.5 ENSAIO DE APODRECIMENTO ACELERADO EM LABORATÓRIO

A Tabela 12, apresenta os valores médios de perda de massa, expressos em porcentagem, após inoculação do fungo *Pycnoporus sanguineus*, pode-se verificar que não houve diferença significativa entre as madeiras com tratamento de 40 ppm, 100 ppm e testemunha, enquanto aquelas tratadas com mistura de cobre, cromo e boro não obtiveram perda de massa.

Tabela 12 - Valores de perda de massa para espécie de *Eucalyptus grandis* sob fungo apodrecedor de madeira.

Tratamento	Perda de Massa (%)	Classificação ASTM D2017
Testemunha	7,45 a	Muito Resistente
40 ppm	7,13 a	Muito Resistente
100 ppm	6,32 a	Muito Resistente
CCB	0 b	Muito Resistente

*Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade de erro; teste de médias (TSD - Tukey Significant Difference).

Fonte: Autoria própria.

Mesmo diante da falta de significância de tais resultados, cabe ressaltar que as impregnações de NP's Ag apresentaram valores inferiores à testemunha, assim, torna-se importante que futuramente sejam realizados mais testes para comprovar a real eficácia, ou não, das nanopartículas frente aos fungos, como o *Pycnoporus sanguineus*. Testes adicionais são cruciais uma vez que pesquisadores, como Guillén e Machuca (2008), afirmam em suas pesquisas que fungos de podridão branca, impregnados com nanopartículas metálicas, apresentaram inibição em seu crescimento, assim como Moya et al. (2017) que

encontrou resultados semelhantes após a aplicação de NP's Ag, melhorando a durabilidade e tornando a madeira altamente resistente a fungos.

4.6 PROPRIEDADE DE SUPERFÍCIE

4.6.1 Molhabilidade

A Tabela 13, apresenta o ângulo de contato em relação ao tempo e os diferentes tipos de tratamento. Diante disso, é possível observar que em 25 segundos a testemunha obteve uma perda de $9,37^\circ$, além de apresentar diferença significativa, mostrando-se um material permeável, enquanto os tratamentos de 40 ppm e 100 ppm perderam $2,57^\circ$ e $3,22^\circ$ respectivamente, não apresentando diferença significativa, fato que evidencia a capacidade das nanopartículas em potencializar o caráter hidrofóbico do material. Ainda, segundo Hakkou et al. (2005), quando o ângulo de contato é maior do que 90° , o presente material possui um alto caráter hidrofóbico.

Tabela 13 - Valores médios de ângulo de contato das madeiras de *Eucalyptus grandis*.

Tempo	Tratamento		
	Testemunha	40 ppm	100 ppm
5s	144,8 a	149,0 a	153,5 a
30s	135,4 b	146,5 a	150,3 a

*Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade de erro; teste de médias (TSD - Tukey Significant Difference).

Fonte: Autoria própria (2021).

Em pesquisa semelhante, Missio (2014), indicou que o ângulo de contato da espécie *Eucalyptus grandis* decresceu em 25 segundos cerca de 7° (de 90° à 83°), ressaltando sua característica hidrofílica, diferentemente do que ocorreu na presente pesquisa, quando essa mesma espécie de madeira foi impregnada com NP's Ag. Ainda, conforme afirmam Wálinder e Gardnerb (1999), quando o ângulo de contato é menor do que 90° e ocorre a deposição de líquido na peça, acontece uma rápida penetração deste, o que caracteriza o material hidrofílico.

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados da presente pesquisa, foi possível concluir que a impregnação de NP's Ag traz benefícios quanto à taxa de secagem, possibilitando uma maior perda de umidade da madeira, assim como ocasiona aumento da resistência ao impacto e melhores resultados quanto à flexão estática. Além disso, o tratamento proporciona um aumento no potencial hidrofóbico das peças, visto também a diminuição dos defeitos de empenamentos. Tais efeitos são encontrados principalmente naquelas madeiras com impregnação de 100 ppm, reafirmando o potencial dessas nanopartículas quanto à alteração das características mecânicas da madeira.

Com isso, é possível vislumbrar a importância desta linha de pesquisa para o desenvolvimento científico brasileiro e para o desenvolvimento do setor florestal, visto que a aplicação dessa tecnologia inovadora resulta na obtenção de benefícios importantes para a madeira, como o aumento da sua durabilidade e resistência por meio da alteração molecular mediante impregnação de nanopartículas de prata.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA BRASILEIRA DO DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Estudo Prospectivo Nanotecnologia**. Série Cadernos da indústria ABDI. Brasília, 2010.
- ALMEIDA, D. H.; FERRO, F. S.; ICIOMOTO, F. H.; TAKESHITA, S.; MODES, K. S.; ALMEIDA, T. H.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Determinação da rigidez do *Pinus elliotti* em diferentes teores de umidade por meio de ensaio mecânicos não destrutivos. **Scientia florestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 110, p. 303-309, 2016.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM D 143-94. **Standards methods of testing small clear specimens of timber**. West Conshohocken, ASTM, 2005.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM D - 2017. Standard method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of wood. In: **Annual Book of ASTM Standards**, Philadelphia, v. 410, p. 324-328, 1994.
- ANDRADE, A. **Indicação de programas para secagem convencional de madeiras**. 2000. 72 p. Dissertação (mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2000.
- ANTUNES, F. S.; BERGMANN, C. P.; DAL’ACQUA, N.; GIOVANELA, M. Síntese, caracterização e aplicação de nanopartículas de prata como agentes antimicrobianos. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 9, n. 1, p. 20–26, 2013.
- ANTUNES, A. M. DE S.; ALENCAR, M. S. de M.; SILVA, C. H.; NUNEZ, J.; MENDES, F. M. L. Trends in Nanotechnology Patents Applied to the Health Sector. **Recente Patents on Nanotechnology**, v. 6, n. 1, p. 29–43, 2012.
- ARAÚJO, H. J. B. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. **Floresta**. Curitiba, v. 37, n. 3, p. 399-416, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR-14.806**: madeira serrada de eucalipto. Rio de Janeiro, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Projeto de estruturas de madeira: projeto **NBR 7190/1997**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 107 p.
- ASSOCIATION FRANCAISE DE NORMALIZATION (AFN). Norme Francaise, bois essai de choc ou flexion dynamique, **NF B51-009**. Paris, p.3, 1942.

- BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C. V. T. Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 665-674, 2010.
- BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; ROCHA, M. P. Qualidade da secagem convencional conjunta da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus* sp. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 711-719, 2015.
- BECHTEL, F. K; ALLEN, J. R. Methods of implementing grain angle measurements in the machine stress rating process. **Syxtth Symposium on Nondestructive Testing of Wood**. Washington State University, Pullman, p. 303-353. 1987.
- BELTRAME, R.; GATTO, D.A.; MODES, S.K.; STANGERLIN, D.M.; TREVISAN, R.; HASELEIN, C.R. Resistência ao impacto da madeira de açoita-cavalo em diferentes condições de umidade. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 4, p. 499-504, 2010.
- BERG, J. C. Role of acid-base interactions in wetting and related phenomena. In: Berg JC, organizador. **Wettability**. New York: Marcel Dekker; 1993. p. 75-148.
- BRANDÃO, A. T. O. **Determinação de metodologia para a indicação de programas de secagem de madeiras**. Piracicaba, 1989. 100 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 1989.
- CAIXETA, R. P.; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. S. Classificação de *Eucalyptus* relacionados com a qualidade da madeira após a secagem natural. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 61, p. 49-58, 2002.
- CARVALHO, A. **Estrutura Anatômica, Propriedades, Utilizações** - Escola Superior de Tecnologia de Viseu, Vol. I, Instituto Florestal, 1996.
- CARVALHO, D. S. **Avaliação da secagem ao ar livre e usinagem da madeira de *Eucalyptus urophylla* para produção de móveis**. 2006. 38 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2006.
- CINIGLIO, G. **Avaliação da secagem de madeira serrada de *E. grandis* e *E. urophylla***. 1998. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 1998.
- COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **Maderas: método de determinación del peso específico aparente: COPANT 30:1- 006**. Caracas, 1972.

DASHTI, H.; SALEHPUR, S.; TAGGHIYARI, H. R.; FAR, F. A.; HESHMATI, S. The Effect Of Nanoclay On The Mass Transfer Properties Of Plywood. **Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures** v. 7, n. 3, p. 853-860, 2012.

DUNCAN, T. V. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. **Biotechnology & Biotechnological Equipment**, v. 30, p. 56–62, 2016.

ERBIL, H. Y. The debate on the dependence of apparent contact angles on drop contact area or three-phase contact line: A review. **Surface Science Reports**, v. 69, n. 4, p. 325-365, 2014

FERREIRA, D. H. A. A.; LELES, P. S. dos S.; MACHADO, E. C.; ABREU, A, H. M. Crescimento de clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em diferentes espaçamentos. **Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 3, p. 431-440, 2014.

FRANÇA, F. J. N.; MACIEL, A. P. V.; FRANÇA, T. S. F. A. SILVA, J. G. M.; BATISTA, D. C. Air-drying of seven clones of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* wood. **Bioresources**, v. 14, n. 3, p. 6591-6607, 2019.

GALLIO, E.; SANTINI, E. J.; GATTO, D. A.; SOUZA, J. T.; RAVASI, R.; MENDES, W. M.; FLOSS, P. A.; BELTRAME, R. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Candido Rondon, v. 15, n. 3, p. 244-250, 2016.

GALLIO, E.; ZANATTA, P.; RIBES, D. D.; LAZAROTTO, M.; GATTO, D. A.; BELTRAME, R. Fourier transform infrared spectroscopy in treated woods deteriorated by a white rot fungus. **Maderas: Ciencia y Tecnologia**, v. 20, n. 3, 2018.

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

GOMIDE, J. L. **Secagem da madeira**. Viçosa, MG: UFV, 1973. 76 p.

GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. S.; LUCIA, R. M. D; SARTÓRIO, R. C. Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 501-509, 2009.

GUELLA, A. F. Madeira: Desafio e Tendências. **Revista da Madeira**, 2016.

GUILLÉN, Y. E MACHUCA, A. The effect of copper on the growth of wood-rotting fungi and blue-stain fungus. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**. v. 24, n. 1, p. 31-37, 2008.

GUINA LUIS, R. C. **Processo de vaporização na homogeneização da cor da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith e seu efeito nas propriedades tecnológicas**. 2014. 36 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) –

Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2014.

HAKKOU, M.; PETRISSANS, M.; ZOULALIAN, A.; GÉRARDIN, P. Investigation of wood wettability changes during heat treatment on the basis of chemical analysis. **Polymer Degradation and Stability**, v. 89, p. 1-5, 2004.

HILL, C. A. S. **Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes**. 1st. Chichester: John Wiley & Sons, 2006. 260p.

JANKOWSKY, I. P. Equipamento e processos para secagem de madeira. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1., 1995, Piracicaba, SP. **Anais...** Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p. 109-118.

JANKOWSKY, I. P.; GALINA, I. C. M. **Curso técnico de secagem de madeiras**. Piracicaba: PIMADS: Projeto Piso de Madeira Sustentável. 2013.

KASPROWICZ, M, J.; KOZIOT, M.; GORCZYCA, A. The effect of silver nanoparticles on phytopathogenic spores of *Fusarium culmorum*. **Canadian Journal of Microbiology**. v. 56, p. 247-253, 2010.

KELLEY, S. S.; JELLISON, J.; GOODELL, B. Use of NIR and MBMS couple with multivariate analysis for detecting the chemical changes associated with brown rot biodegradation of spruce wood. **Federation of European Microbiology Society Microbiology Letters**, v. 209, n. 01, p. 107-111, 2002.

KIM, S. W.; JUNG, J. H.; LAMSAL, K.; KIM, Y. S.; MIN, J. S.; LEE, Y. S. Antifungal effects of silver nanoparticles (AgNPs) against various plant pathogenic fungi. **Mycobiology**, v. 40, p. 53-58, 2012.

KOLLMANN, F. F. P. e COTE, W. A. **Principles of Wood Science and Technology**. Berlim, Springer Verlag, v.1, 529 p. 1968

LOPES, C. S. D.; NALASCO, A. M.; FILHO, M. T.; DIAS, C. T. dos S.; PANSINI, A. Estudo da massa específica básica e da variação dimensional da madeira de três espécies de eucalipto para a indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 315-322, 2011.

MABBERLEY, D.J. **Mabberley's plant-book: a portable dictionary of plants, their classifications, and uses**. 3. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. 1040 p.

MARTINI, A. J. **O plantador de eucaliptos: a questão da preservação florestal no Brasil e o resgate documental do legado de Edmundo Navarro de Andrade**. 2004. 59 p. Dissertação (Mestrado em história social) - Curso de pós-graduação em história social, Universidade do estado de São Paulo, São Paulo, SP, 2004.

MARTINS, V. A. **Secagem de madeira serrada**. Brasília: IBDF, 1988. 56 p.

MELLADO, E. C. E. R. **Contribuição ao desenvolvimento tecnologico para utilização de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* (hill ex madein) na região de produtos com maior valor agregado.** 1993. 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, 1993.

MELO, J. R. **Secagem de madeiras: teoria e prática de secagem artificial de madeiras.** Lisboa: Estação Florestal Nacional, 1999.

MENDES, A. 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, 114np. 1998.

MISSIO, A. L. **Propriedades tecnológicas da madeira de *Eucalyptus* submetida a tratamento de congelamento e termoretificação.** 2014.111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2014.

MORESCHI, J.C. **Propriedades tecnológicas da madeira** - manual didático. Curitiba: UFPR, p. 124, 2005.

MORESCHI, J.C. **Propriedades Tecnológicas da madeira** - Manual Didático. 4ª ed, UFPR, p. 194, 2012.

MOYA, R., RODRIGUEZ-ZUÑIGA, A., BERROCAL, A. E VEGA-BAUDRIT, J. Effect of silver nanoparticles synthesized with NP's Ag-Ethylene glycol (C₂H₆O₂) on brown decay and ehite decay fungi of nine tropical woods. **Journal Nanoscience and Nanotechnology**, v. 17, p. 1-8, 2017.

MUNIZ, G. I. B. Fatores que limitam a utilização da madeira de *Eucalyptus*. In: SEMINARIO DE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE EUCALIPTO, 1., 2002, Lavras/MG. **Anais...** Lavras/MG: Universidade Federal de Lavras, 2002. p. 30-63.

NOGUEIRA, M. **Classificação de peças de madeira serrada de dimensões estruturais de *Eucalyptus* sp. com uso de ensaio não-destrutivos.** 2007. 15 p. Tese (Doutorado em Engenharia Floresta) – Faculdade de ciências agrônômicas da Universidade do Estado de São Paulo *campus* Botucatu. Botucatu, SP, 2007.

OLIVEIRA, L. C. S. **Perguntas e respostas em secagem de madeiras.** São Paulo: IPT, 1981. 36 p.

OLIVEIRA, J. T. S. **Estudo das propriedades físicas e tecnológicas da madeira da pindaíba (*Xylopiia sericea* St. Hill.).** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1988.

OLIVEIRA, J. T.; TOMASELLO, M.; SILVA, J. de C. Resistência natural de sete espécies de eucalipto ao apodrecimento. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 993-998, 2005.

PALERMO, G. P. M. **Propriedades e comportamento tecnológico da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex-Maiden Visando a sua utilização em produtos de maior valor agregado**. 2010. 15 p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais) – Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 2010.

PEDROSO, O.; MATTOS, J. R. **Estudo sobre madeiras do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: IPRNR, 1987. 181 p. (Publicado IPRNR, 20).

PERTUZZATTI, A.; CONTE, B.; MISSIO, A. L.; GATTO, D. A.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Influência da Umidade na Resistência da Madeira de Eucalipto a Impactos. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, p. 1-6, 2017.
PETICA, A.; GRAVILIU, S.; LUNGU, M.; BURUNTEA, N.; PANZARU, C. Colloidal silver solutions with antimicrobial properties. **Materials Science and Engineering: B**, v. 152, n. 1–3, p. 22–27, 2008.

PONCE, R. H. Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas. In: Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria. São Paulo. **Anais...** São Paulo, p. 50-58, 1995.

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

PRATT, G. H. **Timber drying manual**. London: Department of the Environment, Building Research Establishment, 1974. 152 p.

REZENDE, R. N.; LIMA, J. T.; PAULA, L. E. R.; SILVA, J. R. M. Efeito da vaporização na secagem de tábuas de *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, Lavras, v. 21, n. 1. 2015.

ROCHA, M. P. **Biodegradação e preservação da madeira**. 5. ed. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2001. 94 p. (Série Didática, 01/01).

ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como Fontes de Matéria Prima para Serraria**. 2000. 186 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2000.

ROSSO, S. **Qualidade da madeira de três espécies de *Eucalyptus* resultante da combinação dos métodos de secagem ao ar livre e convencional**. 2006. 51 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2006.

SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R. Efeito da temperatura e velocidade do ar sobre a taxa de secagem da madeira de *Pinus elliotti* Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12. n. 2, p. 99-106. 2002.

SANTINI, E. J. **Influência de temperatura na taxa de secagem e contração da madeira de *Pinus elliottii* proveniente de plantios de rápido crescimento.** Curitiba: FUPEF, p. 15, 1980. (Série Técnica, 5).

SANTINI, E. J. Métodos usuais de secagem da madeira. In: SEMINÁRIO SOBRE SECAGEM DA MADEIRA, 1, 1992, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Centro de Pesquisas Florestais/UFSM, 1992, p. 47-59.

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

SANTOS, G. R. V. **Otimização da secagem da madeira de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden).** 2002. 70 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia da Madeira) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP, 2002.

SCANAVACA JÚNIOR, L.; GARCIA, J. N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba v. 65, p. 120-129, 2004.

SEVERO, E. T. D. **Estudo sobre o efeito da vaporização nas propriedades e comportamento de secagem da madeira de *Eucalyptus dunnii* Maid.** 1998. 200 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 1998.

SILVA, J.C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira.** 2002. 181 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2002.

SILVA, J. R. M.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, P. F. Secagem ao ar livre da madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de móveis. **Cerne**, Lavras, v. 3, n. 1, p. 170-186. 1997.

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

SOARES, A. C, MARQUES, R. O, BRISOLARI, A. SALES, A. GONÇALES, D. Molhabilidade em amostras de *Araucaria angustifolia* e *Pinus elliottii* após tratamento térmico e envelhecimento. **Scientia Forestalis**, v.39, n.92, p.447-456, 2011.

STALDER, A. F.; KULIK, G.; SAGE, D.; BARBIERI, L.; HOFFMANN, P. A snake-based approach to accurate determination of both contact points and contact angles. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 286, n. 1-3, p. 92-103, 2006

STANGERLIN, D. M.; SANTINI, E. J.; SUSIN, F.; MELO, R. R.; GATTO, D. A.; HASELEIN, C. R. Uso de estufa solar para secagem de madeira serrada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 461-472, 2009.

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.

TAGHIYARI, H. R. Fire-retarding properties of nano-silver in solid woods. **Wood Science and Technology**, v. 46, n. 5, p. 939-952, 2012.

TAGHIYARI, H. R.

TALGATTI, M. **Propriedades tecnológicas da madeira de clones de *Eucalyptus* spp.** 2014. 47 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2014.

TALGATTI, M.; SILVEIRA, A. G.; BALDIN, T.; SOUZA, J. T.; SANTINI, E. J. Secagem ao ar livre e qualidade de serrados de clones de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Agraria Paranaenses**, Marechal Candido Rondon, v. 17, n. 2, p. 197-204, 2018.

USKOKOVI, V. Nanotechnologies: What we do not know, **Technology in Society**, v. 29, n. 1, p. 43-61, 2007.

VERMAAS, H.F. Interaction of wood, water and stresses during drying: a review. **Southern African Forestry Journal**, n. 181, p. 25-32, 1998.

VIDAL, A. F.; HORA, A. B. Perspectivas do setor de biomassa de madeira para geração de energia. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 33, p. 261-314, 2011.

VISCARRA, S. Guía para el secado de la madera em hornos. Bolivia: USAID. **Documento Técnico**. 69 p. 1998.

WÅLINDER, M. E. P.; GARDNER, D. J. Factors influencing contact angle measurements on wood particles by column wicking. **Journal of Adhesion Science and Technology**, v. 13, n. 12, p. 1363-1374, 1999.

ZANUNCIO, A. J. V.; LIMA, J. T.; MONTEIRO, T. C.; TRUGILHO, P. F.; LIMA, F. S. Secagem ao ar livre da madeira para produção de carvão vegetal. **Floresta Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 3, p. 401-408, 2014.

ZEN, L. R. **Métodos combinados para secagem da madeira de *Eucalyptus*: pré-secagem ao ar livre com secagem em estufa convencional.** 2016. 34 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, 2016.

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