



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS
ENGENHARIA FLORESTAL**

SAULO JOSÉ DA COSTA LIMA

**EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA COM PARAFINA NAS
PROPRIEDADES HIGROSCÓPICAS E ESTABILIDADE DIMENSIONAL DA
MADEIRA DE LOURO-PRETO (*Nectandra dioica*)**

**SANTARÉM
2023**

SAULO JOSÉ DA COSTA LIMA

**EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA COM PARAFINA NAS
PROPRIEDADES HIGROSCÓPICAS E ESTABILIDADE DIMENSIONAL DA
MADEIRA DE LOURO-PRETO (*Nectandra dioica*)**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Biodiversidade e
Florestas como complemento curricular para
o Bacharelado em Engenharia Florestal da
Universidade Federal do Oeste do Pará.
Orientador: Dr. Fernando Wallase Carvalho
Andrade.

**SANTARÉM
2023**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

-
- L732e Lima, Saulo José da Costa
 Efeito da modificação térmica com parafina nas propriedades higroscópicas e es-
 tabilidade dimensional da madeira de Louro-preto (*Nectandra dioica*) / Saulo José
 da Costa Lima – Santarém, 2023.
 20 p. : il.
 Inclui bibliografias.
- Orientador: Fernando Wallase Carvalho Andrade
 Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pa-
 rá, Instituto de Biodiversidade e Floresta , Bacharelado em Engenharia Florestal.
1. Água - madeira. 2. Ciclos. 3. Inchamento. 4. Ceras. I. Andrade, Fernando Wallase
 Carvalho, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 674.8

Bibliotecária - Documentalista: Mary Caroline Santos Ribeiro – CRB/2 566

SAULO JOSÉ DA COSTA LIMA

**EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA COM PARAFINA NAS
PROPRIEDADES HIGROSCÓPICAS E ESTABILIDADE DIMENSIONAL DA
MADEIRA DE LOURO-PRETO (*Nectandra dioica*)**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Biodiversidade e
Florestas como complemento curricular para
o Bacharelado em Engenharia Florestal da
Universidade Federal do Oeste do Pará.

Conceito: 9,6

Data de Aprovação: 23/01/2023



Dr. Fernando Wallase Carvalho Andrade – Orientador
Universidade Federal do Oeste do Pará



Msc. Diego Lima Aguiar - Examinador
Universidade Federal do Oeste do Pará



Msc. Thiago Augusto de Souza Moreira - Examinador
Universidade Federal do Oeste do Pará

AGRADECIMENTO

Em primeiro lugar, a Deus, por ter permitido que eu tivesse saúde e determinação durante o alcance dos meus objetivos e na realização desta pesquisa. Aos meus pais, em especial à minha mãe, Marta, que não mediu esforços em me apoiar a seguir adiante nos momentos difíceis que encontrei durante o processo. Aos meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado, agradeço pela amizade e pelo apoio demonstrado ao longo do período em que me dediquei a este trabalho, com um carinho especial aos meus queridos amigos Érica, Felipe, Juliane e Jaíne que, de diversas formas me ajudaram durante a construção desta pesquisa. Agradeço também aos professores Dr. Fernando Andrade e Dr. Victor Hugo Moutinho, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor resultado, além da paciência e conselhos com quais guiaram o meu aprendizado.

RESUMO

A difusão de técnicas como o tratamento térmico com eventual impregnação de ceras e óleos possibilitaria a melhora de características indesejáveis em madeiras de baixo valor comercial. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da modificação térmica com presença de parafina na higroscopicidade e estabilidade dimensional da madeira de *Nectandra dioica*, utilizando temperaturas de modificação de 190°C e 210°C com tempo de tratamento de 2,5 horas. O material foi submetido ao processo de modificação térmica e impregnado com solução de parafina em estufa laboratorial. Após o tratamento, as amostras foram conduzidas à três ciclos de imersão-secagem para avaliar a taxa de absorção de água e a eficiência anti-inchamento da madeira. No que se refere à estabilidade dimensional, observa-se um aumento proporcional à intensidade do tratamento, potencializando-se com a adição da solução de parafina. Observou-se o mesmo comportamento para a absorção de água pela madeira, registrando taxas de até 0,77% no tratamento mais severo. Quando comparados os ciclos de imersão e secagem (1º e 3º ciclo), observa-se a eficiência dos tratamentos à absorção de água. O tratamento de 210°C com impregnação de parafina apresentou os melhores resultados quando comparado. Sendo assim, o tratamento combinado da madeira com calor e emulsão de parafina resulta em algumas vantagens no que se refere à estabilidade dimensional e repelência à água, tornando-se opção para madeiras em aplicações externas.

Palavras-chave: Água-madeira, Ciclos, Inchamento, Ceras.

ABSTRACT

The dissemination of techniques such as thermal treatment with eventual impregnation of waxes and oils would make it possible to improve undesirable characteristics in woods of low commercial value. The aim of this study was to evaluate the effect of thermal modification with the presence of paraffin on the hygroscopicity and dimensional stability of *Nectandra dioica* wood, using modification temperatures of 190°C and 210°C with a treatment time of 2.5 hours. The material was subjected to a thermal modification process and impregnated with paraffin solution in a laboratory oven. After treatment, the samples were subjected to three immersion-drying cycles to evaluate the water absorption rate and the anti-swelling efficiency of the wood. With regard to dimensional stability, there is an increase proportional to the intensity of the treatment, which is enhanced with the addition of paraffin solution. The same behavior was observed for water absorption by wood, registering rates of up to 0.77% in the most severe treatment. When comparing the immersion and drying cycles (1st and 3rd cycle), the efficiency of the treatments regarding water absorption is observed. The 210°C treatment with paraffin impregnation showed the best results when compared. Therefore, the combined treatment of wood with heat and paraffin emulsion results in some advantages with regard to dimensional stability and water repellency, making it an option for wood in external applications.

Keywords: Water-wood, Cycles, Swelling, Waxes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Fases da modificação térmica com parafina à madeira de <i>Nectandra dioica</i> . 11	
Tabela 1. Tratamentos térmicos aplicados à madeira de <i>Nectandra dioica</i> 12	
Figura 2. Médias de eficiência anti-inchamento linear e volumétrico. 13	
Tabela 2. Médias de absorção e taxa de absorção de água em função dos tratamentos realizados. 15	
Tabela 3. Coeficiente de anisotropia em função dos tratamentos realizados. 16	
Tabela 4. Comparação entre ciclos (1º e 3º) referente à taxa de absorção de água. 17	

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 MATERIAL E MÉTODOS	11
2.1 Caracterização do local e corpos-de-prova	11
2.2 Modificação térmica da madeira de <i>Nectandra dioica</i> por irradiação de calor....	11
2.3 Higroscopisidade e Estabilidade Dimensional.....	12
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
3.1 Eficiência anti-inchamento da madeira.....	13
3.2 Absorção de água pela madeira	15
3.3 Coeficiente de Anisotropia	16
3.4 Absorção de água entre ciclos	17
4 CONCLUSÃO.....	18
REFERÊNCIAS	18

1 INTRODUÇÃO¹

Por ser um material poroso e estruturalmente capilar, a madeira possui características higroscópicas que alteram sua umidade de equilíbrio com o ambiente de forma constante. Em muitas espécies a madeira tem sua performance intensamente afetada na presença de água (Willems et al., 2015). Tais características da madeira baseiam-se em sua constituição química, composta basicamente por polímeros de celulose, hemicelulose e lignina. Dentre estes, a hemicelulose é a mais hidrofílica, tornando-se a principal contribuinte para as alterações dimensionais da madeira (Melo, 2013).

Algumas aplicações da madeira, como esquadrias e moveleira são diretamente afetadas pela retrabilidade ou variações dimensionais da madeira (Moraes Neto et al., 2009). Estas variações, dependendo da magnitude, podem comprometer a integridade estrutural do material, em função do surgimento de empenamentos e rachaduras (Borges e Quirino, 2004). A aplicação de métodos ou tecnologias sustentáveis visando a melhoria destas características podem promover a valorização da madeira e uma menor necessidade de manutenção em estruturas, diminuindo o custo de construções em madeira.

Um dos métodos atualmente empregados para este objetivo é o processo de modificação da madeira, principalmente o processo térmico. A modificação térmica é uma técnica ecológica bastante utilizada na Europa para melhorar a durabilidade, as características higroscópicas e, conseqüentemente, a performance de madeiras de menor valor comercial (Modes et al., 2013; Conte et al., 2014; Przybysz et al., 2014; Andrade, 2021). Consiste na aplicação de altas temperaturas em peças de madeira, podendo variar de 180°C a 260°C sob diferentes atmosferas de tratamento. Este processo térmico reduz na madeira o seu teor de umidade de equilíbrio através da degradação de suas constituintes químicas mais hidrófilas, as hemiceluloses, resultando em um material menos higroscópico (Przybysz et al., 2014).

Em consequência à degradação química causada pelo tratamento térmico, é perceptível por parte da madeira tratada uma redução na higroscopicidade e melhora em sua resistência mecânica, além de uma maior resistência a organismos xilófagos (Esteves e Pereira, 2009). Alguns autores verificaram que a modificação térmica quando associada a óleos vegetais, ceras e outros agentes hidrofóbicos garante uma maior performance da

¹ Formatação do texto de acordo com a Revista Cerne
<https://cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/about/submissions>

madeira quanto às suas características higroscópicas e de durabilidade (Rapp e Sailer, 2001; Hasan et al., 2008; Wang e Cooper 2005; Reinprecht e Vidholdová, 2008; Dubey et al., 2016).

Devido às suas propriedades hidrofóbicas, as ceras são uma forte opção de tratamento quanto a proteção da madeira à água. Quando tratada, a madeira tem sua cinética de sorção de água reduzida e, conseqüentemente, sua estabilidade dimensional é melhorada (Scholz et al., 2009). Além de não ser tóxica, a parafina é uma substância com um considerável custo-benefício, sendo utilizada nos setores farmacêuticos, de beleza, construção civil, etc (Reinprecht e Repák, 2019). A aplicação da técnica de modificação térmica com impregnação de parafina em madeiras susceptíveis à absorção de água pode resultar em um efeito sinérgico dos tratamentos, entregando um produto eficiente em suas propriedades higroscópicas, mecânicas e biológicas (Humar et al., 2017; Wang et al., 2015; Esteves et al., 2014; Lesar et al., 2011; Evans et al., 2009).

Pertencente à família Lauraceae, o Louro-preto (*Nectandra dioica*) tem sua distribuição fitogeográfica na região amazônica. É uma madeira com coloração distinta entre cerne e albúrnio, onde o cerne apresenta uma cor amarelada a olivácea. Possui cheiro perceptível agradável, com brilho nas superfícies longitudinais, moderadamente dura ao corte transversal manual, grã direita e, textura média (LPF/SFB, 2023). Suas características de resistência são consideradas medianas e, desta forma, uma madeira com massa específica básica média de 0,54 g/cm³, indicada para a confecção moveleira e produtos de acabamento (Cardoso et al., 2012). Apresenta um ângulo de contato que permite uma alta molhabilidade, sendo apontada como uma madeira de rápida absorção de água (Amorim et al., 2013).

Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar e determinar o efeito da modificação térmica com presença de parafina na higroscopicidade e estabilidade dimensional da madeira de *Nectandra dioica*, utilizando temperaturas máximas de modificação de 190°C e 210°C com tempo de tratamento de 2,5 horas. Espera-se que a pesquisa contribua para a ampliação do conhecimento sobre a modificação de espécies lenhosas nativas da Amazônia, como, entre outras, o louro-preto, no contexto de sua possível utilização como material alternativo em substituição à madeira de maior valor comercial.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização do local e corpos-de-prova

Os testes foram empregados em amostras de madeira de Louro-preto (*Nectandra dioica*) proveniente de floresta experimental plantada no Brasil (região oeste do Estado do Pará) sob as coordenadas S 02°41'16,1'' e W 54°31'56,0''. Os corpos-de-prova (cp's) utilizados apresentavam dimensões de 20x20x20 mm³ (tangencial x radial x longitudinal) para os ensaios de higroscopicidade e eficiência anti-inchamento.

2.2 Modificação térmica da madeira de *Nectandra dioica* por irradiação de calor

A modificação térmica da madeira de *Nectandra dioica* foi realizado de acordo com a metodologia adaptada de Reinprecht & Repák (2019) com os tratamentos da Tabela 1. As amostras foram modificadas termicamente com e sem parafina em estufa elétrica laboratorial de alta temperatura à pressão atmosférica via irradiação de ar quente. O processo consistiu em cinco etapas (Figura 1). Na primeira etapa do processo, a madeira e a parafina granulada foram arranjadas em uma bandeja de aço inoxidável e expostos à temperatura de 100°C durante 1h para permitir o derretimento da parafina. Na segunda etapa, os cp's foram imersos na parafina líquida durante 1h a 100°C. Na terceira fase, a temperatura foi elevada conforme Tabela 1. A quarta fase consistiu num patamar de modificação de 2,5h. Na quinta fase os cp's foram retirados da imersão de parafina e dispostos em uma tela de aço vazado durante 1 hora, permitindo que a parafina não absorvida fosse drenada. Após este processo a estufa foi desligada e resfriada naturalmente, permitindo a solidificação da parafina e sua recuperação.

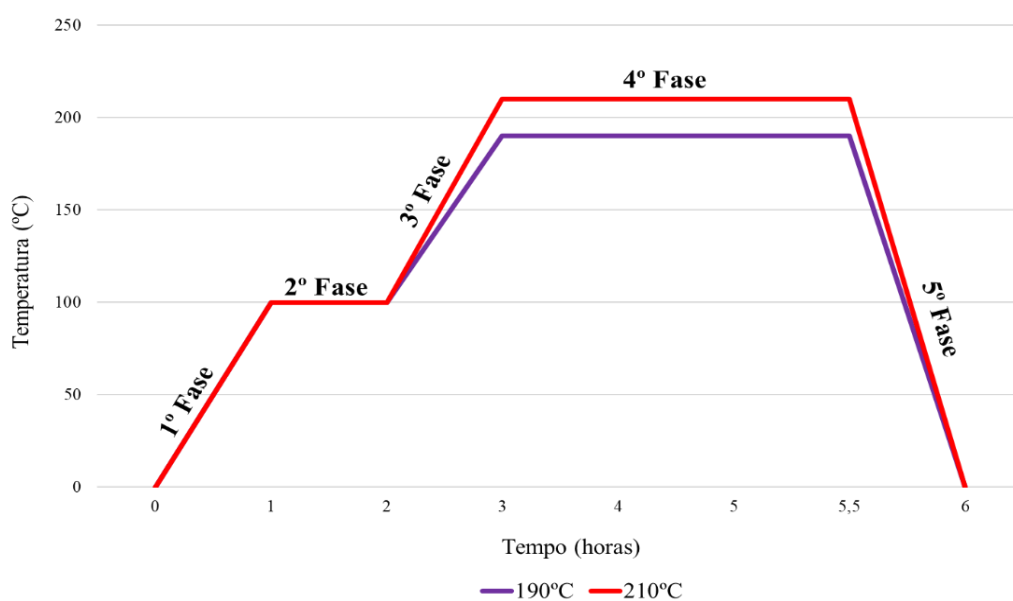


Figura 1. Fases da modificação térmica com parafina à madeira de *Nectandra dioica*.

Tabela 1. Tratamentos térmicos aplicados à madeira de *Nectandra dioica*.

Tratamento	Temperatura máxima (°C)	Tempo de modificação (horas)	Impregnação com parafina
190/1	190	2,5	Não
190/2	190	2,5	Sim
210/1	210	2,5	Não
210/2	210	2,5	Sim
Ctrl	Controle	Controle	Controle

2.3 Higroscopicidade e Estabilidade Dimensional

O efeito do tratamento térmico com parafina acerca da higroscopicidade e estabilidade dimensional da madeira de *Nectandra dioica* foi avaliado através da determinação da eficiência anti-inchamento e da taxa de absorção de água corpos-de-prova, realizado de acordo com a metodologia adaptada de Andrade (2021).

Após a modificação térmica, os cp's foram submersos em água destilada a 20 °C por 24h, obtendo-se as suas dimensões e massa. O material foi seco novamente em estufa a 40 °C por 24h e a 103±2 °C por mais 24h (para evitar a ocorrência de rachaduras na parede celular, devido aos gradientes de umidade-temperatura), tendo suas dimensões e massa novamente mensuradas, finalizando o primeiro ciclo de secagem-saturação. Foram realizados três ciclos de secagem-saturação em cada corpo-de-prova para avaliar o inchamento linear e volumétrico (Equação 1), a eficiência anti-inchamento (Equação 2), a absorção de água (Equação 3), a taxa de absorção de água (Equação 4); coeficiente de anisotropia (Equação 5) e a taxa de absorção de água entre ciclos (Equação 6).

$$I(\%) = \frac{\Delta u - \Delta s}{\Delta s} * 100 \quad (1)$$

Onde I é o inchamento (%); Δu é a dimensão tangencial, radial ou volumétrica do corpo de prova após 24h de imersão (mm ou mm³), e Δs é a dimensão do corpo de prova na condição seca em estufa;

$$EA(\%) = \frac{\Delta Vc - \Delta Vt}{\Delta Vc} * 100 \quad (2)$$

Onde EA é a eficiência anti-inchamento (%); ΔVc é a média de inchamento dos corpos-de-prova controle e ΔVt são as médias de inchamento dos corpos-de-prova modificadas termicamente (%);

$$aa(\%) = \frac{Msat - Ms}{Ms} * 100 \quad (3)$$

Onde aa é a absorção de água (%), msat é a massa na condição saturada e ms é a massa seca em estufa;

$$TAA(\%) = \frac{Ma}{T} * 100 \quad (4)$$

Onde TAA é a taxa de absorção de água (%), Ma é a massa de água absorvida e T é o tempo de submersão em água.

$$CA = \frac{\text{Inchamento tangencial}}{\text{Inchamento radial}} \quad (5)$$

Onde o Coeficiente de Anisotropia (CA) é a razão entre o inchamento tangencial e o radial.

$$aac(\%) = \frac{aa3^\circ - aa1^\circ}{aa1^\circ} \quad (6)$$

Onde, aac é a taxa de absorção de água entre ciclos, aa3° e aa1° são a absorção do terceiro e primeiro ciclo respectivamente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Eficiência anti-inchamento da madeira

Como forma de avaliar a estabilidade dimensional da madeira de *Nectandra dioica*, foi empregada a relação de eficiência anti-inchamento. Na figura 2 estão sendo apresentadas as médias de eficiência anti-inchamento linear e volumétrica em função dos tratamentos realizados. Quanto a estabilidade dimensional das amostras, observou-se aumento da eficiência anti-inchamento em todos os tratamentos avaliados, com destaque para as maiores temperaturas e com a presença de parafina. O tratamento com impregnação de parafina mais severa (210/2) mostrou resultados promissores, entregando uma eficiência contra o inchamento devido absorção de água na madeira estatisticamente diferente dos demais tratamentos (Figura 2), com valores acima de 70% na direção tangencial.

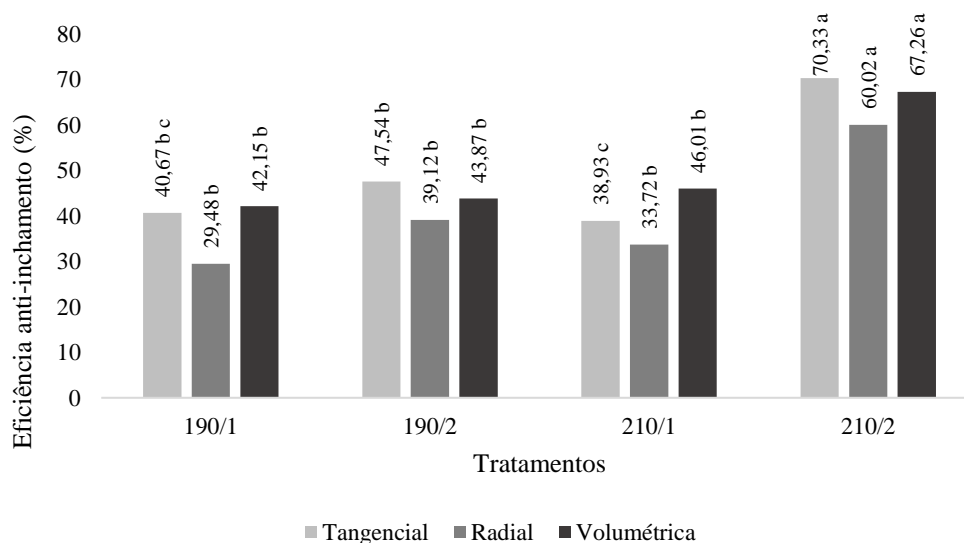


Figura 2. Médias de eficiência anti-inchamento linear e volumétrico.

Reinprecht & Repák (2019) analisando a madeira de faia-europeia (*Fagus sylvatica* L.) determinaram a eficiência do tratamento térmico com impregnação de parafina alcançando resultados semelhantes, onde o tratamento acabou reduzindo o inchamento da madeira impregnada em aproximadamente 60% à 210°C. Wang et al. (2015) ao determinarem a eficiência anti-inchamento da madeira de pinheiro do sul (*Pinus spp.*) tratada termicamente com impregnação de parafina concluíram que o tratamento combinado com parafina é capaz de melhorar alguns efeitos negativos deixados pelo tratamento térmico isolado, levando a uma estabilidade dimensional preferível, além de alegarem um efeito positivo em temperaturas mais elevadas.

Também foram visualizadas alterações dimensionais significativas entre os tratamentos (Figura 2). Quando se trata da eficiência anti-inchamento dos tratamentos embebidos em parafina, à medida que são comparados, nota-se um aumento de 47,94% na face tangencial, 53,42% na face radial e 53,32% na eficiência anti-inchamento volumétrica quando aplicado ao tratamento mais severo (210/2), confirmando um efeito positivo do tratamento de calor associado com a impregnação de parafina. Essa diferença da magnitude do efeito em função das direções anatômicas da madeira pode ser explicada como um produto da influência das características anatômicas do material, induzida pelo volume de células radiais na dimensão radial das fibras, além de possuir uma maior concentração de lignina na parede das células radiais, em oposição a uma maior concentração de agentes hidrofílicos na parede tangencial, acarretando em uma maior dilatação (Masseram e Mariaux, 1985; Baas, 1982). Já o aumento na eficiência anti-inchamento volumétrica pode ser explicado pela liberação da água higroscópica do interior da parede celular saturada durante o processo térmico (Biziks et al., 2015).

A madeira tratada com impregnação de parafina tem seus teores de absorção e inchamento reduzidos pela presença da cera nos lúmens das células e na camada S3 das paredes celulares (Scholz et al., 2010). Autores afirmam a melhor eficácia do tratamento térmico quando é associado à impregnação em óleos e ceras no controle do inchamento na madeira do que apenas o efeito da modificação térmica pelo ar quente, em consequência da presença dos recursos hidrofóbicos deixados nos lúmens, reduzindo a embebição de água pelas paredes celulares (Wang e Cooper, 2005; Awoyemi et al., 2009; Lesar e Humar 2011; Dubey et al., 2012; Wang et al., 2015), e assim, produzindo um novo material com uma maior estabilidade dimensional.

3.2 Absorção de água pela madeira

Na Tabela 2 são apresentadas as médias de absorção e taxas de absorção de água pela madeira tratada e do controle. Observou-se redução à absorção de água proporcional à intensidade dos tratamentos. A impregnação de parafina nos corpos de prova proporcionou uma maior eficiência na repelência à água quando submetidos ao processo de embebição, registrando reduções de até 68,85% (210/2) quando comparadas ao controle. Dentre os tratamentos combinados impostos ao teste de absorção, ambas as temperaturas se mostram eficazes e não diferem estatisticamente (190/2 e 210/2).

Tabela 2. Médias de absorção e taxa de absorção de água em função dos tratamentos realizados.

Trat.	aa (%)	C.V.	D.P.	Taa (%)	C.V.	D.P.
190/1	53,78 a	9,30	5,00	2,24 a	9,29	0,21
190/2	23,13 c	13,21	3,06	0,96 c	13,21	0,13
210/1	35,12 b	25,14	8,83	1,46 b	25,15	0,37
210/2	18,66 c	33,07	6,17	0,77 c	33,06	0,26
Ctrl	59,90 a	9,33	5,59	2,49 a	9,34	0,23

Médias seguidas por uma mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si (teste de Tukey, $p > 0,05$); C.V. = coeficiente de variação (%); D.P. = desvio-padrão; aa = Absorção de água (%); Taa = Taxa de absorção de água (%).

Os resultados observados corroboraram aos achados de Wang et al. (2015) onde, analisando o tratamento térmico com a madeira de *Pinnus spp.* em emulsão de parafina e sua implicação na embebição de água, relataram um aumento da repelência à água em decorrência ao aumento da temperatura de modificação, onde, as amostras tratadas responderam significativamente até 200°C, tornando assim, o tratamento combinado de calor e parafina uma alternativa promissora ao controle de absorção de água pela madeira.

Observamos melhor performance da madeira de louro-preto comparada aos parâmetros mensurados por Reinprecht e Repák (2019) onde, a madeira de faia-europeia tratada termicamente com parafina apresentou uma redução na absorção de água de cerca de 30% sob temperatura de 190°C por 1h, enquanto que à 2,5h a madeira de louro preto registrou reduções na absorção de água em torno de 61% (190/2) quando comparada ao controle (Tabela 2).

Ainda na Tabela 2, a taxa de absorção de água se mostrou satisfatória com o aumento da temperatura de modificação associada à impregnação de parafina. O tratamento melhor modelado dentre os demais apresentou uma taxa de absorção de água de 0,77% (210/2), não se mostrando estatisticamente diferente do tratamento 190/2 onde obteve uma taxa de absorção de água de 0,96%, com reduções de 69% e 61%

respectivamente. Dentre os tratamentos excluídos de parafina, apenas o tratamento 210/1 se diferenciou significativamente em relação ao controle, apresentando uma redução de 41%.

Przybysz et al. (2014) relataram que existe uma predisposição ao aumento da taxa de absorção de água com a intensificação da temperatura de modificação, isto por conta de um aumento da porosidade ou das dimensões dos poros da madeira tratada, o que levaria a um maior espaço à retenção de água. O mesmo foi relatado por Wang et al. (2015) quando avaliado o tratamento térmico isolado. De modo geral, a madeira quando é submetida ao tratamento térmico passa a ter sua higroscopicidade reduzida, isso por conta da hidrólise das hemiceluloses presentes na estrutura, além da plastificação da lignina e a reestruturação de seus constituintes poliméricos lignocelulósicos, reações que acabam promovendo as características hidrofóbicas na madeira tratada com calor (Korkut e Hiziroglu, 2009).

3.3 Coeficiente de Anisotropia

Na Tabela 3 estão expostas as médias da relação anisotrópica, referindo-se à razão entre os inchamentos tangencial e radial, fator que indica em estudos de contração em madeiras, o material mais propício a sofrer empenamentos e fendilamentos. Dentre os tratamentos avaliados, foram registrados coeficientes anisotrópicos que variam de 2,11 (controle) a 1,57 (210/2), dados que mostram uma maior eficiência do tratamento combinado, onde a impregnação de parafina implicou no retardamento da difusão de vapor de água na madeira.

Tabela 3. Coeficiente de anisotropia em função dos tratamentos realizados.

Trat.	CA	C.V.	D.P.
190/1	1,95 a b	10,94	0,213
190/2	1,81 b c	19,77	0,357
210/1	1,78 b c	10,66	0,189
210/2	1,57 c	26,55	0,419
Ctrl	2,11 a	11,22	0,237

Médias seguidas por uma mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si (teste de Tukey, $p > 0,05$); C.V. = coeficiente de variação (%); D.P. = desvio-padrão; CA = Coeficiente de anisotropia.

Huller et al. (2017) avaliando a madeira de *Eucalyptus cloeziana* modificada termicamente verificaram que os tratamentos reduziram consideravelmente o fator anisotrópico, atingindo valores de até 1,45 em regime de tratamento a 210°C, e quando

comparado com a madeira controle (1,75), nota-se uma redução do coeficiente anisotrópico de 17%. Enquanto para a madeira de *Nectandra dioica* esta redução na mesma temperatura de modificação com impregnação de parafina foi de 25%.

Estes resultados estão relacionados à degradação imediata ao tratamento térmico dos grupos hidroxílicos acessíveis presentes na parede celular, encarregados pela absorção de umidade da madeira, tornando-a menos higroscópica (Poubel et al., 2013), enquanto o papel da parafina presente nos lúmens celulares é retardar a difusão de vapor na estrutura da madeira tratada (Wang et al., 2015). Desta forma, para a madeira de *Nectandra dioica*, é evidente a eficiência do tratamento e sua capacidade em entregar um material com boa estabilidade dimensional e com uma menor tendência a defeitos devido sua eventual secagem ao longo do tempo.

3.4 Absorção de água entre ciclos

A aplicação da modificação térmica proporcionou uma redução na capacidade de absorção de água da madeira de *Nectandra dioica*, intensificando-se quando impregnada com parafina. Na Tabela 4 está à mostra a comparação entre o primeiro e terceiro ciclo de embebição da madeira tratada e de controle, expressa em taxa de absorção de água. Comparados ao controle, todos os tratamentos apresentaram reduções nas taxas de absorção de água, com destaque aos tratamentos impregnados (190/2 e 210/2) onde, expressaram uma taxa de absorção de água de 18,66% e 14,46%, respectivamente, mostrando a eficiência do tratamento combinado.

Tabela 4. Comparação entre ciclos (1° e 3°) referente à taxa de absorção de água.

Trat.	Ciclo 1	Ciclo 3	aac (%)
190/1	57,13	50,06	49,06
190/2	26,17	19,66	18,66
210/1	35,46	29,68	28,68
210/2	17,89	15,46	14,46
Ctrl	63,21	57,69	56,69

Ciclo 1: Absorção de água no ciclo 1 (%); Ciclo 3: Absorção de água no ciclo 3(%); aac: taxa de absorção de água entre ciclos (%).

A comparação entre ciclos mostrou a permanência dos ganhos em termos de propriedades pela madeira avaliada, resultado semelhante ao encontrado por Biziks et al. (2015) que, avaliando as propriedades higroscópicas de madeiras europeias (*Betula pendula*, *Populus tremula* e *Alnus incana*) relataram uma melhor qualidade higroscópica da madeira tratada termicamente após cinco ciclos de imersão-secagem.

No entanto, Čermák et al. (2015), avaliando a higroscopicidade da madeira de pinheiro escocês (*Pinus sylvestris* L.) modificada termicamente em regimes de tratamento de 180°C e 220°C e expostas a seis ciclos de imersão-secagem, evidenciaram um aumento na higroscopicidade da madeira tratada enquanto foi observado uma ligeira redução na madeira de referência.

Nos resultados promissores do presente estudo a impregnação de parafina atuou na redução da absorção de água entre os ciclos. Resultados de inibição semelhantes foram encontrados por Reinprecht & Repák (2019) em testes de imersão apresentando reduções de até 35,8%. A parafina somada ao tratamento térmico reduziu a capacidade de penetração de água na madeira, e durante os três ciclos de imersão-secagem o seu efeito ainda se mostra positivo.

4 CONCLUSÃO

A modificação térmica com parafina na madeira de *Nectandra dioica* apresentou-se como método eficiente para aumento da resistência da madeira à água e para melhorias de sua estabilidade dimensional. A madeira modificada termicamente com imersão de parafina mantém seus ganhos mesmo após sucessivos ciclos de exposição a água. Entretanto, são necessários estudos que avaliem o efeito do intemperismo nestas mesmas propriedades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, MRS. et al. Surface Wettability and Roughness of 11 Amazonian Tropical Hardwoods. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 1, p. 99–109, 2013.

ANDRADE, FWC. Eficiência de métodos não destrutivos para classificação e predição de propriedades de madeira modificada termicamente. Faculdade de Ciências Agrônômicas. UNESP. Botucatu, 2021. 129 p.

AWOYEMI, L; COOPER, PA; UNG, TY. In-treatment cooling during thermal modification of wood in soy oil medium: Soy oil uptake, wettability, water uptake and swelling properties. **Eur. J. Wood Wood Prod.** 2009, 67, 465–470, doi:10.1007/s00107-009-0346-9.

BAAS, P. New Perspectives in Wood Anatomy. **Leiden: Martinus Nijhoff Publishers.** 1982. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000843>.

BIZIKS, V; ANDERSONS, B; SANSONETTI, E; ANDERSONE, I; MILITZ, H; GRININS, J. One-stage thermo-hydro treatment (THT) of hardwoods : an analysis of form stability after five soaking-drying cycles. **Holzforschung**, v.69, p.563–571, 2015. DOI: 10.1515/hf-2014-0083.

BORGES, LM; QUIRINO, WF. Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tratado termicamente. **Revista Biomassa & Energia**, v. 1, n. 2, p 173-182, 2004.

CARDOSO, C. et al. Caracterização físico-mecânica de madeiras amazônicas com aptidão tecnológica para comercialização. *Revista de Ciências Agrárias, Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, v. 55, n. 3, p. 176–183, 2012.

ČERMÁK, P; VAHTIKARI, K; RAUTKARI, L; LAINE, K; HORÁČEK, P; BAAR, J. The effect of wetting cycles on moisture behaviour of thermally modified Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood. *Journal of Materials Science*, 51(3), 1504–1511. 2015. doi:10.1007/s10853-015-9471-5.

CONTE, B; MISSIO, AL; PERTUZZATTI, A; CADEMARTORI P. HG; GATTO, DA. Propriedades físicas e colorimétricas da madeira termorretrificada de *Pinus elliottii* var. *elliottii*. *Sci. For.*, Piracicaba, v. 42, n. 104, p. 555-563, dez. 2014.

DUBEY, M.K; PANG, S; WALKER, J. Changes in chemistry, color, dimensional stability and fungal resistance of *Pinus radiata* D. Don wood with oil heat-treatment. *Holzforschung* 2012, 66, 49–57, doi:10.1515/HF.2011.117.

DUBEY, M.K; PANG, S; CHAUHAN, S; WALKER, J. Dimensional stability, fungal resistance and mechanical properties of radiata pine after combined thermos-mechanical compression and oil heat-treatment. *Holzforschung* 2016, 70, 793–800, doi:10.1515/hf-2015-0174.

ESTEVES B; PEREIRA, H. Modificação da madeira por tratamento térmico: uma revisão. *BioResources* 4(1), 370-404. 2009.

ESTEVES, B; NUNES, L; DOMINGOS, I; PEREIRA, H. Improvement of termite resistance, dimensional stability and mechanical properties of pine wood by paraffin impregnation. *European Journal of Wood and Wood Products*, v. 72, n. 5, p. 609–615, 2014.

EVANS, P; WINGATE-HILL, R; CUNNINGHAM, R. Wax and oil emulsion additives: how effective are they at improving the performance of preservative-treated wood? *For. Prod. J.* 2009. 59:66–70.

HASAN, M; DESPOT, R; ŠAFRAN, B; LACIĆ, R; PERŠINOVIĆ, M. Oil heat treatment of alder wood for increasing biological durability of wood. *Drv. Ind.* 2008, 65, 143–150, doi:10.5552/drind.2014.1256.

HULLER, LAS; HASELEIN, CR; SILVEIRA, AG; MENEZES, WM; TALGATTI, M; SOUZA, JT; SANTINI, EJ. Modificação térmica e propriedades tecnológicas da madeira de *Eucalyptus cloeziana*. *Pesquisa Florestal Brasileira, [S. l.]*, v. 37, n. 90, p. 183–188, 2017. DOI: 10.4336/2017.pfb.37.90.1288.

HUMAR M; KRŽIŠNIK D; LESAR B; THALER N; UGOVŠEK A; ZUPANČI K; ŽLAHTIČ M. Thermal modification of wax-impregnated wood to enhance its physical, mechanical, and biological properties. *Holzforschung*, v. 71, n. 1, p. 57–64, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). Banco de Dados de Madeiras Amazônicas. Laboratório de Produtos Florestais, Brasília-DF. Disponível em: <<https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/madeiras-brasileiras>> Acesso em jan/2023.

KORKUT, S; HIZIROGLU, S. Effect of heat treatment on mechanical properties of hazelnut wood (*Corylus colurna* L.). *Materials & Design*, v. 30, n. 5, p. 1853-1858, 2009.

LESAR, B, ŠKAPIN, AS, HUMAR, M. Sorption properties of wood impregnated with aqueous solution of boric acid and montan wax emulsion. **J. Appl. Polym. Sci.** 2011. 120:1337–1345.

LESAR, B; HUMAR, M. Use of wax emulsion for improvement of wood durability and sorption properties. **Eur. J. Wood Wood Prod.** 2011, 69, 231–238, doi:10.1007/s00107-010-0425-y.

MASSERANN, C.; MARIAUX, A. Anisotropie de retrait et structure du bois. Recherche de l'influence des caractères morphologiques transverses des fibres. **Bois et Forêts des Tropiques**, 1985, Paris, n.209, p.35-47.

MELO, R. Estabilidade dimensional de compostos de madeira. **Ciência da Madeira (Braz. J. Wood Sci.)**, Pelotas, v. 04, n. 02, p. 152-175, Novembro de 2013. ISSN: 2177-6830.

MODES, KS; SANTINI, EJ; VIVIAN, MA. Higroscopicidade da madeira de Eucalyptus grandis e Pinus taeda tratadas termicamente. **Cerne**, v. 19, p. 19-25, 2013.

MORAES NETO, SP. et al. Propriedades mecânicas da madeira de cinco procedências de Pinus caribaea var. hondurensis implantadas no cerrado do Distrito Federal, DF. **Planaltina: Embrapa Cerrados**, 2009. 20 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 251).

POUBEL, DDS. et al. Efeito da termorreificação nas propriedades físicas e químicas da madeira de Pinus caribaea. **Cerne**, n. 3, p. 391-398, 2013. DOI: 10.1590/S0104-77602013000300005.

PRZYBYSZ, M. et al. Estudo da Higroscopicidade de madeira de Pinus oocarpa Termorreificada. **Madeira: arquitetura e engenharia**, v. 14, n. 34, p. 37-46, 2014.

RAPP, AO.; SAILER, M. Oil heat treatment of wood in Germany—**State of the art**. In Review on heat treatments of wood, Editor A.P. Rapp, BFH Hamburg, Germany, March 2001, pp. 45-62. ISBN 3-926301-02-3.

REINPRECHT, L; VIDHOLDOVÁ, Z. Mould resistance, water resistance and mechanical properties of OHTthermowoods. In Final Conference of COST Action E37; Bordeaux, 29-30 September 2008,. UGent—**Faculty of Bioscience Engineering**—Laboratory of Wood Technology: UGent, Belgium. pp. 159-165.

REINPRECHT, L; REPÁK, M. The impact of paraffin-thermal modification of beech wood on its biological, physical and mechanical properties. **Forests**, v. 10, n. 12, p. 1–15, 2019.

SCHOLZ, G; KRAUSE, A; MILITZ, H. Capillary water uptake and mechanical properties of wax soaked Scots pine. In Proceedings of the **European Conference on Wood Modification**, Stockholm, Sweden, 27–29 April 2009. SP Technical Research Institute of Sweden: Stockholm, Sweden.

SCHOLZ, G; KRAUSE, A; MILITZ, H. Exploratory study on the impregnation of Scots pine sapwood (*Pinus sylvestris* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) with different hot melting waxes. **Wood Sci. Technol.** 2010, 44, 379–388, doi:10.1007/s00226-010-0353-3.

WANG, JY; COOPER, PA. Effect of oil type, temperature and time on moisture properties of hot oil-treated wood. **Holz als Roh-und Werkstoff** 2005, 63, 417–422, doi:10.1007/s00107-005-0033-4.

WANG, et al. Thermal modification of Southern pine combined with wax emulsion preimpregnation: Effect on hydrophobicity and dimensional stability. **Holzforschung**, v. 69, n. 4, p. 405–413, 2015.

WILLEMS, W; LYKIDIS, C; ALTGEN, M; CLAUDER, L. Quality control methods for thermally modified wood: a review. **Holzforschung** 1–10. 2015.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
REITORIA
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS
TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS

1. Identificação do autor

Nome completo: Saulo José da Costa Lima

CPF: 038.291.532-10 RG: 7853970 Telefone: (093) 99144-3637

E-mail: saulo.jose@outlook.com

Seu e-mail pode ser disponibilizado na página de rosto? (X) Sim ()

Não

2. Identificação da obra

() Monografia (X) TCC () Dissertação () Tese () Artigo científico () Outros:

Título da obra: Efeito da modificação térmica com parafina nas propriedades higroscópicas e estabilidade dimensional da madeira de Louro-preto (*Nectandra dioica*)

Programa/Curso de pós-graduação:

Data da conclusão: 23/01/2023.

Agência de fomento (quando houver): _____

Orientador: Fernando Wallase Carvalho Andrade

E-mail: fernando.andrade@ufopa.edu.br

Co-orientador: Victor Hugo Pereira Moutinho

Examinadores: Diego Lima Aguiar e Thiago Augusto de Souza Moreira.

3. Informação de disponibilização do documento:

O documento está sujeito a patentes? () Sim (X) Não

Restrição para publicação: () Total () Parcial (X) Sem restrição

Justificativa de restrição total*: _____

4. Termo de autorização

Autorizo a Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) a incluir o documento de minha autoria, acima identificado, em acesso aberto, no Portal da instituição, no Repositório Institucional da Ufopa, bem como em outros sistemas de disseminação da informação e do conhecimento, permitindo a utilização, direta ou indireta, e a sua reprodução integral ou parcial, desde que citado o autor original, nos termos do artigo 29 da Lei nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, e da lei 12.527 de novembro de 2011, que trata da Lei de Acesso à Informação. Essa autorização é uma licença não exclusiva, concedida à Ufopa a título gratuito, por prazo indeterminado, válida para a obra em seu formato original.

Declaro possuir a titularidade dos direitos autorais sobre a obra e assumo total responsabilidade civil e penal quanto ao conteúdo, citações, referências e outros elementos que fazem parte da obra. Estou ciente de que todos os que de alguma forma colaboram com a elaboração das partes ou da obra como um todo tiveram seus nomes devidamente citados e/ou referenciados, e que não há nenhum impedimento, restrição ou limitação para a plena validade, vigência e eficácia da autorização concedida.

Santarém, 30/01/2023.


Assinatura do autor

5. Tramitação no curso

Secretaria / Coordenação de curso

Recebido em ____/____/____.

Responsável: _____

Siape/Carimbo