

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
CENTRO DE ESTUDOS SUPERIORES DE ITACOATIARA
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

GENESSE PEREIRA VIANA

EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE SEIS
MADEIRAS AMAZÔNICAS

ITACOATIARA - AM
2023

GENESSE PEREIRA VIANA

EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE SEIS
MADEIRAS AMAZÔNICAS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal do Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara da Universidade do Estado do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Orientador (a): Dr. Victor Fassina Brocco
Coorientador (a): Dra. Flávia Maria Silva Brito

ITACOATIARA-AM

2023

GENESSE PEREIRA VIANA

**EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE SEIS
MADEIRAS AMAZÔNICAS**

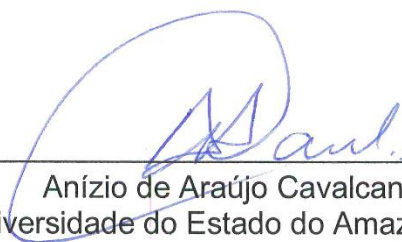
Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal do Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara da Universidade do Estado do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Aprovada em 29 de março de 2023

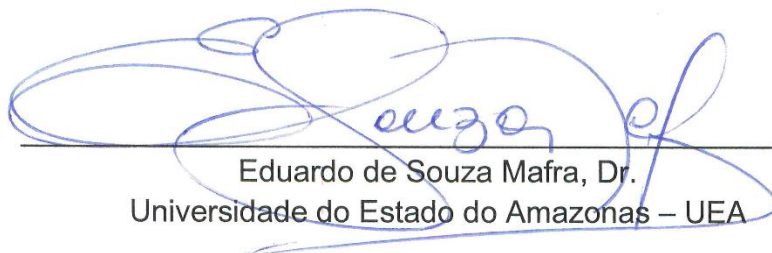
BANCA EXAMINADORA



Victor Fassina Brocco, Dr.
Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Orientador



Anízio de Araújo Cavalcante, Dr.
Universidade do Estado do Amazonas – UEA



Eduardo de Souza Mafra, Dr.
Universidade do Estado do Amazonas – UEA

Dedico este trabalho em primeiro lugar a Deus a quem tenho crido e aos meus pais por me ensinarem o valor do trabalho, nada vem fácil, a minha filha Sophia, minha companheira Silvia e aos meus irmãos.

“A boa madeira não cresce com sossego;
quanto mais forte o vento mais fortes as
árvores”

J. Willard Marriot

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por toda força e renovação espiritual, por não ter me deixado desistir nos momentos mais difíceis. Digno de toda honra e glória!

A minha família pelo apoio prestado, a minha avó Maria Viana (in memoriam), agradeço principalmente aos meus pais José e Maria pelas orações e por serem pessoas trabalhadoras, humildes e exemplos de vida.

A todos os meus irmãos Elder, Josias, Jô, Jarbas, Jesimo, Jackson, Jonison, Joel, Jersonita, Jeremias e Jeane por serem pessoas incríveis e batalhadoras. Representam o sobrenome Viana.

A minha filha Sophia e a minha companheira Silvia pelo convívio diário e ajuda em todos os momentos.

Ao meu orientador professor Dr. Victor Fassina Brocco, pela oportunidade dada e orientações prestadas para a realização deste trabalho.

A minha coorientadora Dra. Flávia Brito, pelas correções, palavras de incentivo e por sempre se disponibilizar no caso de dúvidas. Muito obrigado!

A todos os professores do CESIT/UEA pelo conhecimento compartilhado ao longo desses anos na graduação, sem seus ensinamentos nada disso seria possível.

A toda equipe do laboratório de Tecnologia da Madeira, por toda ajuda no decorrer do trabalho, meus agradecimentos Jair Franco, Valeska Farias, Railza, Sebastiana e Marcelly sem vocês nada seria possível.

Ao meu amigo Fábio Balieiro, por toda ajuda, motivação e conversas.

A Giovanna Amaral pela amizade e ajuda no lixamento das madeiras.

A todos colegas pelos momentos de distrações e brincadeiras . Acreditem a hora de vocês vai chegar!

A minha cunhada Adriene Amaral pela ajuda na análise dos dados.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente na concretização deste trabalho.

Obrigado a todos!

RESUMO

A modificação térmica é um processo que promove melhorias nas propriedades da madeira, como redução da higroscopicidade, maior estabilidade dimensional, aumento da resistência biológica e alteração da cor, tornando-a mais atrativa e com maior valor agregado. Este trabalho teve como objetivo, avaliar o efeito de diferentes temperaturas de modificação térmica nas propriedades físicas de madeiras amazônicas. Foram utilizadas amostras com dimensões de 12,5 x 10 x 5 cm (comprimento x largura x espessura, respectivamente), para aplicação do tratamento térmico em estufa, sendo adotadas as seguintes temperaturas: 150°, 170° e 190°C com tempo de tratamento de duas horas e trinta minutos. Para os ensaios físicos as amostras foram redimensionadas com dimensões de 2 x 3 x 5 cm (espessura x largura x comprimento, respectivamente), conforme a norma NBR 7190 (ABNT, 1997). A análise colorimétrica foi feita pela carta de Munsell. Os resultados demonstraram que houve perda de massa para todas as madeiras tratadas e um escurecimento mais acentuado na temperatura mais elevadas. A higroscopicidade das madeiras tratadas tornando evidente que a estabilidade dimensional foi melhorada. A densidade básica apresentou pequenas variações com a elevação da temperatura. A taxa de absorção de água entre as espécies reduziu ligeiramente nas primeiras 24 horas, exceto para a espécie *Licaria aritu* que aumentou até o final do ensaio. O tratamento térmico mostrou-se eficaz para aumentar a estabilidade dimensional das madeiras, apesar de não ter reduzido significativamente todas as contrações (tangencial, radial e volumétrica) entre os tratamentos para as seis espécies tratadas, além do fator anisotrópico.

Palavras-chave: Tratamento térmico. Madeiras tropicais. Estabilidade dimensional. Perda de massa.

ABSTRACT

Thermal modification is a process that promotes improvements in wood properties, such as reduced hygroscopicity, greater dimensional stability, increased biological resistance and color change, making it more attractive and with greater added value. This work aimed to evaluate the effect of different thermal modification temperatures on the physical properties of Amazonian woods. Samples with dimensions of 12.5 x 10 x 5 cm (length x width x thickness, respectively) were used for the application of heat treatment in an oven, with the following temperatures being adopted: 150°, 170° and 190°C with two hours and thirty minutes treatment. For the physical tests, the samples were resized with dimensions of 2 x 3 x 5 cm (thickness x width x length, respectively), according to the NBR 7190 standard (ABNT, 1997). Colorimetric analysis was performed using the Munsell chart. The results showed that there was mass loss for all treated woods and a more accentuated darkening at higher temperatures. The hygroscopicity of the treated woods makes it evident that the dimensional stability has been improved. The basic density showed slight variations with increasing temperature. The rate of water absorption between species reduced slightly in the first 24 hours, except for the species *Licaria aritu* which increased until the end of the test. The heat treatment proved to be effective in increasing the dimensional stability of the woods, despite not having significantly reduced all contractions (tangential, radial and volumetric) between treatments for the six treated species, in addition to the anisotropic factor.

Keywords: Thermal treatment. Tropical woods. Dimensional stability. Weight loss.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. Objetivos	12
1.1.1. Objetivo Geral.....	12
1.1.2. Objetivos Específicos.....	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Espécies Estudadas.....	13
2.1.1 Cupiúba (<i>Goupia glabra</i>).....	13
2.1.2 Louro aritu (<i>Licaria aritu</i> Ducke).....	13
2.1.3 Sucupira amarela (<i>Enterolobium schomburgkii</i> Benth).....	14
2.1.4 Uxirana (<i>Sacoglottis</i> sp.).....	15
2.1.5 Uxi (<i>Endopleura uchi</i>).....	15
2.1.6. Piquiarana (<i>Caryocar glabrum</i>).....	16
2.2. Propriedades físicas.....	16
2.2.1. Densidade.....	16
2.2.2. Umidade	17
2.2.3 Retratibilidade.....	18
2.3 Cor da madeira	19
2.4. Modificação térmica da madeira	20
2.4.1. Temperatura e tempo de tratamento térmico.....	22
2.4.2. Efeito da modificação térmica nas propriedades da madeira	22
3. METODOLOGIA	25
3.1 Coleta de material e preparo dos corpos de prova	25
3.2 Modificação térmica	26
3.3 Análise da cor	27
3.4 Propriedade físicas da madeira modificada termicamente.....	27
3.4.1 Densidade básica	28
3.4.2 Umidade de equilíbrio higroscópico	28
3.4.3 Retratibilidade da madeira	28
3.4.4 Taxa de absorção de água	29
3.5. Análise e Avaliação dos resultados.....	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31

4.1. Perda de massa da madeira	31
4.2. Influência do tratamento térmico nos padrões colorimétricos da madeira	32
4.3. Umidade de equilíbrio higroscópico da madeira	36
4.4. Densidade básica da madeira	38
4.5. Absorção de água	40
4.5. Retratibilidade da madeira	42
5. CONCLUSÃO	46
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material largamente utilizado pelo homem, em função das suas propriedades tecnológicas, versatilidade, resistência, funciona como isolante térmico e possibilidade de ser empregada em diversas situações. Porém, como todos os materiais, a madeira apresenta algumas desvantagens. É um material higroscópico e anisotrópico, ou seja, suas dimensões alteram-se em função da variação no seu teor de umidade, e as suas propriedades apresentam diferentes variações em relação aos planos de crescimento, o que limita consideravelmente seu uso em algumas aplicações.

Dessa forma, pesquisas sobre suas propriedades e a aplicação de novas tecnologias são fundamentais para melhorar a qualidade do produto final, sobretudo, nos problemas associados a sua natureza anisotrópica e biológica, como a instabilidade dimensional e durabilidade natural (POUBEL et al., 2013; PEREIRA, 2022; PAULA et al., 2023), já que são fatores que podem restringir o uso de diferentes espécies de madeira em vários segmentos.

Diante deste fato, a modificação térmica apresenta-se como uma alternativa viável para proporcionar melhorias em algumas propriedades da madeira, principalmente, reduzir a higroscopicidade, aumentar a estabilidade dimensional e resistência à biodeterioração e ao intemperismo (BATISTA, 2012).

A modificação térmica da madeira, também conhecida como tratamento térmico é realizada através do aquecimento de amostras em faixas inferiores à 280 °C, na qual altera a anatomia e os constituintes químicos, como celulose, hemicelulose, lignina e extrativos somente com a ação do calor (SILVA, 2012). Este processo vem ganhando cada vez mais espaço devido à sua praticidade, baixo impacto ambiental, além de trazer alguns benefícios para a madeira e por fim estimular o desenvolvimento de novas pesquisas e trabalhos voltados para um melhor aproveitamento dos produtos madeireiros (CARVALHO et al., 2019).

O processo de modificação térmica é empregado em nível industrial na Europa, inclusive com patentes em vários países, como a Finlândia, França, Holanda e Alemanha (MENEZES et al., 2014). No Brasil trata-se de um tema relativamente novo e pouco explorado pelos pesquisadores do país, quando comparado com outros processos de industrialização da madeira (BATISTA, 2019). No entanto, já existe uma empresa nessa área a TWBrazil, que segundo Lopes (2014) utiliza essa técnica para

melhorar determinadas propriedades tecnológicas da madeira, bem como para alterar artificialmente a cor do material visando aumentar a comercialização de espécies que, apesar de apresentarem boas propriedades, não são atrativas do ponto de vista estético devido seu aspecto claro.

Além das propriedades físicas, a cor das madeiras também pode ser beneficiada, após o tratamento. A madeira tratada termicamente adquire colorações semelhantes às de madeiras tropicais de maior valor econômico, melhora a instabilidade dimensional, bem como a resistência a fungos xilófagos e a ação do clima, logo agrega valor a mesma (MOURA; BRITO, 2011). No entanto, algumas alterações podem ocorrer de forma negativa na madeira, como a perda de resistência mecânica, que ocorre em função da perda de massa do material modificado termicamente (SANTOS; SILVA, 2021).

Ao passar pelo tratamento em altas temperaturas cada espécie pode apresentar comportamento diferenciado. Algumas podem perder mais massa do que outras, alteração de cores são visíveis e também há o aparecimento de defeitos na forma de fissuras (MENDOZA; BORGES; MORAIS, 2020).

Entretanto, a temperatura, isoladamente, não é o único fator responsável pelas transformações ocorridas na madeira modificada termicamente. Outros fatores podem estar relacionados, tais como: o tempo de tratamento, a taxa de aquecimento, a atmosfera, a pressão e a espécie (ARAÚJO et al., 2012). O tratamento térmico afeta a composição química da madeira, alterando suas propriedades químicas, físicas e mecânicas.

Atualmente, existem poucos estudos desse processo em espécies nativas amazônicas, principalmente no que diz respeito ao efeito entre diferentes temperaturas e tempos de tratamento aplicados (RONSONI, 2015).

Essa carência no ramo da tecnologia da madeira, principalmente em relação às espécies tropicais amazônicas, desperta interesse pela modificação térmica, uma vez que pode ser uma solução para o aumento de mercado de espécies menos valorizadas. Diante do exposto, é necessário compreender os efeitos do tratamento nas propriedades físicas e mudanças colorimétricas, visto que essas características geram parâmetros para avaliar a sua qualidade e possibilita o uso adequado de diferentes espécies de madeira.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Avaliar o efeito de diferentes temperaturas de modificação térmica nas propriedades físicas de madeiras amazônicas.

1.1.2. Objetivos Específicos

Analisar a alteração de cores das madeiras pela carta de Munsell;

Verificar o efeito da temperatura na perda de massa da madeira após o tratamento;

Avaliar o efeito da temperatura na umidade de equilíbrio higroscópico, densidade básica, absorção de água; coeficiente de contração linear, volumétrica e coeficiente de anisotropia.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Espécies Estudadas

2.1.1 Cupiúba (*Goupia glabra*)

A *Goupia glabra* é uma espécie pertencente à família Goupiaceae, popularmente chamada de cupiúba, outros nomes pelos quais a espécie é conhecida são: cupiúba-rosa, cupiúva, cutiúba, cachaceiro, peniqueiro e peroba-do-norte. Ocorre em matas de terra firme em toda a região Amazônica, principalmente no estado do Amazonas tanto em terrenos arenosos como argilosos (LORENZI, 2009; ANJOS, 2014).

A madeira é pesada (densidade 0,87 g/cm³) e dura, com cerne de coloração castanho-amarelada ou bege-clara tornando-se castanho-avermelhada, textura média a grossa, resistência mecânica moderada e boa trabalhabilidade. Tem boa resistência ao ataque de organismos xilófagos, o cheiro desagradável da madeira lembra o cheiro de cupim e deu origem ao nome “cupiúba” (LORENZI, 2009).

A madeira de cupiúba tem grande importância econômica para a região onde ocorre e para o país, sendo comercializada inclusive, no mercado internacional, devido seus diversos usos, desde a construção civil até acabamentos internos e móveis (HIRAI; CARVALHO; PINHEIRO, 2007). De acordo com os autores supracitados, a espécie apresenta vantagem no armazenamento de suas sementes no solo, até ocorrer uma abertura no dossel da floresta para favorecer a germinação, pois é uma espécie que necessita de luz para germinar, se estabelecer e crescer. Por crescer rapidamente, pode facilitar a condução da regeneração natural em florestas nativas.

2.1.2 Louro aritu (*Licaria aritu* Ducke)

A família Lauraceae é uma família tipicamente arbórea que ocorre em florestas úmidas tropicais e subtropicais. É a maior família lenhosa das Magnoliídeas contendo aproximadamente cerca de 50 gêneros, com 2500 a 3000 espécies, com exceção de espécies do gênero *Cassytha*, que são trepadeiras hemiparasitas, as demais são árvores e arbustos (MORAIS, 2018).

As plantas dessa família apresentam muitas utilidades, incluindo a culinária, marcenaria, construção civil, fabricação de papel, perfumaria, indústria química e medicina popular, com destaque as espécies relacionadas aos gêneros: *Ocotea*, *Aniba* e *Nectandra*, que possuem um número relevante de espécies utilizadas (MARQUES, 2001).

Segundo Chaves (2020), dentre as diversas espécies dessa família já estudadas, há poucos relatos na literatura sobre a espécie *Licaria aritu* Ducke. Apesar disso, esta Lauraceae desperta interesse da indústria química por evidenciar substâncias com potencial farmacológico.

De acordo com Corrêa (1975), a espécie *Licaria aritu* Ducke, denominada "aritú" ou "louro aritú", é uma das mais apreciadas madeiras de lei de Manaus e costuma ser frequente nas matas altas úmidas ao redor da cidade. A madeira é uma das melhores entre as várias espécies de "louro", e empregada na construção. As folhas e flores glabras ou subglabras apresentam cheiro agradável semelhante ao benjoim.

2.1.3 Sucupira amarela (*Enterolobium schomburgkii* Benth)

A espécie *Enterolobium schomburgkii* Benth. (Fabaceae), é conhecida popularmente sucupira amarela/orelha de macaco natural da Amazônia é encontrada na América Central, Amazônia legal e regiões neotropicais, desde o nordeste, sudeste e sul do Brasil até Argentina, Uruguai, Paraguai e Bolívia (RAMOS; FERRAZ, 2008).

É uma árvore de 10 a 50 m de altura e 12 a 80 cm de DAP, heliófila, pertencente à família das leguminosas que fazem associação com bactérias fixadoras de nitrogênio e, portanto, recomendada para reflorestamento em áreas de solo pobre (SOUZA, 2011). Sua madeira possui valor econômico, por ter média densidade, retratibilidade e resistência mecânica, sendo recomendada para uso na construção civil e naval e movelaria (MUÑIZ et al., 2012).

De acordo Lorenzi (2009) a madeira de sucupira amarela apresenta densidade de 0,79 g/m³, sendo de boa resistência, dura ao corte, textura média, grã irregular a reversa e durabilidade moderada.

2.1.4 Uxirana (*Sacoglottis* sp.)

A família Humiriaceae A. Juss é representada por oito gêneros e cerca de 63 espécies arbóreas e arbustivas distribuídas desde o sul do Brasil até América Central. Além de ser bem representadas na Amazônia com aproximadamente 50% das espécies e elevado número de endêmicas, as Humiriaceae também são encontradas em vários outros ecossistemas brasileiros como restingas, campos de altitude e Mata Atlântica (CARVALHO; HOLANDA, 2018).

O gênero *Sacoglottis*, pertencente à família Humiriaceae é amplamente distribuído na região Amazônica, na mata alta de terra firme bem como em formação abertas (campinas). A madeira desta espécie é moderadamente pesada e resistente à decomposição mesmo quando exposta às intempéries e pode ser empregada em construção civil e para obras externas como postes, dormentes e pontes. São plantas perenifólias, heliófitas, seletiva xerófita, característica das formações semiabertas da região Amazônica, onde apresentam-se com pequeno porte. Na mata alta de terra firme adquire porte elevado de até 20 m (LORENZI, 2009; ARVALHO; HOLANDA, 2018).

2.1.5 Uxi (*Endopleura uchi*)

A espécie *E. uchi*, popularmente conhecido como uxi, uxi-amarelo, uxi-liso, pertence à família Humiriaceae, nativa da Amazônia brasileira, encontra-se dispersa praticamente em todos os estados dessa região, porém com maior frequência nos estados do Pará e Amazonas (MENEZES; HOMMA, 2012). As árvores da espécie são grandes, com cerca de 25-30 metros de altura, com troncos cilíndricos e retos que podem atingir 1 metro de diâmetro. Devido às suas propriedades, a madeira desta espécie é utilizada na construção civil, construção naval, marcenaria e carpintaria (MUNIZ, 2013).

A *E. uchi* é uma das espécies locais mais valiosas, por sua madeira ser excelente e seus frutos tem importância medicinal, além de serem atrativo para a caça. Sua madeira é pesada ($0,93 \text{ g/cm}^3$) e é explorada pela indústria madeireira para construção de armários, mourões e vigas (MACHADO, 2015).

2.1.6. Piquiarana (*Caryocar glabrum*)

A madeira de *Caryocar glabrum*, da família Caryocaraceae, comumente conhecida como piquiarana, possui madeira pesada, com densidade básica variando de 0,75 a 0,90 g.cm³. Os principais usos são para a fabricação de dormentes, marcenaria, estacas, vigas, caibros, sarrafos, tábuas, tacos para assoalhos, esquadrias de portas e janelas, suportes e mourões (Matos, 2007).

A madeira é excelente para aplainar, torneiar e furar, ruim para lixar, altamente resistente ao ataque de organismo xilófagos, baixa permeabilidade às soluções preservativas, mesmo em tratamentos sob pressão (BRANDÃO, 2010). Em relação às características anatômicas o cerne/alburno é indistinto; apresenta cor amarelo-pálido; grã reversa; textura média; ausente de brilho; cheiro imperceptível; apresenta resistência ao corte manual, moderadamente dura (MATOS, 2007).

2.2. Propriedades físicas

Em razão da alta heterogeneidade de espécies de madeiras, o estudo das propriedades físicas é de fundamental importância para se ter um conhecimento mais aprofundado sobre esse material, tendo em vista que isso vai indicar sua qualidade e definir sua correta utilização (MÜLLER, 2014).

A determinação das propriedades físicas tem sido realizada por meio de ensaios de laboratórios, onde são utilizadas amostras de madeira com dimensões específicas e livres de defeitos, utilizando equipamentos próprios e seguindo normas que especificam os métodos, procedimentos, fórmulas de cálculo e apresentação dos resultados (CALEGARI et al., 2013).

2.2.1. Densidade

A densidade (massa específica) é dentre as várias propriedades da madeira a mais estudada, por ser de fácil determinação e por ter direta correlação com a massa, composição celular e demais propriedades da madeira, servindo como parâmetro de classificação das madeiras. Logo, não pode ser utilizada como índice de qualidade de forma isolada (Batista, 2012). Enquanto Silva et al. (2012) afirmam que a densidade é a propriedade física que melhor expressa a qualidade da madeira para uso na produção de campo e utilização industrial.

A determinação da densidade e, principalmente, de sua variação dentro da árvore, tanto na direção radial (medula-casca), quanto no sentido longitudinal (base-topo), aliada à variação na idade, são parâmetros fundamentais para a caracterização da madeira, subsidiando o entendimento de sua qualidade e adequada indicação de uso para as mais diversas finalidades (OLIVEIRA; HELLMEISTER; TOMAZELLO FILHO, 2005). De acordo com os autores, peças de madeira com menor variação de densidade são indicadas para aplicações que requerem um material homogêneo e menor variabilidade nas propriedades físico-mecânicas.

Por apresentar elevada variabilidade dentro de uma mesma árvore para a determinação da densidade básica de uma dada espécie é necessário retirar amostras representativas ao longo do fuste (MELO et al., 2013). Dependendo da condição de umidade que a amostra é submetida, a densidade pode ser representada de várias formas, nas quais duas formas mais usuais de determinação são a densidade básica e a densidade aparente. Sendo a densidade básica a relação entre a massa da madeira completamente seca em estufa, com o seu respectivo volume saturado (DIAS; LAHR, 2004). Já a densidade aparente é definida como a relação entre a massa e o volume, determinada nas mesmas condições de umidade (U%), e variável dependente do valor de umidade (REZENDE; ESCOBEDO; FERRAZ, 1988).

De modo geral, madeiras com alta densidade (madeiras pesadas) são mais resistentes, elásticas e duras do que as de baixa densidade (madeiras leves), em contrapartida, são de difícil trabalhabilidade e apresentam maior variabilidade volumétrica (MORESCHI, 2010). Segundo Guma (2013), as madeiras de baixa massa específica, por apresentarem paredes de fibras finas e parênquima axial e radial não abundantes, são fáceis de serem trabalhadas e possuem baixa variabilidade volumétrica.

2.2.2. Umidade

A umidade, embora não possa ser considerada como uma característica intrínseca da madeira, o seu estudo é de grande importância, pois trata-se de um parâmetro que interfere no comportamento do material, quanto a trabalhabilidade, estabilidade dimensional, resistência mecânica e durabilidade natural (SILVA; OLIVEIRA, 2003).

Segundo Moreschi (2010) na madeira, a água se apresenta de três formas, nos espaços celulares (água livre), impregnada nas paredes celulares (água de

impregnação) e a água de adsorção química que participa da constituição química da madeira. O teor de umidade na madeira afeta significativamente a qualidade do produto final, pois a presença de água tem efeito nas demais propriedades do material.

Para Galvão (1975), o teor de umidade da madeira em serviço depende principalmente da umidade relativa e da temperatura do ambiente em que se encontra a peça. Ao fixar essas variáveis, o teor de água da madeira é ajustado para um valor conhecido como teor de umidade de equilíbrio, permitindo a estimativa da umidade da madeira utilizada em condições ambientais diferentes.

Segundo Oliveira, Hellmeister e Tomazello Filho (2005), determinar o teor de umidade e de sua variação no tronco de árvores ou das peças de madeira é extremamente importante para o seu desempenho e utilização de maneira racional. Os altos gradientes de umidade da madeira são uma das causas de defeitos de secagem, especialmente aqueles caracterizados por empenamentos e rachaduras. No que diz respeito, à distribuição da umidade no interior da madeira os autores complementam, que é de grande importância a segregação das peças em teores de umidade mais uniformes, de forma a facilitar a secagem, tanto em termos de minimização de defeitos como de obtenção de menor variabilidade em torno da umidade média esperada.

Madeiras devem apresentar uma umidade próxima à de equilíbrio higroscópico quando em uso, pois uma vez alcançada essa condição os problemas relativos à retratibilidade serão amenizados (SILVA; OLIVEIRA, 2003), uma vez que nesse estado a madeira não ganha nem perde umidade (GLASS; ZELINKA, 2010).

2.2.3 Retratibilidade

Por apresentar característica higroscópica a madeira tem a tendência de ganhar e perder umidade em função das condições climáticas do ambiente até atingir um equilíbrio dinâmico com o mesmo. Para Galvão e Jankowsky (1985) à medida que a madeira perde água ela sofre retração, enquanto que o ganho de água representa o inchamento. Na prática, todo movimento dimensional ocorre entre o PSF e 0% de umidade, ou seja; as alterações dimensionais caracterizam à dessorção ou adsorção de água higroscópica localizada nas paredes celulares. Essas variações ocorrem devido às cadeias de celulose e as microfibrilas se afastarem ou se aproximarem conforme a quantidade de água presente (GLASS; ZELINKA, 2010).

O estudo do comportamento das variações dimensionais (retratibilidade) da madeira é essencial para a sua utilização, tanto na construção civil quanto na fabricação de móveis (FREITAS et al., 2016). Conforme os referidos autores, a magnitude dessas variações depende além do teor de umidade, de outros fatores como a direção estrutural (radial, tangencial ou longitudinal), a posição dentro da árvore, a massa específica, a temperatura, entre outros.

A maior alteração dimensional da madeira se manifesta no sentido tangencial aos anéis de crescimento, seguida pela dimensão radial, sendo praticamente desprezível no sentido longitudinal. Outro importante índice para avaliar a instabilidade dimensional da madeira é o coeficiente ou fator anisotrópico, definido pela relação entre as contrações tangencial e radial (T/R) (SILVA; OLIVEIRA, 2003). Este índice dá uma ideia do comportamento das madeiras, em relação à secagem, indicando maior ou menor propensão das peças terem empenamentos e rachaduras, e os valores variam de 1,3 a 1,4 para madeiras muito estáveis e mais de 3 para espécies extremamente instáveis dimensionalmente (OLIVEIRA et al., 2010). Para classificar a madeira quanto a sua instabilidade dimensional Durlo e Marchiori (1992) estabeleceram um critério de classificação quanto ao coeficiente de anisotropia descrita na tabela 1.

Tabela 1. Classificação do coeficiente de anisotropia.

Classe	Coeficientes de anisotropia
Excelente	1,2 – 1,5
Normal	1,5 – 2,0
Ruim	> 2,0

Fonte: Durlo e Marchiori (1992).

2.3 Cor da madeira

A cor é uma das principais propriedades da madeira percebidas pelos sentidos humanos, e tem grande importância para identificação, classificação e indicação de uso das espécies de madeira, principalmente quando associada aos aspectos de textura e desenho, sendo possível obter a valorização de espécies pouco conhecidas (BONFATTI JÚNIOR; LENGOWSKI, 2018).

Atualmente, a cor vem sendo considerada como um critério importante de qualidade da madeira, já que é uma característica tão importante quanto as

propriedades físicas e mecânicas, influenciada pelas características físicas, químicas e anatômicas, assim como pelas condições climáticas e tratamentos silviculturais (LOPES et al., 2014).

Os estudos que avaliam a cor da madeira utilizam métodos subjetivos ou científicos. Os métodos subjetivos mais empregados são a visualização direta da amostra e a carta de Munsell. Nessa carta, a cor da amostra é verificada em uma escala comparativa com o padrão de cores para solos. Cada padrão corresponde a uma notação Munsell baseada no matiz (*hue*), valor (*value*) e croma (*chroma*). A matiz é o comprimento de onda da luz, o valor é o brilho ou a tonalidade, e o croma é a intensidade ou pureza da cor em relação ao cinza (FRANÇA et al., 2019).

De forma mais detalhada, o valor de “Matiz” é representado pela abreviação da letra que determina a cor (amarelo (Y); vermelho (R); verde (G); azul (B) e púrpuro (P)), precedido pelo número de 0 a 10 em função da contribuição de cada cor, onde 10Y é a presença de 100% da cor amarela; 10R representa 100% da cor vermelha e 5YR é 50% amarelo e 50% vermelho. A notação do “Valor” indica luminosidade e varia de 0 para preto absoluto e 10 para o branco absoluto, em função desta escala quanto maior o “Valor” mais claro é o material. Já o “Croma” representa a saturação/intensidade, podendo variar de 0 a 10 ou mais, em que cores de croma baixa são consideradas fracas, enquanto as de croma com maiores valores são consideradas saturadas (MUNSELL COLOR, 2000; BROCCO, 2014).

2.4. Modificação térmica da madeira

Diferentes técnicas foram estudadas e vêm sendo empregadas para melhorar algumas propriedades tecnológicas da madeira e, dentre elas, o tratamento térmico, é um dos mais antigos métodos para melhorar as propriedades físicas como a higroscopicidade e a instabilidade dimensional (ARAÚJO, 2010; MENEZES et al., 2014).

A modificação térmica é um tipo de tratamento em que a madeira é submetida a altas temperaturas, com o objetivo de aumentar a resistência natural e melhorar a aparência de madeiras de menor valor econômico através da alteração da cor. Com essa mudança na coloração faz com que estas se aproximem das madeiras de maior valor de mercado, através da alteração das características das mesmas,

principalmente as físicas (MOURA; BRITO; BORTOLETTO-JÚNIOR, 2012; ZANUNCIO; FARIAS; SILVEIRA, 2014).

De acordo com Araújo (2012) essa técnica possui a finalidade de melhorar as propriedades em decorrência do calor, provocando mudanças químicas, físicas, e mecânicas, nas quais variam em função da temperatura final do processo, do tempo de tratamento, da velocidade de aquecimento e das propriedades iniciais da madeira.

O processo não requer produtos químicos, um fator muito importante no aspecto ambiental atualmente. Além disso, pode ser uma alternativa para substituir madeiras tradicionais, ao aumentar a resistência ao apodrecimento e a instabilidade dimensional da madeira, colocando no mercado espécies menos valorizadas, também evitar que espécies ameaçadas de extinção sejam exploradas (ARAÚJO, 2010).

Nesse sentido, uma grande vantagem dos processos de modificação térmica em relação aos métodos convencionais de preservação é a não utilização de produtos químicos tóxicos na madeira. Este causa mudanças na constituição química da madeira devido aos efeitos físicos de calor (seco ou úmido) e da pressão. Desta forma, o processo não favorece nenhum tipo de impregnação de substâncias externas (BATISTA, 2012), pois somente será feita a aplicação controlada da temperatura, dispensando o uso desses produtos.

O tratamento térmico reduz a umidade das peças de madeira ao elevar-se a temperatura. Sobre esse aspecto, Borges e Quirino (2004) afirmam que o tratamento térmico pode ser aplicado para produzir produtos florestais de maior qualidade e valor comercial, constituindo-se como um possível incremento no beneficiamento de madeiras. Além disso, pode aumentar o uso de madeiras marginalizadas, afim de preservar aquelas explorada de forma intensa.

Na Europa os métodos de tratamentos térmicos de madeira já atendem às necessidades das indústrias de base florestal, como Plato-Process (Holanda), Retification Process e Boiss Perdure (França), OHT-Process (Alemanha) e o TermoWood Process (Finlândia), todos patenteados. Esses processos usam valores de temperatura entre 160° e 260°C (GOUVEIA, 2008). No Brasil, as pesquisas sobre a modificação térmica ainda são pouco exploradas cientificamente e o esforço de alguns pesquisadores tem colocado este tema em pauta de congressos e revistas científicas desde a década de 1980 (BATISTA, 2012), e tem sido realizado em temperaturas próximas de 200°C (POUBEL et al., 2013).

De acordo com Batista (2012, 2019) a pesquisa brasileira realizada até o momento ocorreu predominantemente em escala laboratorial, com raros trabalhos em escala industrial, quando comparado com outros processos de industrialização da madeira, tais como: desdobro, secagem, polpação, carbonização e produção de painéis. Os equipamentos comumente utilizados na modificação térmica da madeira são estufas elétricas (forno Pasteur), muflas e autoclaves.

2.4.1. Temperatura e tempo de tratamento térmico

Geralmente, os tratamentos térmicos são feitos com temperaturas de até 280°C e tempo de duração que variam de 15 minutos a 24 horas, dependendo do processo, do tamanho da amostra, do teor de umidade da madeira, da espécie em função de sua composição química e estrutura anatômica e das características desejáveis ao produto final (POUBEL et al., 2013). Todavia, diversos autores utilizam em seus experimentos temperaturas entre 140 °C e 220 °C, com diferenças no tempo de tratamento.

Gallio et al. (2019), realizaram em uma estufa laboratorial, o tratamento de modificação térmica da madeira de *Pinus elliottii* Engelm, onde os corpos de prova permaneceram expostos à 180, 200 e 220°C por 2 horas. Anjos e Sousa (2014) em seus ensaios usaram temperaturas de 140, 160 e 180°C por 3 horas com a espécie amazônica *Goupia glaba* Aubl. Ferreira et al., (2019) utilizaram temperaturas de 180 °C e 200 °C, com o tempo de exposição variando de 2 as 4 horas, no qual avaliaram o comportamento das propriedades físicas da madeira de *Himenolobium petraeum* Ducke . Araújo (2010) em tese por sua vez utilizou temperaturas de 180, 200 e 220°C e o tempo foi de uma hora para cada tratamento em diferentes espécies: *Mimosa scabrella*, *Dipteryx odorata*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus* sp. e *Aspidosperma populifolium*. Menezes et al. (2014) avaliaram o efeito da modificação térmica nas propriedades físicas de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus saligna* tratadas a temperaturas finais de 140, 160 e 180°C durante 2,5 horas utilizando estufa. Ressalta-se que existem trabalhos com temperaturas inferiores a 140 °C e superiores a 220 °C.

2.4.2. Efeito da modificação térmica nas propriedades da madeira

O tratamento térmico promove a uniformidade da cor da madeira, sendo um atributo estético importante e apresenta um impacto direto no estabelecimento do preço final do produto. Na Europa, o tratamento térmico é usado para escurecer

madeiras claras de baixo valor comercial, aproximando-as da cor das espécies tropicais, as quais são mais escuras e de alto valor comercial, processo denominado "tropicalização" (LOPES et al., 2014).

Durante o tratamento de modificação térmica da madeira, na ausência ou a baixos níveis de oxigênio, acontece a termodegradação de seus constituintes químicos com a redução da quantidade dos sítios primários de sorção (grupos OH-) da parede celular, principalmente pela degradação das hemiceluloses, polímeros mais higroscópicos da madeira. Estas são mais degradáveis termicamente em razão da estrutura ramificada e do baixo peso molecular, que facilitam a sua decomposição quando comparada à celulose e lignina (BRITO et al., 2006; LOPES, 2018). Simultaneamente com a diminuição do teor de hemicelulose, a madeira também perde extrativos e outras substâncias secundárias, solúveis em água, derivadas dos outros componentes da madeira (GOUVEIA, 2008).

Conforme Anjos (2014), os efeitos do tratamento térmico na madeira são visíveis a partir do momento em que são aplicadas temperaturas acima de 140 °C, que é quando a madeira começa a sofrer modificações em relação a sua estrutura física e química. A perda de massa é uma das consequências decorrente do processo, onde parte dos componentes químicos, e principalmente as hemiceluloses, são afetadas de forma direta.

O processo de modificação térmica têm uma influência significativa nas propriedades físicas da madeira, que a beneficiam, como, por exemplo, em termos de instabilidade dimensional, higroscopicidade, teor de umidade de equilíbrio e anisotropia de contração e inchamento, e afetando negativamente outros, como a perda de massa, que pode impossibilitar seu uso em aplicações que exigem maior resistência (MOURA; BRITO; BORTOLETTO JÚNIOR, 2012; OLIVEIRA et al., 2021).

Borges e Quirino (2004) tratando termicamente a madeira de *Pinus caribaea* relatam que o tratamento térmico foi eficiente para promover a redução na higroscopicidade da madeira e, portanto, pode se tornar uma alternativa promissora para promover maior instabilidade dimensional da madeira.

Brito et al., (2006) e Araújo (2010), em seus estudos observaram que o aumento da temperatura interfere de forma positiva reduzindo as contrações da madeira, evidenciando que o tratamento térmico torna a madeira dimensionalmente mais estável, quando comparada com a original. No entanto, a instabilidade dimensional é largamente dependente do processo, temperatura final e espécie (BELLON, 2013).

A perda de massa é um fator chave para a alteração da densidade, higroscopicidade, resistência mecânica e durabilidade natural da madeira, dentre outras propriedades da madeira tratada termicamente. De maneira geral, temperaturas mais elevadas promovem maiores perdas de massa devido estas terem uma relação direta, resultante da pirólise e/ou degradação dos constituintes químicos da madeira, principalmente as hemiceluloses (BRITO et al., 2006; CONTE et al., 2014; ANJOS, 2014; POUBEL et al., 2013).

Lobato et al., (2020), verificaram uma maior perda de massa nas madeiras de três espécies tropicais: *Pouteria caimito* (abiu), *Protium altissimum* (breu) e *Jacaranda copaia* (parapará) quando submetidas ao tratamento de 2 h a 240 °C, sendo as temperaturas mais altas. Vollbrecht et al., (2022) avaliaram o efeito do tratamento térmico nas propriedades físicas da madeira de *Buchenavia* sp. (branquilha), diante de alguns resultados encontrados, como a redução dos valores de retração tangencial e radial, os autores recomendaram a aplicação do tratamento térmico a 180 °C quando o objetivo é obter melhorias na instabilidade dimensional com perda de massa desprezível e alterações mínimas na densidade básica.

A modificação térmica ao promover a degradação da hemicelulose, confere à madeira um aspecto pouco higroscópico. Essa diminuição na higroscopicidade pode ser simplesmente determinada submetendo amostras de madeira tratadas termicamente e não tratadas às mesmas condições de umidade. As amostras tratadas atingem um teor de equilíbrio menor que as amostras não tratadas, indicando uma perda de higroscopicidade. Essa característica evita que a peça troque grandes quantidades de água com o meio ambiente e melhora a instabilidade dimensional (BORGES; QUIRINO, 2004).

A madeira tratada termicamente é adequada para uma variedade usos, incluindo, revestimentos, confecção de paredes, assoalhos, decks de barcos, móveis para jardim, portas e janelas em geral, móveis externos e internos instrumentos musicais etc. (ARAÚJO, 2010), desde de que não envolvam, no entanto, grandes esforços mecânicos, tendo em vista que algumas propriedades mecânicas do material tratado são negativamente alteradas pela ação da temperatura (MOURA; BRITO, 2011).

3. METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Tecnologia da Madeira do Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara (CESIT) da Universidade do Estado do Amazonas (UEA), localizado no município de Itacoatiara - AM.

3.1 Coleta de material e preparo dos corpos de prova

Foram utilizadas seis espécies madeireiras, listadas no Quadro 01, de ocorrência natural da Região Amazônica, provenientes de serrarias, próximas ao município de Itacoatiara – AM. As espécies foram identificadas por meio de observação macroscópica e comparação com as madeiras registradas na Xiloteca do Laboratório de Anatomia da Madeira, do CESIT, além de chaves dicotômicas e consultas na literatura, afim de identificar corretamente as amostras. Das espécies selecionadas foram obtidas peças com dimensões de aproximadamente 40 x 7 x 5 cm (comprimento x largura x espessura, respectivamente).

Quadro 01: Relação das espécies estudadas.

Nome comum	Nome científico	Família
Cupiúba	<i>Goupia glabra</i>	Goupiaceae
Louro aritu	<i>Licaria aritu</i>	Lauraceae
Sucupira amarela	<i>Enterolobium schomburgkii</i>	Fabaceae
Uxirana	<i>Sacoglottis sp.</i>	Humiriaceae
Uxi	<i>Endopleura uchi</i>	Humiriaceae
Piquiarana	<i>Caryocar glabrum</i>	Caryocaraceae

Antes do processo de modificação térmica, as amostras foram preparadas com dimensões de 12,5 x 7 x 5 cm (comprimento x largura x espessura), obtendo um total 28 amostras para cada espécie, sendo sete repetições para cada tratamento (Controle, 150°C, 170°C e 190°C). As amostras foram lixadas manualmente para eliminar possíveis irregularidades, em seguida foram acondicionadas em estufa (Figura 1A) com temperatura de 100°C, para obtenção de suas massas anidras em balança analítica com 0,01g de precisão (Figura 1B) para o cálculo de perda de massa.

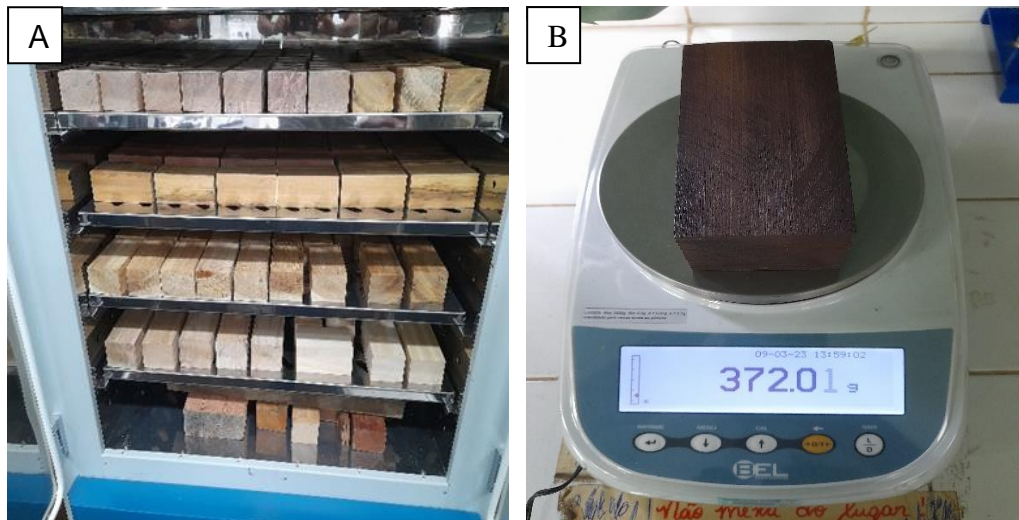


Figura 1: Secagem das amostras em estufa (A). Pesagem das amostras (B).
Fonte: Autor (2023).

3.2 Modificação térmica

Os tratamentos térmicos foram realizados em estufa de circulação e renovação de ar modelo SL-102/1000, aplicando-se separadamente as temperaturas de 150°C, 170°C e 190°C com tempo de tratamento de duas horas e trinta minutos. Para cada tratamento, as peças foram previamente aquecidas a 100 °C e em seguida a estufa foi ajustada para a temperatura final de cada tratamento. Após atingida a temperatura final de cada tratamento, as peças permaneceram em estufa pelo período de duas horas e trinta minutos. Ao final de cada tratamento os corpos de prova foram resfriados em dessecadores e pesados, para verificação da massa.

A determinação da perda de massa foi feita a partir da variação entre os valores de massa seca inicial a 100°C, e a massa tomada imediatamente após cada tratamento de modificação térmica, conforme equação 1. Posteriormente, as amostras foram submetidas a avaliação da cor.

$$PM = \left(\frac{M_s - M_t}{M_s} \right) \times 100 \quad (1)$$

Onde:

PM = Perda de massa (%);

Ms = Massa seca da madeira (g);

Mt = Massa da madeira após o tratamento térmico.

3.3 Análise da cor

Após a modificação térmica, as amostras foram submetidas a avaliação da cor pela caderneta de cores de Munsell “Munsell Color Soil Charts” (MUNSELL COLOR, 2000) conforme observado na Figura 2. Para a comparação da cor e obtenção dos dados colorimétricos, a leitura de cor na tabela de cores de Munsell foi realizada por meio de percepção visual de três avaliadores que escolheram e confirmaram a cor da madeira em função dos atributos matiz “hue” (tonalidade), valor “value” (luminosidade) e croma “chroma” (saturação). Após as leituras das cores, foram feitas fotografias das amostras.

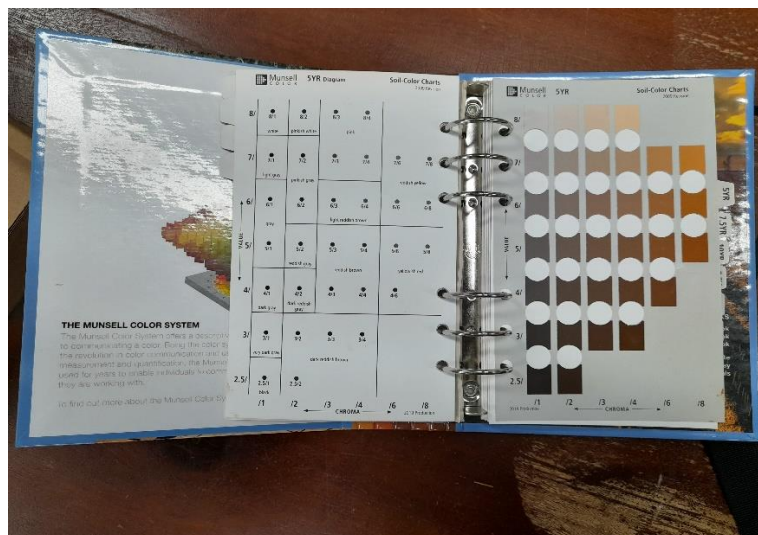


Figura 2: Carta de Munsell utilizada para classificação da cor das madeiras.
Fonte: Autor (2023).

3.4 Propriedade físicas da madeira modificada termicamente

Para determinação das propriedades físicas, das peças modificadas termicamente foram retiradas corpos de prova de dimensões nominais de 2,0 x 3,0 x 5,0 cm (tangencial x radial x longitudinal, respectivamente), conforme padrão estabelecido pela norma NBR 7190 – Projetos de Estruturas da Madeira (ABNT, 1997), livres de defeitos e perfeitamente orientados segundo os planos anatômicos de corte.

3.4.1 Densidade básica

A densidade básica foi calculada pela relação entre a massa das amostras seca em estufa com temperatura regulada em 103 ± 2 °C e o os seus volumes saturados em água destilada. Para o cálculo da densidade básica foi usada a equação 2.

$$Db = \frac{Ms}{V_{sat}} \quad (2)$$

Onde:

Db = Densidade básica (g/cm³);

Ms = Massa da amostra após secagem em estufa (g);

Vsat = Volume da amostra no estado saturado (cm³).

3.4.2 Umidade de equilíbrio higroscópico

A determinação do teor de umidade de equilíbrio é a relação entre o peso da água contida na madeira em condições de equilíbrio com o meio e seu peso em estado completamente seco, expresso em percentagem. Inicialmente as amostras tratadas e não tratadas, foram colocadas em sala climatizada (25 ± 2 °C; 60% UR) por quatro semanas, em seguida pesadas em balança analítica, e colocadas para secar à temperatura de 103 ± 2 °C até massa constante. Os teores de umidade foram obtidos com uso da Equação 3.

$$U = \left(\frac{Mu - Ms}{Ms} \right) \times 100 \quad (3)$$

Onde:

U é o teor de umidade de cada umas amostras, em (%);

Mu é a massa de cada uma das amostras úmidas, em (g);

Ms é a massa em estufa de cada uma das amostras secas em estufa, em (g).

3.4.3 Retratibilidade da madeira

Para o ensaio de instabilidade dimensional os corpos de prova foram imersos em água destilada por um período de 30 dias, aplicando-se vácuo intermitente até completa saturação. Depois de saturados, os corpos de prova de cada espécie tiveram a massa e as dimensões medidas com auxílio de uma balança analítica de precisão e um paquímetro digital, respectivamente. Posteriormente, os corpos de prova foram colocados em estufa a 40 °C, sendo a temperatura aumentada em 10 °C

a cada 24h até atingir $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Após estabilização, as amostras tiveram suas massas e dimensões novamente mensuradas. Assim, foram determinadas a contração linear tangencial e radial (β) e volumétrica (β_v) com o uso das equações 4 e 5 e o coeficiente de anisotropia pela equação 6.

$$\beta = \left(\frac{Dv - Ds}{Dv} \right) \times 100 \quad (4)$$

Em que:

β é o coeficiente de contração linear, em (%);

Dv é a dimensão da amostra saturada em uma dada direção, em (cm);

Ds é a dimensão da amostra seca em estufa em uma dada direção, em (cm).

$$\beta_v = \left(\frac{Vv - Vs}{Dv} \right) \times 100 \quad (5)$$

Em que:

β_v é o coeficiente de contração volumétrico linear, em (%);

Vv é volume da amostra no estado verde ou saturado, em (cm^3);

Vs é o volume da amostra no estado seco em estufa, em (cm^3).

$$A_{\beta} = \frac{\beta_t}{\beta_r} \quad (6)$$

Sendo:

A_{β} = Coeficiente de anisotropia de contração;

β_t = Coeficiente de contração linear tangencial;

β_r = Coeficiente de contração linear radial.

3.4.4 Taxa de absorção de água

Após a imersão em água durante os períodos de 24, 48, 96 h e ao final do ensaio (720 h) as amostras foram pesadas. Após o final do ensaio foram secas em estufa a $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ até peso constante. De posse desses dados avaliou-se a taxa de absorção de água com o uso da equação 7.

$$\text{TA} = \left(\frac{Mu - Ms}{Ms} \right) \times 100 \quad (7)$$

Onde:

TA = Taxa de absorção de água, em (%);

Mu = Massa úmida após a imersão em água, em (g);

Ms = Massa seca após secagem em estufa à $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, em (g).

3.5. Análise e Avaliação dos resultados

Adotou-se neste experimento o Delineamento Experimental Inteiramente Casualizado (DIC), avaliando o efeito das três (03) temperaturas, além das amostras controle (100°C), totalizando quatro (04) tratamentos. Para perda de massa, umidade de equilíbrio, densidade básica e absorção de água os dados foram analisados por meio de estatística descritiva, levando em consideração os valores médios e o desvio padrão. Para os cálculos de reprodutibilidade foi realizada Análise de Variância e quando foram detectadas diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade de erro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Perda de massa da madeira

A modificação térmica aplicada nas espécies causou perda de massa das amostras para as três temperaturas testadas. Conforme demonstrado na Figura 3, de forma geral, as maiores perdas ocorreram para a espécie *Enterolobium schomburgkii* na temperatura de 190°C, enquanto na menor temperatura (150°C) houve uma menor perda de massa. Conforme observado, as espécies *Goupia glabra* e *Caryocar glabrum* apresentaram as menores perdas de massa.

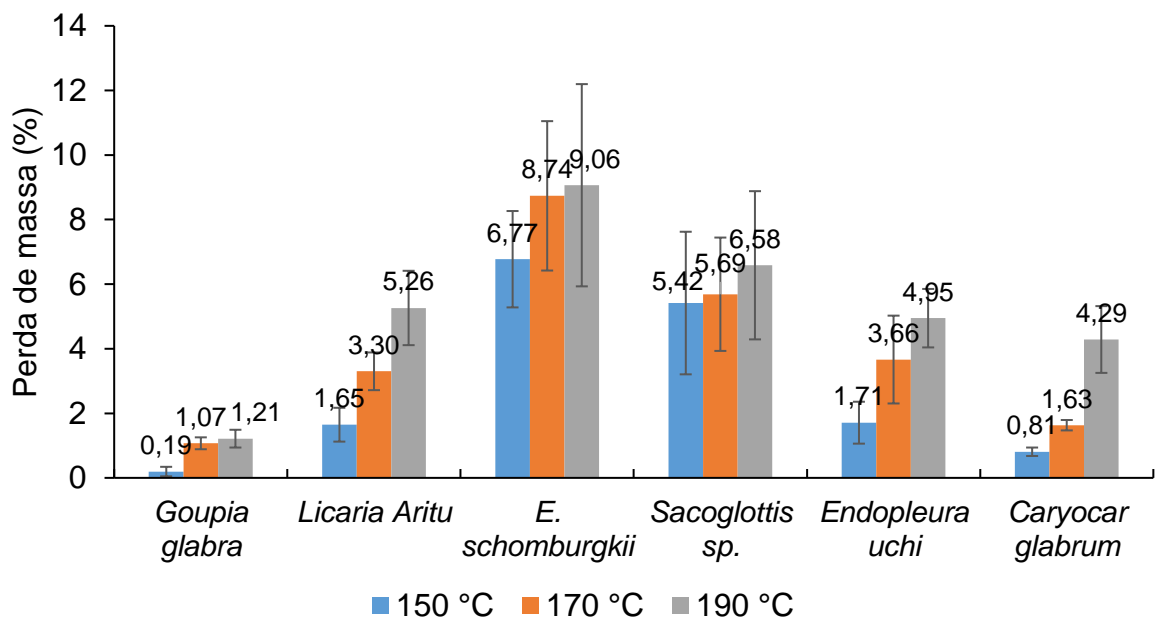


Figura 03 – Valores médios percentuais para as madeiras termicamente tratadas.
Fonte: Autor (2023).

Mendoza, Borges e Morais (2020) encontraram resultados semelhantes a este estudo analisando 16 espécies tropicais de madeiras da Amazônia em temperaturas de 60°C, 80°C, 100°C, 120°C, 140°C, 160°C, 180°C e 200°C em estufa de circulação forçada, por um período de três horas, e demonstraram que a perda de massa permaneceu estável entre 120 e 160 °C, voltando a aumentar entre 180 °C e 200 °C. Todas as espécies estudadas tiveram perda massa de forma gradual à medida que se elevava a temperatura.

Resultados superiores aos obtidos nesta pesquisa, foram relatados por Poubel et al., (2013), quando da avaliação da espécie *Pinus caribaea* modificada em

temperaturas de 200 e 220°C durante 2 horas, onde obtiveram valor médio de 21,03% em relação a perda de massa para a temperatura de 220°C. Para os autores, a perda de massa nas amostras tratadas termicamente ocorre principalmente pela perda de água livre e higroscópica presente nas paredes celulares da madeira e pela perda de substâncias voláteis.

Para a temperatura de 170 °C observou-se o mesmo comportamento descrito anteriormente, ou seja, as madeiras que apresentaram os maiores valores médios de perda de massa foram novamente *E. schomburgkii* (8,74%) seguida da *Sacoglottis sp.* (5,69%), que inclusive foi a segunda espécie também a demonstrar um valor superior de perda de massa para temperatura de 190 °C. A espécie *G. glabra* tratada na temperatura de 190°C apresentou média de perda de massa de 1,21%, resultado inferior ao encontrado por Anjos (2014) quando tratou a mesma espécie em uma temperatura menor, de 180 °C, chegando a um valor de 9,88%. O mesmo autor explica essa diferença nos valores de perda de massa pelos diferentes métodos de tratamento, combinações entre temperatura e tempos, além do tipo de espécie estudada.

Medeiros et al., (2021) citam que quando a madeira é exposta a temperaturas entre 100°C e 250°C a ocorrência de perda de massa é decorrente da degradação de seus constituintes químicos, o que deve ter ocorrido para as espécies nesse estudo, onde a maior temperatura ocasionou maior perda de massa. Diversos autores concordam com essa afirmativa, pois temperaturas mais elevadas tendem a promover maiores perdas de massa, pois ocorre degradação dos seus principais constituintes (hemiceluloses, celulose e lignina), sendo as hemiceluloses as primeiras a sofrerem degradação (BRITO et al., 2006; BATISTA, 2012; POUBEL et al., 2013; CONTE et al., 2014), enquanto os demais elementos químicos constituintes da madeira degradam-se de forma mais lenta.

4.2. Influência do tratamento térmico nos padrões colorimétricos da madeira

Na Figura 4 e Tabela 2 podem ser observadas as mudanças na coloração das espécies estudadas. Notou-se que as amostras de madeira in natura alteraram a cor, conforme aumentava-se a temperatura, sendo as temperaturas de 170 e 190 °C as que propiciaram o maior escurecimento. Poubel et al., (2015) também observaram

essa tendência do escurecimento da madeira de forma gradual à medida que a temperatura ia sendo aumentada, quando avaliaram o efeito da modificação térmica nas propriedades físicas e na alteração de cor da madeira de *Pinus* sp. Estes autores explicam que a alteração da cor é proveniente de reações hidrolíticas, que formam grupos cromóforos, porém há outros fatores envolvidos, como a volatilização e/ ou migração dos extrativos em direção às superfícies da madeira, além dos produtos da degradação das hemiceluloses e lignina. A justificativa dos autores corrobora com os resultados encontrados por Gouveia (2008), que destaca ainda que o cheiro forte que as madeiras exalam durante o tratamento explica a presença dessas substâncias.

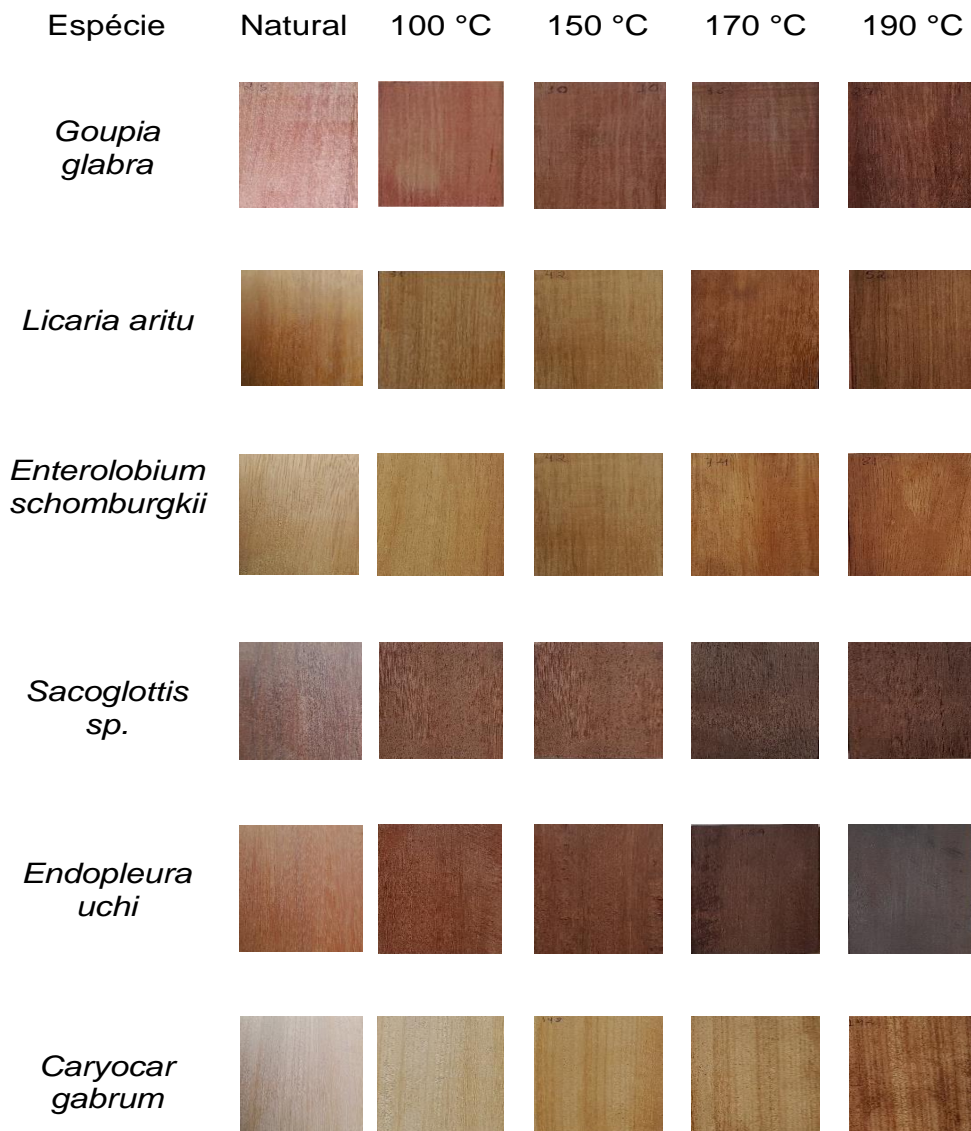


Figura 04: Alterações graduais, conforme a modificação térmica, nas cores de cada espécie de madeira.

Fonte: Autor (2023).

Tabela 2 – Classificação das cores das madeiras pela tabela de Munsell.

Espécie	Tratamento	Matiz	Valor	Croma	Coloração
<i>Goupia glabra</i>	natural	10YR	7	4	Marrom muito claro
	100	10R	6	4	Marrom amarelado claro
Cupiúba	150	10R	5	4	Vermelho fraco
	170	7.5YR	5	4	Vermelho fraco
	190	5YR	4	3	Marrom avermelhado
<i>Licaria aritu</i>	natural	2.5Y	7	6	Amarelo
	100	2.5Y	5	4	Castanho oliva claro
	150	2.5Y	6	6	Amarelo oliva
Louro aritu	170	2.5Y	6	6	Amarelo oliva
	190	2.5Y	4	4	Marrom oliva
<i>Enterolobium schomburgkii</i>	natural	2.5Y	7	6	Amarelo
	100	2.5Y	7	6	Amarelo
	150	10YR	6	8	Amarelo acastanhado
Sucupira amarela	170	2.5Y	6	6	Amarelo oliva
	190	10YR	5	6	Marrom amarelado
<i>Sacoglottis sp.</i>	natural	7.5YR	6	4	Marrom claro
	100	7.5YR	5	3	Marrom
	150	7.7YR	5	2	Marrom
Uxirana	170	7.5YR	5	2	Marrom
	190	7.5YR	3	2	Marrom escuro
<i>Endopleura uchi</i>	natural	5YR	5	6	Vermelhado amarelado
	100	5YR	5	4	Marrom avermelhado
	150	5YR	4	3	Marrom avermelhado
	170	5YR	4	2	Cinza avermelhado escuro
Uxi	190	7.5YR	2.5	2	Marrom muito escuro
	<i>Caryocar glabrum</i>	natural	2.5Y	8	3
100		2.5Y	8	4	Marrom claro
150		2.5Y	8	6	Amarelo
Piquiarana	170	10YR	6	6	Amarelo acastanhado
	190	10YR	5	6	Marrom amarelado

A cor natural da madeira de *Goupia glabra* foi classificada como marrom muito claro, com “Matiz” de 10YR, “Valor” de 7 e 4 para “Croma”. Silva et al. (2017), classificaram a cor da madeira de *G. glabra* em amarelo-amarronzado, resultado semelhante aos encontrados neste trabalho, para a mesma espécie na temperatura de 100 °C, com classificação em marrom amarelado claro, obtendo “Matiz” 10R, 6 para “Valor” e 4 de “Croma”.

Bonfatti Júnior e Lengowski (2018), analisaram as cores de vinte espécies de madeiras brasileiras, dentre elas a madeira de cupiúba. Classificaram esta espécie

como oliva amarelado, resultado aproximado para a madeira de cupíúba na temperatura de 100 °C deste estudo.

Pereira (2022), avaliou o efeito de diferentes temperaturas de tratamento térmico nas colorações das madeiras de *Hymenaea* spp. e *Ficus* sp., e observou que, após secagem em estufa a 100 °C houve redução dos valores de “Matiz”, “Valor” e “Croma”, logo foi notável que as madeiras começaram a escurecer nesta faixa de temperatura, resultado que corrobora com este trabalho.

A cor natural da madeira do *Licaria aritu*, foi classificada como amarelo, com 2.5Y para o valor de “Matiz”, 7 para a escala de “Valor” e de 6 para “Croma”. A mesma classificação recebeu a espécie, *E. schomburgkii* na sua cor inicial. Zaque et al., (2019) avaliaram a madeira das principais espécies comercializadas pelo estado de Mato Grosso, dentre elas a *E. schomburgkii* que foi classificada como amarelo oliva, que se assemelha aos resultados apresentados neste estudo.

A cor original atribuída a madeira de *Sacoglottis* sp., foi Marrom claro, com “Matiz” de 7.5YR, “Valor” de 6 e 4 para “Croma”. *Endopleura uchi*, obteve cor inicial classificada como vermelho amarelado, com “Matiz” de 5YR, com “Valor” de 5 e “Croma” com o valor 6. Conforme a tabela de cores proposta por Camargos e Gonçalves (2001), a espécie *Sacoglottis* sp. pertence ao grupo 21 representado pela cor Marrom claro e *E. uchi* pelo grupo 25 com a cor marrom avermelhado. Estes resultados estão próximos aos encontrados nesse estudo.

A cor inicial da espécie *Caryocar glabrum* foi classificada como marrom claro, com “Matiz” de 2.5Y, escala de “Valor” de 8 e “Croma” 3. Resultado que difere dos estudos de Barros, Muniz e Matos (2014) que classificaram a madeira *C. glabrum* em seu estado natural em dois tipos de cores, seguindo a proposta apresentada por Camargos e Gonçalves (2001), com a tabela de cores obtida no agrupamento de Cluster. As cores foram o cinza-rosado no grupo 16, e rosa acinzentado no grupo 22 ($L^* = 64,67$; $a^* = 7,58$; $b^* = 18,87$; $C = 20,57$ e $h^* = 66,52$). Os autores relatam que a coloração dessa espécie ocorre em decorrência da presença marcante da pigmentação amarela, fator decisivo na formação de sua cor, com nuances de pigmentos avermelhados mais vivos na direção tangencial, sendo confirmada pelo parâmetro C (saturação).

Santos e Silva (2021) afirmam que o tratamento térmico tem se mostrado um processo vantajoso, não só porque melhora com eficiência as propriedades físicas da

madeira, mas também porque aumenta o valor da peça, já que madeiras de coloração mais escura tendem a ser mais valorizadas comercialmente.

As maiores alterações de cores seguindo a tabela de cores de Munsell, foram obtidas no tratamento com temperatura de 190°C, alcançando a classificação de “Marrom escuro e “Marrom muito escuro” nas madeiras de *Sacoglottis* sp. e *E. uchi*, respectivamente, sendo as cores mais escuras classificadas nas amostras tratadas.

A avaliação visual da cor pela escala de Munsell permitiu observar diferenças notáveis de cor, de acordo com os tratamentos realizados. No entanto, é uma interpretação baseada na análise visual e sua avaliação, pode ser afetada por julgamentos subjetivos de cores, o que requer métodos mais precisos para combinar e aplicar uma classificação de cores mais precisa.

4.3. Umidade de equilíbrio higroscópico da madeira

Os teores de umidade de equilíbrio das madeiras tratadas e não tratadas termicamente, são apresentados na Figura 5.

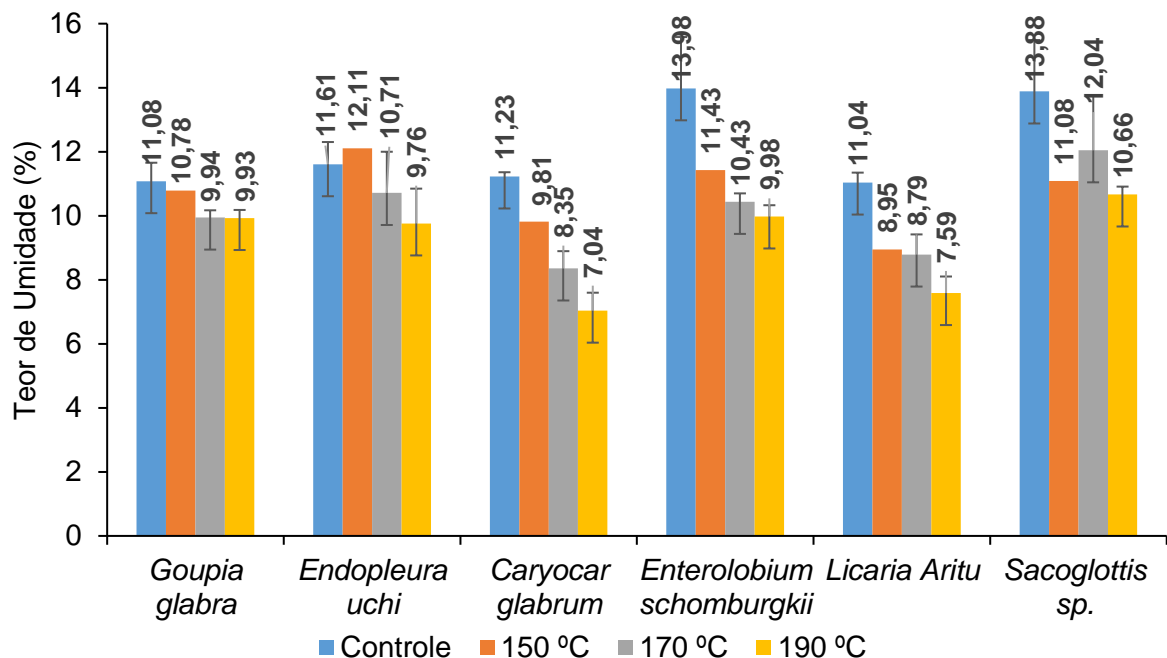


Figura 5: Teor de umidade para as espécies estudadas.
Fonte. Autor (2023).

Foi observado entre os tratamentos uma redução na umidade de equilíbrio para todas as espécies testadas, confirmando que a modificação térmica da madeira, reduz

os grupamentos hidroxílicos, responsáveis pela higroscopicidade da madeira, corroborando com os estudos de Poubel et al., (2015). Os pesquisadores apontam a redução do teor de umidade como consequência das modificações químicas que ocorrem nos principais constituintes da parede celular, principalmente a degradação das hemiceluloses, que são os componentes estruturais mais afetados pela ação da temperatura, resultando na redução das ligações OH e na formação de grupos acetílicos, tornando a madeira menos higroscópica, apresentando menor teor de umidade de equilíbrio e conseqüentemente maior instabilidade dimensional.

Entretanto, o comportamento observado (Figura 5) para a espécie *Endopleura uchi*, ocorreu de forma contrária ao esperado para a temperatura de 150°C. Houve um acréscimo correspondente a 12,11%, em relação ao tratamento controle. Supõe-se que esta espécie contém extrativos que se volatilizaram nessa temperatura, pois sabe-se que os extrativos ocupam locais nos lúmens e espaços celulares, que deveriam estar sendo ocupados com água, então a volatilização destes compostos, por ação da temperatura, deixam os espaços vazios na estrutura interna da madeira permitindo a entrada de umidade do ambiente, o que pode ter causado esse aumento.

Conforme o esperado as amostras tratadas a 190°C apresentaram maiores reduções, sendo que a espécie *Caryocar glabrum* foi a que perdeu mais umidade, enquanto os testes realizados a temperatura 150°C evidenciaram as menores reduções, na qual a espécie *Enterolobium schomburgkii* perdeu menos umidade. Huller et al. (2017) trataram termicamente a madeira de *Eucalyptus cloeziana* aplicando temperaturas finais de 160 e 210°C durante 1 hora em estufa elétrica com circulação de ar, e verificaram o mesmo comportamento observado no presente trabalho, ou seja, o tratamento de maior temperatura (210°C) causou a maior redução na umidade de equilíbrio e a menor redução foi obtida com a temperatura de 160 °C. Logo os autores associaram essa diminuição, possivelmente à perda de sítios de adsorção e à degradação parcial das hemiceluloses.

As médias das amostras tratadas variaram entre 7,04% e 12,11%, possivelmente isso ocorre devido a vários fatores, como: espécies distintas, variações em sua composição física, química e anatômica. Esses fatores citados associados a um estresse podem apresentar comportamentos diferentes, isso é evidenciado quando ocorre o aumento da temperatura, algumas espécies perderam mais umidade em relação as outras.

Nos estudos conduzido por Batista, Tomaselli e Klitzke (2011) sobre efeito do tempo e da temperatura na redução da higroscopicidade da madeira de *Eucalyptus grandis* submetida à condição de 12% de umidade de equilíbrio, foi constatado que os tempos de processamento utilizados (1, 2 e 3 horas) não foram significativos, indicando que a temperatura aplicada à madeira foi o principal fator redutor da higroscopicidade.

Anjos e Sousa (2015) trataram a madeira de *Goupia glabra* em estufa com ventilação forçada a 140, 160 e 180°C durante 3 horas. Os autores relatam que após o tratamento térmico as amostras se tornaram menos higroscópicas, atingindo umidade de equilíbrio menor do que amostras sem tratamento, principalmente aquelas que foram aquecidas a 180°C, por conta da maior perda de componentes hidrófilos da estrutura da madeira.

A observação dos autores corrobora com os dados analisados nesta pesquisa para temperatura de 190 °C. Entretanto, de acordo Lengowski (2011) a diminuição da umidade provavelmente deve-se à menor quantidade de água adsorvida pelas paredes das células em consequência das modificações que ocorrem nos componentes químicos da madeira, com a diminuição de grupos hidroxílicos, além da diminuição da acessibilidade devido ao aumento da cristalinidade da celulose e aumento das ligações cruzadas na lignina. Segundo Menezes et al. (2014), a redução do teor de umidade e a perda de massa levam ao aumento da instabilidade dimensional da madeira, o que é uma característica positiva para o uso.

4.4. Densidade básica da madeira

Na Tabela 3, encontram-se os valores médios e desvios padrões para a densidade básica das seis espécies modificadas termicamente. Observou-se que as densidades das madeiras tratadas não tiveram muitas variações em comparação com o controle, a temperatura mais elevada promoveu maior redução, porém para espécie *Goupia glabra* houve um aumento e as temperaturas 150 °C e 170 °C também foi percebido esse aumento nas densidades das espécies, exceto para espécie *Sacoglottis* sp. que até o final do tratamento apresentou valores abaixo do tratamento controle. O aumento da densidade básica não era esperado, pois, durante o tratamento térmico a tendência é que a madeira perca massa, que vai afetar diretamente a sua densidade, conforme está relatado na literatura.

Tabela 3. Valores médios de densidade básica para as seis espécies tratadas e não tratadas termicamente.

Tratamento	Densidade Básica (g.cm ³)					
	Espécies					
	<i>Goupia glabra</i>	<i>Licaria Aritu</i>	<i>Enterolobium schomburgkii</i>	<i>Sacoglottis sp.</i>	<i>Endopleura uchi</i>	<i>Caryocar glabrum</i>
Controle	0,716 (0,007)	0,782 (0,012)	0,610 (0,011)	0,777 (0,014)	0,758 (0,029)	0,636 (0,014)
150 °C	0,728 (0,013)	0,774 (0,012)	0,614 (0,012)	0,772 (0,016)	0,773 (0,037)	0,643 (0,016)
170 °C	0,710 (0,008)	0,783 (0,016)	0,595 (0,012)	0,753 (0,014)	0,777 (0,027)	0,641 (0,014)
190 °C	0,720 (0,014)	0,772 (0,018)	0,604 (0,017)	0,772 (0,012)	0,749 (0,016)	0,634 (0,012)

Valores entre parêntesis representam o desvio-padrão.

Segundo Anjos (2014) e Batista (2012) a diminuição da densidade pode estar associada a uma maior perda de massa e variação do volume das amostras e também à degradação dos componentes químicos da madeira, principalmente as hemiceluloses, quando aplicado o tratamento térmico. Além disso, enfatizam que outros fatores são capazes de influenciar na densidade da madeira, como a própria espécie, a umidade, estrutura celular, idade, presença de extrativos e composição química, podem explicar a diminuição e o aumento da densidade básica das espécies obtidas neste trabalho.

Em relação as madeiras que apresentaram aumento na densidade com aplicação do tratamento, Brito et al., (2006) também observaram tendência de aumento de valores em relação às madeiras não tratadas, quando verificaram a densidade da madeira *Eucalyptus grandis* após a modificação térmica. Os autores explicam que conforme as fases da pirólise, apesar da elevação do calor, tal aumento não teria sido suficiente para provocar uma perda de massa proporcional a diminuição no volume das madeiras. Ferreira et al. (2019) trataram termicamente a espécie amazônica *Hymenolobium petraeum* (angelim pedra) utilizando as temperaturas de 180°C e 200°C com tempos de exposição variando de 2 a 4 horas em estufa com circulação forçada de ar e da mesma forma os resultados indicaram um aumento na densidade básica da madeira tratada, mesmo apresentado perda de massa nas duas temperaturas.

4.5. Absorção de água

Os resultados da taxa de absorção de água, obtidas após imersão para as amostras modificada termicamente e para amostra controle, são apresentados na tabela 4.

Tabela 4. Valores médios de absorção de água para as seis espécies.

Absorção de água					
Espécie	Temperatura	24h	48h	96h	720h
<i>Goupia glabra</i>	Controle	21,05 (1,19)	26,12 (1,29)	32,37 (1,35)	63,45 (1,09)
	150 °C	22,30 (2,13)	27,91 7(2,45)	34,30 (2,65)	63,24 (2,07)
	170 °C	19,96 (1,79)	25,35 (2,14)	31,49 (2,51)	64,99 (1,81)
	190 °C	18,40 (1,73)	23,68 (2,03)	29,56 (2,19)	62,40 (1,32)
<i>Licaria aritu</i>	Controle	13,66 (0,77)	16,49 (1,09)	19,74 (1,55)	32,74 (2,44)
	150 °C	12,25 (2,39)	16,42 (3,42)	20,82 (4,37)	34,62 (4,66)
	170 °C	12,05 (1,08)	15,93 (2,01)	20,09 (2,83)	34,75 (3,78)
	190 °C	15,47 (2,79)	20,39 (3,91)	25,97 (5,26)	40,92 (5,36)
<i>Enterolobium schomburgkii</i>	Controle	35,42 (1,38)	42,56 (1,25)	49,18 (1,29)	76,84 (3,07)
	150 °C	33,41 (2,09)	45,677 (2,42)	53,20 (3,29)	77,21 (2,76)
	170 °C	32,24 (3,78)	44,61 (4,17)	53,60 (2,74)	79,40 (2,87)
	190 °C	29,11 (2,24)	41,76 (1,97)	51,53 (0,83)	75,08 1,61)
<i>Sacoglottis sp.</i>	Controle	20,24 (1,02)	23,73 (0,95)	27,73 (1,58)	50,27 (2,26)
	150 °C	14,89 (1,19)	19,35 (1,48)	24,77 (1,72)	50,43 (2,28)
	170 °C	14,95 (1,37)	19,60 (1,81)	25,25 (1,86)	53,10 (2,92)
	190 °C	13,14 (1,63)	17,82 (1,90)	23,26 (2,18)	50,16 (3,02)
<i>Endopleura uchi</i>	Controle	37,21 (9,20)	38,05 (10,57)	39,46 (8,18)	53,89 (8,36)
	150 °C	30,04 (14,29)	33,20 (13,68)	34,94 (11,00)	49,23 (10,26)
	170 °C	33,94 (11,15)	36,36 (10,35)	37,43 (8,17)	50,28 (7,57)
	190 °C	39,90 (8,41)	41,74 (7,45)	41,25 (5,59)	54,17 (4,23)
<i>Caryocar glabrum</i>	Controle	22,85 (1,76)	30,39 (2,47)	39,36 (2,58)	67,64 (5,36)
	150 °C	20,41 (2,42)	27,64 (3,25)	36,14 (4,36)	64,71 (7,21)
	170 °C	19,12 (1,44)	26,19 (1,49)	35,03 (1,33)	68,91 (2,68)
	190 °C	19,04 (1,09)	26,43 (1,55)	34,68 (1,48)	61,29 (2,88)

Valores entre parêntesis representam o desvio-padrão.

Observando os valores médios de absorção de água, de maneira geral o tratamento controle apresentou maior taxa de absorção de água nas primeiras 24

horas e começou a ter uma variação após as 48 horas entre as espécies. Isso porque nas primeiras horas as madeiras tratadas começam absorver mais lentamente a água.

No entanto, a partir das 96 horas de imersão das amostras observou-se uma redução mais acentuada na absorção de água para as espécies *Sacoglottis* sp. e *Caryocar glabrum*, principalmente na temperatura de 190 °C. Porém, efeito contrário aconteceu para a espécie *Licaria aritu* que desde das primeiras 24 horas apresentou um aumento de absorção de água, permanecendo até o final do ensaio, além de ser observado esse aumento nas temperaturas 150 e 170 °C para as outras espécies. Nas 720 horas, a espécie que apresentou maior redução da taxa de absorção de água foi a *C. glabrum*. De acordo com Juizo et al., (2018) essa redução na taxa de absorção de água confere a madeira melhor estabilidade dimensional.

De acordo com Cademartori (2012) o tratamento térmico provoca a redução da taxa de absorção de água e com isso a parede celular da madeira absorve menos água devido à degradação dos grupos OH (sítios de sorção) presentes na estrutura do material, principalmente as hemiceluloses, as quais são os componentes mais susceptíveis a degradação térmica. Essa degradação é irreversível, resultando na diminuição da umidade de equilíbrio e no aumento da instabilidade dimensional.

Em contrapartida, a diferença existente entre as amostras que receberam tratamento nesta pesquisa, pode ser explicada pelo aparecimento de rachaduras, além de fissuras internas proporcionadas pelas elevadas temperaturas, por esse motivo percebe-se um aumento na taxa de absorção de água entre as espécies. Outra explicação plausível para esse aumento é que, provavelmente não houve carreamento de extrativos para a parte superficial da madeira, pois se houvesse a migração desses compostos formariam uma barreira para impedir a entrada de água na madeira.

Anjos (2014) em seu trabalho aplicou temperaturas de 140, 160 e 180°C por 1h e 30min e 3h nas espécies *Manilkara huberi*, *Peltogyne recifencis* e *Goupia glabra*, e verificou uma redução na taxa de absorção de água. Para o autor essa diminuição na taxa de absorção de água pode está relacionada ao fato de algumas espécies sofrerem alterações mais consideráveis em sua estrutura quando submetidas a temperaturas mais altas, diminuindo a quantidade de ligações OH responsáveis pela absorção de água, o que pode ter ocorrido para espécies *Sacoglottis* sp., *Caryocar glabrum* e *Goupia glabra* neste estudo.

4.5. Retratabilidade da madeira

Na tabela 5, tem-se os resultados de retração com suas respectivas direções: tangencial, radial, contração volumétrica e fator anisotrópico após os tratamentos térmicos.

Tabela 5. Valores médios das contrações tangencial, radial e volumétrica das madeiras tratadas termicamente.

Espécie	Tratamento	CT (%)	CR (%)	CV (%)	FA	
<i>Goupia glabra</i>	Controle	8,33a (0,76)	4,59ab (0,27)	12,72a (0,75)	1,81a (0,14)	
	150 °C	7,23a (1,03)	4,49b (0,34)	11,52a (1,20)	1,61a (0,25)	
	Cupiúba	170 °C	8,08a (1,28)	4,78ab (0,18)	12,64a (1,25)	1,70a (0,29)
	190 °C	8,12a (0,75)	4,93a (0,29)	12,69a (0,91)	1,65a (0,14)	
<i>Licaria aritu</i>	Controle	9,62a (0,47)	6,48a (0,18)	15,60a (0,49)	1,49a (0,09)	
	150 °C	9,01ab (1,05)	6,34a (0,27)	15,03a (0,99)	1,42ab (0,18)	
	Louro aritu	170 °C	8,26bc (0,47)	6,64a (0,52)	14,51a (0,64)	1,25bc (0,11)
	190 °C	7,27c (0,95)	5,71b (0,42)	12,69b (1,30)	1,27c (0,11)	
<i>Enterolobium schomburgkii</i>	Controle	8,75a (0,61)	3,94a (0,11)	12,60ab (0,56)	2,23a (0,17)	
	150 °C	8,57a (0,71)	4,11a (0,33)	12,44b (0,82)	2,10a (0,23)	
	Sucupira amarela	170 °C	9,19a (0,94)	4,40a (0,46)	13,52a (0,78)	2,12a (0,40)
	190 °C	8,43a (0,63)	3,92a (0,38)	12,17b (0,88)	2,16a (0,17)	
<i>Sacoglottis sp.</i>	Controle	9,08b (0,67)	6,43b (0,22)	15,15b (0,70)	1,41a (0,11)	
	150 °C	9,17ab (0,65)	6,93ab (0,45)	15,61ab (0,39)	1,33a (0,16)	
	170 °C	10,21a (1,00)	6,99a (0,31)	16,68a (1,06)	1,46a (0,14)	
	Uxirana	190 °C	9,47ab (0,75)	6,42b (0,46)	15,61ab (0,89)	1,48a (0,16)
<i>Endopleura uchi</i>	Controle	9,03a (0,61)	5,54a (0,29)	14,29a (0,51)	1,64a (0,14)	
	150 °C	9,09a (0,98)	5,53a (0,42)	14,18a (1,36)	1,64a (0,13)	
	170 °C	9,22a (0,69)	5,55a (0,33)	14,38a (0,81)	1,66a (0,13)	
	Uxi	190 °C	8,88a (0,80)	5,52a (0,48)	14,03a (1,18)	1,61a (0,11)
<i>Caryocar glabrum</i>	Controle	6,70a (0,46)	2,39a (0,36)	9,39a (0,67)	2,84a (0,31)	
	150 °C	6,90a (0,74)	2,42a (0,29)	9,51a (0,78)	2,89a (0,43)	
	170 °C	6,74a (0,65)	2,78a (0,31)	9,59a (0,78)	2,45ab (0,33)	
	Piquiarana	190 °C	4,42b (0,72)	1,94b (0,20)	6,54b (0,70)	2,30b (0,36)

CT: Contração tangencial. CR: Contração radial. CV: Contração volumétrica. FA: Fator anisotrópico. Números entre parênteses referem-se ao desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Foi observado que para as espécies estudadas, a retratibilidade tangencial foi maior que a radial, comportamento já esperado e que corrobora com relatos disponíveis na literatura.

Para a madeira de *Goupia glabra* a contração tangencial e radial sem tratamento térmico foi de 8,33% e 4,59%, respectivamente, semelhantes aos resultados obtidos por Lima et. al., (2020) que encontraram valores de 8,02% e 4,8%. Foi observado que as contrações tangencial, radial e volumétrica dessa espécie obtiveram uma redução com o tratamento térmico na temperatura de 150 °C, não sendo uma redução significativa quando comparada ao tratamento controle. Quando se analisa as demais temperaturas observa-se um aumento numérico dessas variáveis, no entanto esse aumento não é significativo em relação ao controle. O fator anisotrópico também apresentou uma redução na temperatura de 150 °C, sendo o menor valor (1,61) observado para as temperaturas testadas, contudo, não houve diferença significativa dessa variável entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5%.

Diante dos resultados expostos na tabela 5, verifica-se que o tratamento térmico melhorou a instabilidade dimensional da madeira, mesmo não tendo valores significativos dos tratamentos em relação madeira original, pois houve redução das variáveis em comparação com o controle, com exceção da contração radial nas temperaturas de 170 e 190 °C, não sendo significativo.

Para a espécie *Licaria aritu* foram obtidos valores médios de 9,62% e 6,48% para as retrações tangencial e radial, respectivamente, na madeira não tratada, sendo as maiores médias para essas variáveis. Observou-se uma redução nas contrações tangencial, radial e volumétrica com o aumento da temperatura, sendo que a temperatura de 190 °C demonstrou os menores valores de contração que foi menor em relação ao tratamento controle. Para o fator anisotrópico, o menor valor foi observado na temperatura de 170 °C, seguido da temperatura de 190 °C, o fator anisotrópico observado nessas temperaturas foi estatisticamente menor quando comparado ao tratamento controle.

Menezes et al. (2014) avaliaram o efeito do tratamento térmico no inchamento total e coeficiente anisotrópico da madeira de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus saligna*, tratadas em estufa nas temperaturas de 140, 160 e 180 °C por 2,5 horas. Observaram que, o tratamento térmico foi eficaz na redução do inchamento total e fator anisotrópico das duas espécies, sendo que os valores mais significativos foram

obtidos nas maiores temperaturas, como observado para as madeiras de *Licaria aritu* e *Caryocar glabrum* nesse estudo.

Para a espécie *Enterolobium schomburgkii* não houve diferença significativa entre os tratamentos para as contrações tangencial e radial. Em relação a retração volumétrica foi observado que não houve diferença significativa dos tratamentos térmicos em relação ao tratamento controle, mas entre os tratamentos térmicos foi observado que a contração volumétrica a 170 °C foi maior em relação aos demais tratamentos. Para o fator anisotrópico não houve diferença significativa entre os valores analisados, porém observa-se uma redução numérica dos tratamentos em comparação ao tratamento controle.

A madeira de *Sacoglottis* sp. tratada com temperatura de 170 °C, apresentou as maiores médias para as contrações tangencial, radial e volumétrica. Essa temperatura estimulou o aumento dessas contrações na madeira, sendo significativamente superior ao tratamento controle. Para o coeficiente de anisotropia, foi observado que houve uma redução deste em comparação ao tratamento controle na temperatura de 150 °C, reduzindo de 1,41 para 1,33, no entanto essa redução não foi significativa. Nas temperaturas de 170 e 190 °C, houve um aumento dessa variável, que não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos. De acordo com a classificação de Durlo e Marchiori (1992), essa madeira é classificada como excelente para trabalhabilidade, além da espécie *Licaria aritu* que neste estudo apresentou coeficiente anisotrópico de 1,49 considerando o tratamento controle.

Para a espécie *Endopleura uchi* foi observado que os tratamentos térmicos não tiveram efeito para as variáveis analisadas neste estudo, não havendo diferenças significativas entre os tratamentos testados, isso pode estar associado às características da espécie, que possui densidade de 0,93 g/cm³ (MACHADO, 2015) considerada alta. Essa característica pode fazer com que suas propriedades não sejam alteradas completamente. No entanto, para a temperatura de 190 °C, foi observada uma redução numérica das variáveis analisadas, portanto é possível que em temperaturas mais elevadas os valores sejam mais expressivos. Araújo (2010) diz que quando os valores encontrados para as madeiras modificadas termicamente não forem significativos, mas forem inferiores ao controle, comprova que o efeito do tratamento térmico é benéfico para aumentar a estabilidade dimensional devido a redução da higroscopicidade, provocada pela degradação das hemiceluloses e outras modificações ocorridas na estrutura da madeira.

A madeira da espécie *Caryocar glabrum* na temperatura de 190 °C apresentou uma redução significativa para todas as variáveis testadas neste estudo em comparação com o tratamento controle, sendo esta a melhor temperatura para redução dos valores de contração tangencial, radial e volumétrica, além da redução do fator anisotrópico. O valor médio da retração volumétrica foi de 6,54, indicando que o tratamento térmico é eficiente, pois segundo Araújo (2010) quanto menor for a contração volumétrica, melhor é a madeira, uma vez que não vai haver maiores variações dimensionais.

Portanto, observa-se que essa espécie sofre pouca modificação em sua estrutura até a temperatura de 170 °C, porém quando essa temperatura é aumentada para 190°C, a madeira sofreu mudanças significativas, o que demonstra que o tratamento térmico aumentou sua instabilidade dimensional. Estes resultados corroboram com estudos de Huller et al., (2017) que ao avaliarem o efeito do tratamento térmico nas espécies de *Eucalyptus cloeziana* aplicando temperaturas de 160 °C e 210 °C, constataram que a maior temperatura utilizada teve influência significativa na melhoria da instabilidade dimensional da espécie.

Resultados semelhantes a este estudo foram encontrados por Santos e Silva (2021), considerando o fator anisotrópico para a espécie de *Pinus caribea* var. *hondurensis* em que mesmo não apresentando diferença significativa entre os tratamentos avaliados, os resultados demonstram que a modificação térmica propiciou uma melhora nessa propriedade física.

5. CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos neste trabalho, notou-se que para análise colorimétrica realizada através do sistema Munsell, todas as madeiras tratadas escureceram conforme o aumento da temperatura, sendo o tratamento a 190 °C que promoveu os maiores efeitos na coloração das espécies.

Foi verificado que o maior índice de perda de massa ocorreu para todas as espécies, quando foi aplicado a temperatura de 190 °C, sendo que a espécie *Enterolobium schomburgkii* apresentou maior valor de perda de massa.

Em relação a umidade de equilíbrio os tratamentos realizados a 190°C apresentaram maiores reduções, sendo a espécie *Caryocar glabrum* a que se destacou pela redução da umidade de equilíbrio, enquanto os testes a 150°C obtiveram as menores reduções. Com essa redução da higroscopicidade a instabilidade dimensional foi melhorada.

Para a densidade básica houve maior redução em todas espécies na temperatura 190 °C, com exceção da espécie *Goupia glabra* que a densidade aumentou e para os tratamentos de temperatura 150 °C e 170 °C também foi observado esse acréscimo, exceto para a espécie *Sacoglottis* sp. que até o final do tratamento apresentou redução em comparação com o tratamento controle.

Em relação a absorção de água, de forma geral, ocorreu uma ligeira redução para todas as espécies durante as primeiras 24 horas, com exceção da *L. aritu* que aumentou os valores até o fim do teste. Após a finalização do processo de saturação apenas a espécie *C. glabrum* reduziu a taxa de absorção de água.

A modificação térmica foi eficiente para aumentar a instabilidade dimensional das espécies, sendo que a temperatura de 190 °C proporcionou melhores resultados, principalmente para a espécie *Caryocar glabrum*.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, F. P. dos; SOUSA, A. M. L. de. Umidade de equilíbrio em madeira termorretrificada de cupiúba da região amazônica. **Biota Amazônia**, Macapá, v. 5, n. 1, p. 99-104, 2015.

ANJOS, F. P. dos. **Efeitos da termorretrificação nas propriedades físicas de três espécies madeireiras da Amazônia**. 2014. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2014.

ARAÚJO, S. de O. **Propriedades de madeiras termorretrificadas**. 2010. 77f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

ARAÚJO, S. O. et al. Propriedades de madeiras termorretrificadas de *Eucalyptus grandis* e SP. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 95, p. 327-336, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7190/1997: Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

BARROS, S. V. dos S.; DE MUNIZ, G. I. B.; DE MATOS, J. L. M. Caracterização colorimétrica das madeiras de três espécies florestais da Amazônia. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 337–342, 2014.

BATISTA, D.C. **Modificação térmica da madeira de *Eucalyptus grandis* em escala industrial pelo processo brasileiro VAP HolzSysteme®**. 2012. 339f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BATISTA, D.C. Retificação, termorretrificação, tratamento térmico, tratamento com calor ou modificação térmica?. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 463-480, jan./mar., 2019.

BATISTA, D.C.; TOMASELLI, I. KLITZKE, R.J. Efeito do tempo e da temperatura de modificação térmica na redução do inchamento máximo da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 533-540, jul.-set., 2011.

BELLON, K. R. R. **Modificação térmica de três espécies de florestas plantadas pelo processo VAP HolzSysteme®**. 2013. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

BONFATTI JÚNIOR, E. A.; LENGOWSKI, E. C. Colorimetria aplicada à ciência e tecnologia da madeira. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, p. 1–13, 2018.

BORGES, L. M.; QUIRINO, W. F. Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribaea* var *hondurensis* tratado termicamente. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v. 1, n. 2, p. 173-182, abr./jun. 2004.

BRANDÃO, Juliana Barbosa. **Estudo das propriedades físicas e mecânicas de três espécies florestais**. Manaus: UFAM, 2010. Dissertação (Ciências Florestais e Ambientais). Manaus: Universidade Federal do Amazonas, 2010.

BRITO, J.O. et al. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, submetida a diferentes temperaturas de termorretificação. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 182-188, abr./jun., 2006.

BROCCO, V. F. **Potencialidades dos extrativos do cerne da madeira de teca como preservativo natural e sua influência na cor de madeiras claras**. 2014. 86f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2014.

CADEMARTORI, P. H. G. de. **Propriedades tecnológicas da madeira termorretificada de três espécies de Eucalyptus**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

CALEGARI, L. et al. Normalização técnica para determinação das propriedades físicas e mecânicas de madeiras. **Ciência da Madeira** (Braz. J. Wood Sci.), Pelotas/RS, v. 04, n. 02, nov., 2013.

CAMARGOS, J. A.; GONÇALEZ, J. C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Florestal**, Brasília, DF, n. 71, set. 2001.

CARVALHO, D. E. et al. Effect of thermal modification in the natural resistance of *Eucalyptus grandis* and *Pinus taeda* woods. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 1, 2019.

CARVALHO, F. A; HOLANDA , A S. S. de. Flora das cangas da Serra dos Carajás, Pará, Brasil: Humiriaceae. **Rodriguésia**, v. 69, n. 3, pag. 1143-1145, jul. 2018.

CHAVES, Junior Andrade. **Estudo químico e atividade antifúngica em resíduos madeireiros de *Licaria aritu* Ducke**. 2020. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2020.

CONTE, B. et al. Propriedades físicas e colorimétricas da madeira termorretrificada de *Pinus elliottii* var. *elliottii*. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 42, n. 104, p. 555-563, dez. 2014.

CORRÊA, Raimundo Guilherme Campos. **Neolignanas da *Licaria aritu***. 1975. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ, 1975.

DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 102-113, jun. 2004.

FERREIRA, M. D. et al. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de angelim-pedra submetida a tratamento térmico. **Tecnologia em Metalurgia Materiais e Mineração**, v. 16, n. 1, p. 3–7, 2019.

FRANÇA, G. da S. et al. Paraâmetros colorimétricos sistema CIELab para madeiras de florestais naturais. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer – Goiania, v.16 n. 30; p. 435, 2019.

FREITAS, D. L. et al. Estabilidade dimensional da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, n. 4, p. 435–439, 2016.

GALLIO, E. et al. Influência dos tratamentos de termorretrificação e furfuração em propriedades tecnológicas de uma conífera. **Revista Materia**, v. 24, n. 3, 2019.

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

GALVÃO, A. Paulo M. Estimativas da umidade de equilíbrio da madeira em diferentes cidades do Brasil. **IPEF**, v. 11, pág. 53-65, 1975.

GLASS, S. V.; ZELINKA, S. L. **Moisture Relations and Physical Properties of wood. Structure and Function of Wood**. Wood Handbook – Wood as an Engineering Material, cap. 4, p.1-19, 2010.

GOUVEIA, F. N. **Aplicação de tratamentos térmicos para estabilização colorimétrica de madeiras tropicais**. 2008. 130 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

GUMA, R. L. **Propriedades tecnológicas da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium* Poeppig & Endlicher**. 2013. 62f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais e Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2013.

HIRAI, E. H.; CARVALHO, J. O. P. de; PINHEIRO, K. A. O. Comportamento populacional de cupiúba (*Goupia glabra* aubl.) em floresta de terra firme na fazenda rio capim, Paragominas (PA). **Revista de Ciências Agrárias**, n. 47, p. 89-101, 2007.

HULLER, L.A.S et al. Modificação térmica e propriedades tecnológicas da madeira de *Eucalyptus cloeziana*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 37, n. 90, p. 183-188, abr./jun. 2017.

JUIZO, C. G. F. et al. Propriedades tecnológicas da madeira de eucalipto submetida ao tratamento térmico. **Nativa**, Sinop, v.6, n. 5, p. 537-542, set./out. 2018.

LENGOWSKI, E. C. **Efeito da termorreificação nas propriedades anatômicas, físico-mecânicas e químicas das madeiras de *Pinus taeda*, *Eucalyptus grandis* e *Tectona grandis***. 103 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

LIMA, R. N. et al. Avaliação das propriedades físicas de três espécies florestais amazônicas. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 1673-1678, 2020.

LOBATO, C. C. S. et al. Densidade básica e estabilidade dimensional de madeiras tropicais modificadas por tratamentos térmicos. **Nativa**, Sinop, v. 8, n. 5, p. 708-714, set./out. 2020.

LOPES, J. de O. **Caracterização físico-química e molhabilidade da superfície da madeira jovem de teca modificada termicamente**. 2018. 127f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2018.

LOPES, J. de O. et al. Uniformização da cor da madeira jovem de teca pela termorreificação. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.38, n.3, p.561-568, 2014.

LORENZI, Harri. **Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. 3. ed. v. 2. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2009.

MACHADO, Patrícia da Silva. **Caracterização do Uxi (*Endopleura uchi*) em Três Estádios de Desenvolvimento**. Lavras: UFLA, 2015. Dissertação (mestrado acadêmico) – Universidade Federal de Lavras, 2015.

MARQUES, C. A. Importância econômica da família Lauraceae Linal. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 195-206, jan./dez. 2001.

MATOS, E. H. S. F. **Cultivo do Pequi e Extração do Óleo**. Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Universidade de Brasília – CDT/UnB. Dossiê Técnico. Abril 2007.

MEDEIROS, D. T. de et al . Alterações físico-mecânicas na madeira de cambará (*Qualea paraensis*) termorreificada. **Madera y bosques**, Xalapa , v. 27, n. 2, e2722176, 2021 .

MELO, R. R. et al. Variação Radial e Longitudinal da Densidade Básica da Madeira de *Pinus elliotii* Engelm. com Diferentes Idades. **Revista Ciência da Madeira - RCM**, v. 4, n. 1, p. 93–92, 2013.

MENDOZA, Z. M. dos S. H de; BORGES P. H. de M.; MORAIS, P. H. de M. Tratamento térmico em madeiras tropicais. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.17 n.32; p. 388, 2020.

MENEZES, A. J. E. A.; HOMMA, A. K. O. **Recomendações para o plantio do uxizeiro**. Belém: EMBRAPA, 2012. 5 p. (Comunicado Técnico, 233).

MENEZES, W.M. et al. Modificação térmica nas propriedades físicas da madeira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.6, p.1019-1024, jun., 2014.

MORAES, P.L.R. Flora das cangas da Serra dos Carajás, Pará, Brasil: Lauraceae. **Rodriguésia**, v. 69, n. 1, p. 081-117, 2018.

MORESCHI, J.C. 2010. **Propriedades tecnológicas da madeira**. Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, 3. Edição - Fevereiro, 2010.

MOURA, L. F. de.; BRITO, J. O. Efeito da termorreificação sobre as propriedades colorimétricas das madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* var. hondurensis. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 89, p. 69–76, 2011.

MOURA, L. F. de.; BRITO, J. O.; BORTOLETTO JÚNIOR, G. Efeitos da termorreificação na perda de massa e propriedades mecânicas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* var. hondurensis. **Floresta**, v. 42, n. 2, p. 305, 2012.

MÜLLER, B. V. et al. Avaliação das principais propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. **Floresta e Ambiente**, v.21, p.535-542, 2014.

MUÑIZ, G. I. B. DE et al. Comparative anatomy of wood and charcoal of *Cedrelinga catenaeformis* Ducke and *Enterolobium schomburgkii* Benth. for identification purposes. **Scientia Forestalis**, v.40, n.94, p. 291–297, jun. 2012

MUNIZ, M. P. **Estudo fitoquímico e da atividade biológica de *Endopleura uchi* Huber Cuatrecasas**. Manaus: UFAM, 2013. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2013.

MUNSELL COLOR. Munsell Soil color charts. Baltimore: Koelmorgen, 2000.

OLIVEIRA, C. A. B. et al. Influence of commercial thermal treatment on *Eucalyptus grandis* hill ex maiden wood properties. **Revista Arvore**, v. 45, p. 1–11, 2021.

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

PAULA, M.H. de. et al. Effect of heat treatment on physical, mechanical and chemical properties of angelim wood. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 25, 2023.

PAULA, M.H. de. **Propriedades tecnológicas de madeiras submetidas a tratamentos térmicos para estabilização dimensional**. 2021. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília-DF, 2021.

PEREIRA, K. da S. **Efeito da tratamento térmico na cor das madeiras de *Hymenaea spp.* e *Ficus sp.*** 2022. Monografia (Graduação Engenharia Florestal) - Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara, Universidade do Estado do Amazonas, Itacoatiara – AM, 2022.

POUBEL, D. da S. et al. Efeito termorretificação nas propriedades físicas e químicas da madeira de *Pinus caribaea*. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 391-398, jul./set. 2013.

POUBEL, D. da S. et al. Análises físicas e colorimétricas da madeira de *Pinus sp.* modificada termicamente. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 43, n. 107, p. 511-521, set. 2015.

RAMOS, M. B. P; FERRAZ, I. D. K. Estudos morfológicos de frutos, sementes e plântulas de *Enterolobium schomburgkii* Benth. (Leguminosae-Mimosoideae). **Revista Brasil. Bot.**, v.31, n.2, p.227-235, abr.-jun. 2008.

REZENDE, M. A.; ESCOBEDO, J. F.; FERRAZ, E. S. B. Retratibilidade volumétrica e desensidade aparente da madeira em função da umidade. **IPFE**, Piracicaba, n. 39, p. 33–40, ago. 1988.

RONSONI, T. **Influência do tratamento térmico nas propriedades tecnológicas da madeira de três espécies amazônicas**. 2015. 42f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Sinop, 2015.

SANTOS, V. B. dos; SILVA, G. C. Efeito da modificação térmica nas propriedades físicas da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barrett & Golfari. **Caderno de Ciências Agrárias**, , v. 13, p. 1–7, 2021.

SILVA, J.C.; OLIVEIRA, J.T.S. Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm., em diferentes condições de umidade relativa do ar. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.2, p.233-239, 2003.

SOUZA, N. M. Levantamento do potencial de aproveitamento das leguminosas no distrito da barreira do Andirá, Barreirinha, am. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.7, n. 12, p. 23–46, mai. 2011.

VOLLBRECHT, L. T.; MASCARENHAS, A. R. P.; MELO, R. R. de; LIMA, M. F. de M.; SOTEIL, R. P.; PIMENTA, A. S. Effects of thermal treatment on the physical properties of *Buchenavia* sp. (branquilha) wood. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 22, n. 1, p. 95-103, jan./mar. 2022.

ZANUNCIO, A. J. V.; FARIAS, E. DE S.; DA SILVEIRA, T. A. Termorreificação e colorimetria da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 1, p. 85–90, 2014.

ZAQUE, L. A. M. et al. Caracterização colorimétrica e da massa específica das madeiras comercializadas no Mato Grosso. **Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 10, n. 3, 2019.