

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

LISZANDRA APARECIDA SANTOS PIRES

**ALTERAÇÕES DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA DE *Apuleia leiocarpa*
PELA TERMORRETIFICAÇÃO**

MONTE CARMELO

2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

LISZANDRA APARECIDA SANTOS PIRES

**Alterações das propriedades físicas da madeira de *Apuleia leiocarpa* pela
termorretificação**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Engenharia Florestal, Campus
Monte Carmelo, da Universidade Federal de
Uberlândia, como parte dos requisitos
necessários para obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia Florestal.

Orientador(a): Antônio José Vinha Zanúncio

MONTE CARMELO

2025

LISZANDRA APARECIDA SANTOS PIRES

**ALTERAÇÕES DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA DE *Apuleia leiocarpa*
PELA TERMORRETIFICAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Engenharia Florestal, Campus
Monte Carmelo, da Universidade Federal de
Uberlândia, como parte dos requisitos
necessários para obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia Florestal.

Monte Carmelo, ____ de _____ de 202__.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Antônio José Vinha Zanúncio

Orientador

Profa. Dra. Regina Maria Gomes

Membro da banca

Dra. Olívia Pereira Lopes

Membro da banca

Monte Carmelo

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me sustentou até aqui.

Aos meus pais pela força, incentivo e refúgio diário.

Ao meu filho por ser minha força e por me inspirar em ser melhor, sua existência é a minha maior motivação para buscar conquistas como esta.

Ao meu orientador prof. Dr. Antônio pelos conhecimentos passados e pela paciência.

A Técnica Dra. Olivia que me auxiliou no laboratório

Aos professores da Universidade Federal de Uberlândia – campus Monte Carmelo, que nos acolhem com tanta dedicação e transmitem o conhecimento necessário para nossa formação acadêmica, onde é um passo importante para realização profissional e pessoal.

Cada pessoa que cruzou o meu caminho nessa etapa, foram importantes de alguma forma.

Á todos ao meu redor que me incentivaram nessa caminhada, meus mais sinceros agradecimentos.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variação das propriedades físicas da madeira de *Apuleia leiocarpa* termorretificada.

RESUMO

Muito se discute a importância da madeira e seus usos, com o avanço acelerado da tecnologia é possível modificar as propriedades da madeira sem usar compostos químicos, que são prejudiciais à fauna e a flora. Isto é possível com a termorretificação, que consiste em aquecimento em altas temperaturas reduzindo a higroscopidade, que é a capacidade de absorver a umidade do ar, garantindo assim uma maior durabilidade, diminuição de ataques de fungos e melhorando sua estabilidade dimensional, neste trabalho trata da madeira de *Apuleia leiocarpa*, uma madeira bastante usual. Então, foram analisados algumas de suas propriedades físicas, em temperaturas testemunhas com secagem em 103°C, onde todas as amostras foram secas por 24 horas e secas em 170°C e 200°C por 5 horas, as amostras foram divididas em grupos. Este método de modificação ainda é pouco utilizado no Brasil, mas atualmente as empresas estão em busca de melhorias e buscam um manuseio mais consciente dos materiais como a não utilização de químicos, permitindo a diminuição com gastos e visando a proteção ambiental. Portanto, este trabalho teve como intuito, contribuir com o estudo do efeito da termorretificação na espécie da Garapa e analisar se o efeito é compensatório para a indústria, os resultados mostraram que houve uma modificação eficaz nas propriedades físicas da madeira, diminuindo sua higroscopidade permitindo uma madeira mais estável, durável e resistente com menor contração e inchamento.

Palavra-chave: Água. Modificação térmica. Estabilidade.

ABSTRACT

The importance of wood and its diverse applications has been widely discussed. With the rapid advancement of technology, it is now possible to alter wood properties without the use of chemical compounds that may be harmful to fauna and flora. Thermal modification is one such method, involving high-temperature treatment that reduces the wood's hygroscopicity—its ability to absorb moisture from the air. This process enhances durability, reduces susceptibility to fungal attacks, and improves dimensional stability. This study investigates the thermal modification effects on *Apuleia leiocarpa* (commonly known as Garapa), a widely utilized wood species in Brazil. Samples were subjected to thermal treatment at three different temperatures: 103°C (used for standard drying over 24 hours), 170°C, and 200°C. These samples were divided into two groups: with fiber orientation and without fiber orientation, and were treated for 5 hours. Although thermal modification is still not widely adopted in Brazil, there is growing interest among companies in improving material processing methods by avoiding chemical usage, thereby reducing costs and promoting environmental sustainability. This research aims to contribute to the understanding of thermal modification effects on *Apuleia leiocarpa*, and to assess whether this method yields beneficial results for industrial applications.

Keyword: Water. Thermal modification. Stability.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
3. REFERENCIAL TEÓRICO	8
3.1 Espécie <i>Apuleia leiocarpa</i>	8
a. Propriedades Físicas.....	9
b. Umidade.....	9
c. Termorretificação	10
4. MATERIAL E MÉTODOS	11
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
6. CONCLUSÃO	15
REFERÊNCIAS	16

1. INTRODUÇÃO

A madeira desempenha um papel fundamental em muitos aspectos da vida humana e da economia global, tornando-se assim um material muito utilizado, seja ele em construções, instrumentos musicais, esculturas e em outras aplicações.

A umidade relativa do ar é capaz de influenciar a variação na dimensão da madeira, modificando assim suas propriedades físicas e químicas, tornando-a instável, essa instabilidade pode afetar no seu valor econômico e destino final (Calonego. F. W., 2009).

Em razão dessa capacidade de contração e inchamento, é interessante realizar a termorretificação, que consiste em um tratamento com calor elevado destinado a madeira, utilizado para avaliação das propriedades físicas e mecânicas. O calor que é aplicado na madeira é em grandes temperaturas, chegando perto do valor da carbonização, isto é, temperaturas abaixo de 220°.

O tratamento térmico da madeira degrada principalmente a celulose e hemicelulose. Diminuindo a adsorção da umidade na madeira, melhorando a estabilidade dimensional e resistência a degradação por insetos e fungos. Entretanto, a degradação dos carboidratos reduz a resistência mecânica da madeira, sendo necessário balancear os efeitos positivos e negativos da termorretificação (Brito *et al.*, 2006).

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é analisar qual o efeito da termorretificação na madeira de *Apuleia leiocarpa*, com objetivo de realizar teste para perda de massa, densidade, propriedades físicas, anisotropia, e propriedades mecânicas da madeira da Garapa.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Espécie *Apuleia leiocarpa*

A Garapa (*Apuleia leiocarpa*), pertence à família da Fabaceae e ocorre em diversos estados do país. Essa espécie tem um bom desenvolvimento em solos secos e profundos, são espécies típicas de florestas tropicais. A madeira tem grande resistência e durabilidade, sendo

utilizada nas construções civil, postes, construções navais, tanoaria, carroças, entre outros. A árvore pode apresentar alturas de 25 a 35 metros, possuindo uma alta massa específica. (Carvalho, 2009)

a. Propriedades Físicas

No contexto atual, é de suma importância saber sobre as propriedades da madeira da espécie em que se vai trabalhar, isso se torna necessário pois a utilização do calor em altas temperaturas afeta as propriedades físicas da madeira, podendo ser de forma positiva ou negativa. Destaca-se, que a visualização é mais rápida em madeiras com baixa massa específica.

As propriedades físicas são caracterizadas/medidas pela densidade, teor de umidade e retratibilidade. De acordo com Guirardi (2020), a higroscopidade da madeira se dá pela capacidade de absorção e retratibilidade da madeira de acordo com a umidade do ambiente em que está madeira é submetida, isto permite que aconteça a contração e o inchamento da madeira, com o fenômeno de aquecimento é possível diminuir este efeito em até 50% pelo fato de atingir constituintes da madeira com o aquecimento, melhorando esse efeito de contração e inchamento.

A densidade da madeira diminui com a termorretificação tratamento na madeira isso ocorre pela degradação das hemiceluloses e perda dos extractivos voláteis, este fenômeno é inversamente proporcional à umidade.

b. Umidade

A umidade representa a quantidade de água presente no material, podendo ser expressa na base seca ou úmida. A base seca, utilizado no setor de serraria e estruturas de madeira, consiste na razão entre a massa de água do material e a massa seca de madeira. Quando a madeira está saturada a massa específica da madeira é inversamente proporcional ao teor de umidade, isso ocorre porque quanto maior a massa específica menor o espaço intracelular a ser preenchido pela água de adsorção. (Forest Products Laboratory, (1999); Haygreen e Boyer, 1996; Oliveira, 1997, 2007; Scanavaca e Garcia, 2004 *apud* Calonego, 2009; Simpson, 1991; Skaar, 1972, 1988).

A quantidade de água na madeira proveniente da umidade é capaz de afetar a dimensão, resistência, trabalhabilidade e estabilidade dimensional, nas células lenhosas possuem água livre que fica nos espaços intracelulares e água higroscópica, presente nos polímeros da madeira (Calonego, 2009).

Para Bower (1996) citado por Calonego (2009), a exposição da madeira ao calor durante a etapa inicial da secagem remove primeiramente a água livre, quando essa é retirada totalmente é alcançado o ponto de saturação das fibras (PSF). O teor de umidade de equilíbrio da madeira acontece quando o balanço entre ganho e perda de umidade é igual só assim é possível a estabilidade da madeira com as condições atmosféricas, madeiras com baixas densidades são mais fáceis de atingir o PSF (Calonego, 2009).

De acordo com [Almeida e Hernández \(2006\)](#), a madeira quando exposta ao calor excessivo tende a atingir o teor de umidade de equilíbrio da madeira (TUE), retirando assim a água higroscópica, nessa etapa a entrada e a saída de água na madeira tem reações diferentes, e o fenômeno é considerado histerese, bem como, a adsorção acontece nessa etapa pela ligação de celulose ser quebrada e substituída por ligação de hidrogênio, permitindo o inchamento, já a desorção quebra essas pontes de hidrogênio e retira toda água contida na madeira.

De acordo com Melo (2013), a higroscopicidade tem uma alta capacidade de melhorar a estabilidade dimensional, a contração e o inchamento concedem características desagradáveis, a termorretificação pode reduzir até 50% desse aspecto.

A densidade tem relação com a massa e o volume da madeira, essa propriedade é muito importante pois pode impactar vários componentes da madeira que tem relação com o aquecimento, afetando diretamente a dureza e resistência.

c. Termorretificação

A termorretificação é um tratamento que utiliza altas temperaturas em uma atmosfera controlada sem a presença de oxigênio com ênfase na secagem da madeira, modificando sua estrutura, durabilidade, entre outros, esse processo é irreversível sobre as propriedades físicas e químicas da madeira e possui um mercado com grande capacidade econômica para fins que buscam uma maior estabilidade dimensional, menos ataque de fungos e aumento da vida útil, em utilização de químicos, somente com o tratamento térmico (Calonego, 2009).

Segundo Guirardi (2020), esse método de modificação térmica é um processo inovador tendo em vista, que não causa prejuízos ao meio ambiente pois, não á uso de composto químico, havendo uma maior procura por esses produtos. A termorretificação faz com que os carboidratos se degradam, diminuindo a adsorção da umidade e garantindo uma melhor estabilidade dimensional, isso acontece porque com esse aquecimento há uma deterioração dos constituintes da madeira causando ações diversas nos polissacarídeos, que são os principais constituintes da parede celular transformando-a definitivamente, as hidroxilas são reduzidas e

há uma influência na redução do módulo de ruptura e elasticidade e também a resistência mecânica da madeira. Nas hemiceluloses acontece a insuficiência de cristalinidade, com a alteração desse constituinte há uma maior estabilidade da madeira de troca de água com o ambiente havendo um menor inchamento e diminuição do ponto de saturação das fibras (PSF). Com isso, o módulo de Resistência à Flexão (MOR) é reduzido. (Prediger, 2015).

No entanto, a resistência mecânica pode ser prejudicada com esse tratamento, com a degradação de alguns componentes a elasticidade e o modulo de ruptura podem ser comprometidos, mas pode haver variações dependo da espécie, e outros componentes no qual a madeira é submetida neste procedimento (Modes et al., 2017).

4. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais, na Universidade Federal de Uberlândia – UFU, no campus de Monte Carmelo.

Os ensaios físicos foram conduzidos de acordo com a norma estabelecida pela ABNT **NBR 7190-3:2022** – Projeto de estrutura de madeira –Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isento de defeitos para madeiras de florestas nativas, garantindo maior confiabilidade dos resultados.

Foi utilizado no trabalho a madeira de *Apuleia leiocarpa*, onde foram utilizadas 76 amostras com dimensões de 2 x 2 x 4 no radial, tangencial e longitudinal respectivamente. As amostras foram utilizadas para os testes. Os materiais testados foram divididos em três tratamentos, testemunha que foi seco a 103°C por 24 horas e termorretificados a 170°C e 200°C por 5 horas.

Depois da secagem das testemunhas todas as amostras foram pesadas e a massa seca registradas, após a termorretificação também foi feito o mesmo processo de pesagem (Figura 1).



Figura 1: Amostras na estufa para secagem.

Após o processo de secagem, todos os corpos de prova foram colocados em um dessecador com água onde semanalmente era retirado o ar do dessecador com uma bomba de vácuo e caso necessário era feito à troca de água, quando a mesma apresentava muitas sujidades, esse processo foi feito por 3 meses.

Depois, quando retiradas do dessecador com água foram pesadas novamente e em seguida, foram feitas as medições necessárias para os testes físicos, como, base, altura e largura realizada com o paquímetro digital.

Também foi realizado a medição dimensional, que consiste nos sentidos tangencial, radial e longitudinal, foram medidos ao sair da submersão no dessecador e posteriormente foram secas a 103°C e remedidas.

Para saturar as amostras dos testes físicos, os corpos de prova de 2 x 2 x 4 foram colocados em um dessecador, os cálculos foram realizados com as seguintes fórmulas:

Inchamento volumétrico:

$$IV(\%) = (((Vs - Va) \div Va) \times 100)$$

Nas quais:

IV= Inchamento Volumétrico;

Vs= Volume da madeira saturada;

Va= Volume da madeira anidra.

Inchamento Radial:

$$IR(\%) = (((CRs - CRa) \times 100)$$

Nas quais:

IR= Inchamento radial;

CRs= Comprimento radial da madeira saturada;

CRa= Comprimento radial anidro.

Inchamento Tangencial:

$$IT(\%) = (((CTs - CTa) \div CTa) \times 100)$$

Nas quais:

IT(%)= Inchamento tangencial;

CTs= Comprimento tangencial da madeira saturada;

CTa= Comprimento tangencial da madeira anidro.

Anisotropia: é determinada pela razão entre o inchamento tangencial e radial.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A termorretificação da madeira de *Apuleia leiocarpa*, promoveu alterações significativas nas suas propriedades físicas, conforme apresentado na (Tabela 1). Os

resultados obtidos foram submetidos ao teste de Tukey a 5% de probabilidade, permitindo identificar diferenças estatísticas entre os tratamentos.

Tabela 1. Variação das propriedades físicas da madeira de *Apuleia leiocarpa* termorretificada.

Tratamento	Contração radial	Contração Tangencial	Contração Longitudinal	Contração volumétrica	Coeficiente de anisotropia
Testemunha	5.91 a	8.68 a	0.29 a	13.54 a	1.97 a
170°C	4.78 b	6.17 b	0.27 a	9.78 b	1.61 b
200°C	3.51 c	5.18 c	0.28 a	6.66 c	1.60 b

Fonte: Elaboração própria (2025).

Médias na vertical seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se que a contração radial apresentou redução significativa com o aumento da temperatura. O tratamento a 200°C resultou na menor média (3,51%), diferindo estatisticamente dos tratamentos a 170°C (4,78%) e da testemunha (5,91%). Essa redução está associada à degradação das hemiceluloses, que diminui a capacidade da madeira de absorver umidade, conforme descrito por Brito et al. (2008).

A contração tangencial seguiu tendência semelhante, com valores decrescentes à medida que a temperatura aumentou. A testemunha apresentou a maior média (8,68%), enquanto o tratamento a 200°C obteve a menor (5,18%). A diferença entre os tratamentos foi estatisticamente significativa, indicando que a termorretificação contribui para a estabilidade dimensional da madeira.

Em relação à contração longitudinal, não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos, com médias próximas (0,29% para a testemunha, 0,27% para 170°C e 0,28% para 200°C). Isso sugere que essa propriedade é menos sensível ao tratamento térmico, corroborando os achados de Calonego (2009), que indicam menor variação longitudinal em processos de modificação térmica.

A contração volumétrica apresentou redução significativa com o aumento da temperatura. A testemunha apresentou a maior média (13,54%), enquanto o tratamento a 200°C resultou na menor (6,66%). Essa diminuição está diretamente relacionada à menor higroscopidade da madeira termorretificada, conforme discutido por Guirardi (2020).

O coeficiente de anisotropia também foi afetado pela termorretificação. A testemunha apresentou o maior valor (1,97), enquanto os tratamentos a 170°C e 200°C apresentaram

valores menores (1,61 e 1,60, respectivamente), com diferença estatística significativa. A redução da anisotropia indica maior uniformidade no comportamento dimensional da madeira, o que é desejável para aplicações que exigem estabilidade.

Esses resultados demonstram que a termorretificação é eficaz na melhoria das propriedades físicas da madeira de *Apuleia leiocarpa*, especialmente no que se refere à redução da higroscopidade e da anisotropia, contribuindo para maior estabilidade dimensional. Contudo, é necessário considerar o impacto sobre propriedades mecânicas, que podem ser comprometidas em temperaturas mais elevadas, conforme discutido por Prediger (2015) e Modes et al. (2017).

6. CONCLUSÃO

A termorretificação da madeira de *Apuleia leiocarpa* demonstrou ser uma técnica eficiente na modificação das propriedades físicas da madeira, promovendo maior estabilidade dimensional e redução da higroscopidade. Os resultados obtidos indicam que o tratamento térmico a 200°C foi o mais eficaz na diminuição das contrações radiais, tangenciais e volumétricas, além de reduzir o coeficiente de anisotropia.

Portanto, a termorretificação se apresenta como uma alternativa promissora para a indústria madeireira, contribuindo para a produção de materiais com maior durabilidade e menor suscetibilidade a variações ambientais, desde que sejam considerados os limites adequados de temperatura e as características específicas de cada espécie, também é importante e promissor realizar os testes mecânicos para avaliar as propriedades mecânicas que consiste em medir a capacidade de resistir a esforços externos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G.; HERNÁNDEZ, R. E. Changes in physical properties of tropical and temperate hardwoods below and above fiber saturation point. **Wood Science and Technology**, Berlin, v.40, p.599-613, 2006.

BRITO, J. O. et al. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, submetida a diferentes temperaturas de termorretificação. **Cerne**, Lavras, v.12, p. 182-188, abr./ jun. 2006. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74412209>. Acesso em: 19 mar. 2024.

CALONEGO, F. W. **Efeito da termorretificação nas propriedades físicas, mecânicas e na resistência a fungos deterioradores da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden.** Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”. Botucatu, p. 163. 2009.

CARVALHO, A. G. et al. Método de ressonância para predição das propriedades mecânicas das madeiras de *Eucalyptus urophylla* e *Pinus oocarpa* termorretificadas. **Revista Matéria**, Viçosa, v. 22, n. 1 p. 8, mar./setem. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/YfW7jdgRNHLKHQyDyRC4JWc/>. Acesso em: 19 mar. 2024.

CARVALHO, P. E. R. Espécies Arbóreas Brasileiras. **Embrapa**. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1139740/1/Especies-Arboreas-Brasileiras-vol-1-Grapia.pdf>

GUIRARDI, B. D. **Efeito da termorretificação nas propriedades da madeira de desbaste de *Tectona grandis* L.f.** Dissertação (Pós-Graduação em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p.54. 2020.

MELO, R. R. Estabilidade dimensional de compostos da madeira. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 4, n. 2, p.152-175. Nov. 2013.

MODES, S. K. Influencia da termorretificação na resistência a degradação biológica das madeiras. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 3, p. 993-1002. Ag. 2017.

PREDIGUER, C. R. Efeito do tratamento térmico nas propriedades tecnológicas das madeiras de Angelim-Saia e Itaúba. Trabalho de curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Mato Grosso Campus de Sinop, Sinop, 2015.