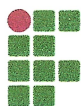


INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

EMILLYN PEREIRA DOURADO

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO DA MADEIRA DE CUPIÚBA
COMERCIALIZADA NO MUNICÍPIO DE JATAÍ PELO MÉTODO
GRAVIMÉTRICO E DE SIMPSON

Jataí
2022



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico/Tecnológico - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Emillyn Pereira Dourado

Matrícula: 20181020260360

Título do Trabalho: Determinação da umidade de equilíbrio da madeira de Cupiúba comercializada no município de Jataí pelo método gravimétrico e de Simpson.

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2** ou **3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Jataí 24/02/22
Local Data

Emillyn Pereira Dourado
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

EMILLYN PEREIRA DOURADO

**DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO DA MADEIRA DE CUPIÚBA
COMERCIALIZADA NO MUNICÍPIO DE JATAÍ PELO MÉTODO
GRAVIMÉTRICO E DE SIMPSON**

Trabalho apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Eulher Chaves Carvalho

Jataí
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)

Dourado, Emillyn Pereira.

Determinação da umidade de equilíbrio da madeira de Cupiúba comercializada no município de Jataí pelo método gravimétrico e de Simpson [manuscrito]/ Emillyn Pereira Dourado. -- Jataí: IFG, Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, 2022.
49 f.; il.

Orientador: Prof. Dr. Eulher Chaves Carvalho.

Bibliografias. Apêndices.

1. Estruturas de madeira. 2. Umidade de equilíbrio. 3. Madeira de Cupiúba. I. Carvalho, Eulher Chaves. II. IFG, Câmpus Jataí. III. Título.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS JATAÍ

Folha de Aprovação

EMILLYN PEREIRA DOURADO

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO DA MADEIRA DE CUPIÚBA COMERCIALIZADA NO MUNICÍPIO DE JATAÍ PELO MÉTODO GRAVIMÉTRICO E DE SIMPSON

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenação do Curso Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado, em 04 de fevereiro de 2022, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Eulher Chaves Carvalho
Presidente da banca / Orientador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Me. Jerônimo Otoni de Carvalho Neto
Membro Interno
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Eng. Civil Alexandre Rodrigues de Melo
Membro Externo
Leal Melo Engenharia

Jataí – GO
2022

Documento assinado eletronicamente por:

- **Alexandre Rodrigues de Melo**, ALEXANDRE RODRIGUES DE MELO - 214205 - ENGENHEIRO CIVIL - LEAL MELO ENGENHARIA (36706616000120), em 21/02/2022 10:59:16.
- **Emillyn Pereira Dourado**, EMILLYN PEREIRA DOURADO - ESTUDANTE - IFG - CÂMPUS JATAÍ (10870883000306), em 19/02/2022 11:24:48.
- **Jeronimo Otoni de Carvalho Neto**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 07/02/2022 14:24:01.
- **Eulher Chaves Carvalho**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 07/02/2022 11:00:34.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 31/01/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 240892

Código de Autenticação: ca5a6a9802



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Rua Maria Vieira Cunha, nº 775, Residencial Flamboyant, JATAÍ / GO, CEP 75804-714
(64) 3605-0837 (ramal: 837)

Dedico este trabalho a toda minha família,
amigos e ao meu orientador por terem me dado
todo apoio para que eu pudesse chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus e Nossa Senhora, por serem os meus protetores, minha fortaleza e meu amparo, por sempre me guiarem, iluminarem e abençoarem toda a minha caminhada até aqui.

Aos meu pais, Rozendo Pereira Neto e Cleusmar Moreira Dourado, por todos os ensinamentos, e por sempre estarem ao meu lado me apoiando e incentivando em todos os meus sonhos e decisões. Obrigada por sempre acreditarem em mim. Sem vocês eu não me tornaria a pessoa que sou hoje.

Aos meus irmãos, especialmente à minha irmã Evellin, por ser meu exemplo de vida e minha motivação para ir além. Obrigada por estar comigo todos esses anos, pela nossa convivência diária e por me auxiliar em tudo que precisei até hoje.

À minha avó materna Onilda, por ser minha inspiração, meu exemplo de fé e perseverança, e meu porto seguro nos momentos de tribulação.

A todos os meus colegas de curso, especialmente aos meus amigos Daniela, Lídia e Matheus Barreto, por todos os momentos, conhecimentos e experiências compartilhadas, e por toda a nossa amizade construída nesses anos que estivemos juntos.

Aos meus queridos amigos, Jozueldo e Micaella, com quem sempre divido minhas alegrias e angústias. Obrigada por estarem comigo nos momentos mais difíceis me incentivando e dando forças para nunca desistir dos meus sonhos.

Ao meu querido orientador Eulher Chaves Carvalho, que esteve comigo desde o início desta pesquisa, pelo seu profissionalismo, por toda sua dedicação, paciência e compreensão. Obrigada por me transmitir toda sua calma e confiança fazendo-me acreditar que eu era capaz. Este trabalho não seria possível sem sua orientação.

Ao Instituto Federal de Goiás – Câmpus Jataí e a todo o corpo docente do curso de Engenharia Civil, por todo o suporte, pelo conhecimento transmitido ao longo do curso e por contribuírem com minha formação acadêmica e profissional. Agradeço especialmente ao técnico de laboratório, Rafael Cortez, por toda a colaboração, apoio e realização das etapas laboratoriais deste trabalho.

Agradeço de forma geral a todos que participaram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, que torceram por mim e sonharam com essa conquista.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão, uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”

(Madre Teresa de Calcutá)

RESUMO

Determinar o teor de umidade de equilíbrio da madeira é tarefa de suma importância, pois além de garantir uma economia nos custos associados com o seu transporte, permite a obtenção de produtos com melhor qualidade e eficiência. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo principal determinar a umidade de equilíbrio da Cupiúba, madeira com diversas aplicações na construção civil, comercializada em Jataí/GO, uma cidade da microrregião da Serra do Caiapó. Para tanto, realizam-se ensaios pelo método de secagem em estufa, buscando seguir as diretrizes da NBR-7190:1997, juntamente com o comparativo da umidade de equilíbrio da madeira (UEM) estimada pela equação de Simpson, levando-se em consideração a temperatura e umidade relativa do ar (UR). Com base nos ensaios realizados e na coleta de dados de temperatura e umidade relativa do ar, ao analisar os resultados obtidos tanto graficamente, quanto ao submetê-los nas condições de temperatura à 30°C e 20°C e UR à 40%, 60% e 80%, observou-se que os valores de UEM estimados pela equação de Simpson tendem a ser superiores aos obtidos pelo método de secagem, sendo ideal a determinação da umidade de equilíbrio da madeira de acordo com a espécie, as condições climáticas e o local a qual esta será aplicada.

Palavras-chave: Estruturas de madeira, Umidade de equilíbrio, Madeira de Cupiúba.

ABSTRACT

Determining the humidity of equilibrium of the wood is a task of paramount importance, as in addition to ensuring savings in the costs associated with its transport, it allows obtaining products with better quality and efficiency. In this sense, the main objective of this work is to determining the equilibrium moisture content of Cupiúba, wood with several applications in civil construction, sold in Jataí/GO, a city in the Serra do Caiapó microregion. For that, tests will be carried out using the oven drying method, following the guidelines of NBR-7190:1997, together with the comparison of the equilibrium moisture of the wood (UEM) estimated by Simpson's equation, taking into account the temperature and relative humidity of the air. Based on the essays carried out and on the collection of temperature and relative humidity (UR) data, by analyzing the results obtained both graphically and by submitting them under the conditions of temperature at 30°C and 20°C and UR at 40%, 60 % and 80%, it was observed that the UEM values estimated by Simpson's equation tend to be higher than those obtained by the drying method, being ideal determining the humidity of equilibrium of the wood according to the species, climatic conditions and the place where it will be applied.

Keywords: Wood structures, Equilibrium moisture, Cupiúba wood.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Imagem ilustrativa de um lote da madeira de Cupiúba	16
Figura 2.1 - Variações de umidade e presença de água na madeira	24
Figura 2.2 - Esquema anatômico da madeira	26
Figura 3.1 - Esquema de corte dos corpos de prova.....	27
Figura 3.2 -Ilustração do corte dos corpos de prova em marcenaria.....	28
Figura 3.3 - Corpos de Prova para ensaios	28
Figura 3.4 -Massa dos corpos de prova com auxílio da balança.	29
Figura 3.5 - Estufa de esterilização e secagem.....	29
Figura 3.6 - Estufa de secagem.....	29
Figura 3.7 - Termo Higrômetro Digital	31
Figura 4.1 - Resultados de Ensaios PIBIC	33
Figura 4.2 - Resultados de ensaios Pré - Projeto e TCC I.....	34
Figura 4.3 - Resultados de ensaios TCC II.....	36
Figura 4.4 - Resultados de UEM Gerais.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Classes de Umidade.....	22
Tabela 3.1 – Cronograma de ensaios.....	28
Tabela 4.1 - Datas e resultados dos ensaios PIBIC	32
Tabela 4.2 - Datas e resultados de ensaios para Pré – Projeto e TCC I.....	34
Tabela 4.3 - Datas e resultados de ensaios para TCC II.....	35
Tabela 4.4 - Datas e valores de UEM gerais	37
Tabela 4.5 - Valores médios de UEM (%) para a madeira de Cupiúba comercializada na cidade de Jataí/GO.....	39
Tabela 4.6 - Valores médios de UEM obtidos por Baraúna e Oliveira (2009)	40
Tabela A. 1 - Médias de Temperatura e UR para ensaio dia 7 de maio de 2021	46
Tabela B. 1 - 17º Ensaio pelo Método Gravimétrico.....	46
Tabela B. 2 - 18º Ensaio pelo Método Gravimétrico.....	47
Tabela B. 3 - 19º Ensaio pelo Método Gravimétrico.....	47
Tabela B. 4 - 20º Ensaio pelo Método Gravimétrico.....	47
Tabela B. 5 - 23º Ensaio pelo Método Gravimétrico.....	48
Tabela B. 6 - 26º Ensaio pelo Método Gravimétrico.....	48
Tabela C. 1 - Estimativa de UEM pela equação de Simpson.....	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)

Instituto Federal de Goiás (IFG)

Materiais de construção (MACO)

Mecânica dos Solos (MESO)

Norma Brasileira Registrada (NBR)

Corona Vírus Disease 2019 (COVID-19)

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)

LISTA DE SÍMBOLOS

H – Pressão relativa de vapor d'água.

M_i – Massa inicial da madeira.

M_s – Massa seca da madeira.

T – Temperatura.

U (%) – Umidade de equilíbrio da madeira, em porcentagem.

UE – Umidade de equilíbrio.

UEM – Umidade de equilíbrio da madeira.

PSF – Ponto de saturação das fibras.

UR – Umidade Relativa do ar.

MPa – Mega Pascal

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	16
1.1 JUSTIFICATIVA	18
1.2 OBJETIVOS	19
1.2.1 Objetivo Geral	19
1.2.2 Objetivos Específicos	19
1.3 ESCOPO	19
CAPÍTULO 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 UMIDADE DE EQUÍLBRIO DA MADEIRA	23
2.2 SECAGEM DA MADEIRA	24
CAPÍTULO 3 METODOLOGIA	27
CAPÍTULO 4 RESULTADOS	32
4.1 RESULTADOS PIBIC	32
4.2 RESULTADOS PRÉ-PROJETO/TCC I	34
4.3 RESULTADOS TCC II	35
4.4 RESULTADOS GERAIS E DISCUSSÃO	36
CAPÍTULO 5 CONCLUSÃO	42
5.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	42
REFERÊNCIAS	44
APÊNDICES	46
APÊNDICE A	46
APÊNDICE B	46
APÊNDICE C	48

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios a madeira é utilizada pelo homem em diferentes campos e áreas como, por exemplo, na construção de utensílios domésticos, decoração, móveis e principalmente em edificações, na produção de estacas, vigas, pilares, além da sua alta utilização em coberturas. A madeira é um material oriundo de fontes renováveis, que além de possuir uma boa resistência, é biodegradável e disponível para consumo (CALIL JUNIOR, et. al., 2003).

A norma que regulamenta a utilização da madeira nas estruturas da Construção Civil é a NBR-7190:1997 “Projeto de Estruturas de Madeira”, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1997), a qual determina as condições gerais a serem seguidas no projeto, na execução e no controle das estruturas correntes de madeira.

A madeira de Cupiúba (*Goupia glabra aubl*), ilustrada na Figura 1.1, é a base de estudos deste trabalho, pois é comumente encontrada nos estabelecimentos comerciais de Jataí/GO para aplicação na indústria da construção civil.

Figura 1.1 - Imagem ilustrativa de um lote da madeira de Cupiúba



Fonte: TORA TORA MADEIRAS (2019)

Segundo Ferreira e Tonini (2004), a Cupiúba é uma espécie de grande porte, que possui cheiro forte, boa resistência ao apodrecimento e aos ataques de fungos e cupins. Ela é comumente conhecida no Brasil como Cupiúba-rosa, Peroba-do-norte e Peroba fedida, e sua aplicação em estruturas se verifica em pilares e vigas.

Sobre a presença da água na estrutura da madeira, Stein (2003) afirma que esta pode difundir-se em forma líquida ou sob forma de vapor. Geralmente, através das cavidades celulares a água move-se sob forma de vapor, ou até mesmo desloca-se de célula a célula, por meio de aberturas grandes denominadas pontuações.

Nesse sentido, é de suma importância para a sua secagem, saber como se comporta a organização do teor de umidade ao longo da amostra da madeira em estudo, pois além de permitir um menor tempo para realização do ensaio, também diminui o número de amostras necessárias para determinação de sua umidade (DONATO, 2013).

Segundo Stein (2003), devido ao alto teor de umidade e presença de água na madeira ainda verde, muitos produtos acabam por apresentar defeitos, além de ter suas propriedades físico-mecânicas afetadas. Em adição, Anjos e Sousa (2015) afirmam que o alto teor de umidade da madeira verde pode ocasionar diversos problemas tais como: empenamentos, rachaduras, variações em seu tamanho e forma, e até mesmo favorecem o aparecimento de fungos. Dessa forma a secagem da madeira, anterior ao seu processamento, é de suma importância por garantir um produto final de ótima qualidade.

A madeira quando exposta a diversas condições de temperatura e umidade relativa do ar tende a apresentar um dado teor de umidade, sendo este considerado como umidade de equilíbrio. Dessa forma, o equilíbrio higroscópico (ou umidade de equilíbrio) da madeira depende principalmente da temperatura e da umidade relativa do ar (GALINA e JANKOWSKY, 2013).

Galina e Jankowsky (2013) salientam ainda, que a umidade da madeira pode ser determinada por meio do método de secagem em estufa (ou gravimétrico), sendo este o mais comum, ou por meio de medidores elétricos. Este último método, apesar de apresentar vantagens como a obtenção de resultados imediatos e menor demanda de trabalho, possui desvantagem com relação à precisão na determinação do teor de umidade.

De acordo com Jankowsky (1990), o método gravimétrico ou também conhecido como método de secagem, é considerado o método mais comum para determinação do teor de umidade. Este ensaio conta com o auxílio de uma estufa dotada de circulação forçada de ar e termostato com possibilidade de controlar a temperatura entre $103 \pm 2^\circ \text{C}$, e também de uma balança de precisão 0,1 g. Vale ressaltar que este é o método descrito pela NBR 7190 (1997), norma base para este trabalho.

No entanto, Calonego et al. (2006 apud DONATO 2013), afirmam que este método apresenta algumas desvantagens como maior tempo para obtenção de resultados, o fato de ser destrutivo e por não ser um método viável para espécies constituídas de componentes variáveis. Tendo em vista as vantagens e desvantagens, um dos métodos utilizados nesta pesquisa é o gravimétrico ou de secagem, que apesar de ser trabalhoso e demorado apresenta os resultados com uma maior

exatidão. Além disso, são realizadas estimativas da umidade por meio da equação de Simpson, proporcionando assim uma melhor comparação em relação ao teor de umidade presente na madeira de Cupiúba em estudo.

A determinação da umidade de equilíbrio da madeira e de suas classes de umidade tornam-se imprescindíveis, posto que estas têm por finalidade corrigir e ajustar as propriedades mecânicas da madeira, especificamente para as propriedades de resistência e rigidez, em função das condições de temperatura e umidade relativa do ar em que as estruturas são aplicadas. (NBR 7190, 1997).

1.1 JUSTIFICATIVA

Conforme Baraúna e Oliveira (2009), com a utilização de amostras de madeira expostas as diferentes condições climáticas de temperatura e umidade relativa do ar, a umidade de equilíbrio deve ser determinada para o local onde a madeira será empregada, podendo-se obter resultados por meio de ensaios com auxílio de câmeras de secagem, secador artificial ou até mesmo sendo estimados por meio de equações.

Todavia, Baraúna e Oliveira (2009), ainda afirmam que devem ser determinadas as diferenças entre os valores de umidade de equilíbrio estimados por equações e valores reais obtidos por meio de ensaios, tornando-se assim necessário conhecer o valor real da umidade de equilíbrio para a madeira em estudo para isso, e mais especificamente para o município ao qual será realizada a pesquisa. Logo, entende-se de justificada importância a realização deste trabalho.

Cabe destacar que o presente trabalho trata-se de uma continuidade do projeto de Iniciação Científica, iniciado no ano de 2019 e intitulado “Determinação da umidade de equilíbrio da madeira de Cupiúba para a utilização na indústria da Construção Civil” (DOURADO, 2021), e justifica-se também pelos seguintes motivos:

- Necessidade de realizar os ensaios laboratoriais, os quais tiveram que ser interrompidos devido a pandemia COVID-19;
- Necessidade de obter um gráfico com uma curva significativa referente a umidade de equilíbrio estimados pela equação de Simpson, considerando os dados de temperatura e umidade relativa do ar coletados ao longo dos 12 meses do ano, compreendidos nos períodos de outubro/2019 a maio/2020 (dados já coletados durante o projeto de iniciação

científica) e abril/2021 a janeiro/2022 (dados coletados durante a realização desta pesquisa).

Sendo assim, espera-se com a continuidade desta pesquisa, obter melhores resultados com gráficos comparativos entre os dois métodos utilizados ao longo deste trabalho.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Esta pesquisa tem como objetivo geral determinar a umidade de equilíbrio da madeira de Cupiúba comercializada em Jataí/GO, cidade da microrregião da Serra do Caiapó, por meio de ensaios realizados pelo método de secagem, em comparação com a umidade de equilíbrio estimada pela equação de Simpson.

1.2.2 Objetivos Específicos

Mais especificamente:

- Revisar a bibliografia existente com o objetivo de verificar os procedimentos experimentais para a determinação da umidade de equilíbrio da madeira;
- Realizar ensaios de secagem à luz da NBR 7190 (1997), afim de determinar a umidade de equilíbrio da madeira de Cupiúba comercializada na cidade de Jataí/GO;
- Estimar a umidade de equilíbrio da madeira por meio da equação de Simpson e pelo monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar.

1.3 ESCOPO

Neste capítulo viu-se uma breve introdução sobre a utilização da madeira de Cupiúba na indústria da Construção Civil, destacou-se também a justificativa de continuidade desta pesquisa, bem como os demais objetivos gerais e específicos para o desenvolvimento deste trabalho.

Continuamente, no Capítulo 2, faz-se a revisão bibliográfica, com uma sucinta abordagem no que diz respeito à movimentação da água na madeira, até que a mesma entre em equilíbrio para com as condições climáticas do ambiente. Apresenta-se também uma revisão acerca do que é o

processo de secagem madeira e como as propriedades presentes na madeira podem interferir durante o período de secagem.

No Capítulo 3 apresenta-se toda a metodologia aplicada para a determinação do teor de umidade de equilíbrio da madeira, baseando-se no método gravimétrico descrito pela NBR 7190 (1997), bem como por meio da equação de Simpson que estima a umidade de equilíbrio da madeira.

No Capítulo 4 apresentam-se os valores médios de umidade de equilíbrio da madeira já obtidos desde o projeto de Iniciação Científica até o presente momento, acompanhados da discussão sobre os resultados encontrados, com base na literatura correlacionada ao tema desta pesquisa.

Por fim, no Capítulo 5 encontra-se apresentado a conclusão deste trabalho com base nos objetivos propostos, seguido das referências bibliográficas.

CAPÍTULO 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A madeira é um elemento estrutural bastante utilizado na Construção Civil e em diferentes áreas da edificação, desde a sua estrutura até o acabamento, por ser um material que apresenta inúmeras características e vantagens como: versatilidade, alta durabilidade e resistência, fácil trabalhabilidade, além de tornar o ambiente mais aconchegante e com um maior conforto térmico. Este material vem sendo estudado ao longo dos anos, com o objetivo de explorar as suas inúmeras propriedades físico-mecânicas como: densidade, teor de umidade, massa específica, resistência à tração, compressão, flexão, cisalhamento e tantas outras.

Diante disto, conhecer as propriedades da madeira é de suma importância, pois visa garantir um produto final de maior qualidade e com um melhor desempenho. Nesse sentido, o presente trabalho traz uma melhor abordagem e estudo sobre uma das propriedades físicas da madeira, o teor de umidade, sendo esta uma propriedade de grande importância.

Segundo Zenid (2011), grande parte das propriedades da madeira são afetadas diretamente pelo teor de umidade, sendo a resistência e a rigidez as mais afetadas. A resistência nada mais é do que a capacidade em que a madeira tem de suportar as inúmeras tensões aplicadas sobre ela, até esta atingir comportamentos de ruptura e deformação da estrutura. Maiores resistências são obtidas em madeiras mais secas, ou seja, quando esta já atingiu sua umidade de equilíbrio para com as condições climáticas a que está exposta, porém quando a madeira ainda se encontra na qualidade verde, além de impactar em seu bom desempenho, ela não consegue suportar altas solicitações por se encontrar com um teor de umidade superior ao ponto de saturação das fibras (PSF). A rigidez, por sua vez, consiste na determinação do módulo de elasticidade do material no momento em que este atinge o comportamento elástico linear (NBR 7190, 1997).

Conforme NBR 7190 (1997), todo e qualquer projeto de estruturas de madeira deve ser elaborado levando-se em consideração as classes de umidade da madeira, como apresentado na Tabela 2.1, que tem por objetivo corrigir os valores de resistência e rigidez da madeira em função da temperatura e umidade relativa do ar onde as estruturas serão aplicadas.

Tabela 2.1 - Classes de Umidade

Classes de Umidade	Umidade Relativa do ambiente U_{amb}	Umidade de equilíbrio da madeira U_{eq}
1	$\leq 65\%$	12%
2	$65\% \leq U_{amb} \leq 75\%$	15%
3	$75\% \leq U_{amb} \leq 85\%$	18%
4	$U_{amb} \geq 85\%$ durante longos períodos	$\geq 25\%$

Fonte: ADAPTADO DE NBR 7190 (1997)

E, em adição, de acordo com o item B.2.1 da mesma norma, os valores para as propriedades de resistência e rigidez da madeira são obtidos considerando e corrigindo os diferentes teores de umidade da madeira para a umidade de 12% (Classe 1 de umidade), o qual constitui na condição padrão de referência para a madeira como especificado na norma. Dessa forma, as propriedades de resistência e rigidez devem ser corrigidas, respectivamente, pelas Equação 2.1 e Equação 2.2. (NBR 7190, 1997).

$$f_{12} = f_{U\%} \left[1 + \left(\frac{3 * (U\% - 12)}{100} \right) \right] \quad (2.1)$$

$$E_{12} = E_{U\%} \left[1 + \left(\frac{2 * (U\% - 12)}{100} \right) \right] \quad (2.2)$$

A norma estabelece ainda que para valores de umidade superiores a 20%, os valores de resistência e rigidez sofrem pequenas alterações a partir de 20%.

De acordo com Galvão (1975), a variabilidade de dimensões da madeira é uma característica indesejável e que está diretamente relacionada à presença de água na madeira, visto que à

medida em que a madeira perde ou ganha água para o ambiente suas dimensões são proporcionalmente alteradas, ocasionando sua instabilidade dimensional.

2.1 UMIDADE DE EQUÍLBRIO DA MADEIRA

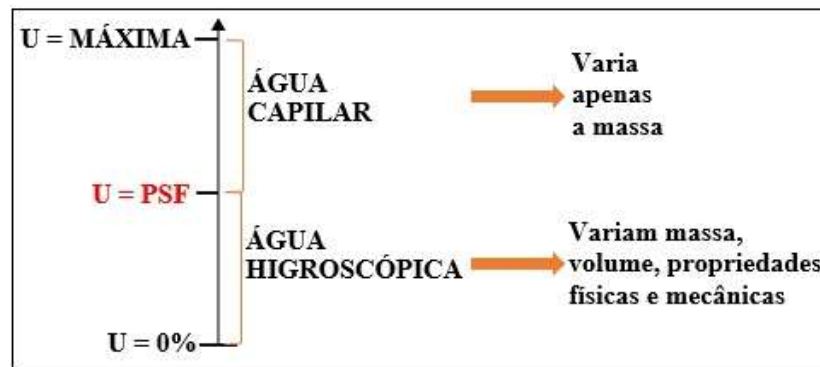
De acordo com Tsoumis (1991 apud RODRIGUES, 1999), quando a madeira encontra-se exposta às diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar, por um certo período, este material passará por um processo de adsorção ou dissorção de gotículas de água presente no ar em forma de vapor, e por fim a madeira atinge um certo teor de umidade, considerando assim a umidade de equilíbrio da madeira. O autor ainda afirma que, levando-se em consideração a espécie de madeira estudada, ao ocorrer uma certa mudança de temperatura e umidade relativa do ar do ambiente, as camadas externas das peças de madeiras são as primeiras a sofrerem modificações em relação ao teor de umidade, diferentemente das camadas internas que demoram um pouco mais para que essa alteração ocorra em seu interior.

A temperatura e a umidade relativa do ar estão diretamente relacionadas ao teor de umidade presente na madeira. A partir do momento em que esta é submetida a uma condição climática específica toda a água presente na peça passa a apresentar um valor constante de umidade, o qual é então denominado umidade de equilíbrio (UE) (GALVÃO, 1975).

A umidade de equilíbrio diz respeito às variações no teor de umidade abaixo do PSF, ocasionando variações nas dimensões e propriedades da madeira, como apresentado na Figura 2.1 (GALINA; JANKOWSKY, 2013).

Segundo Jankowsky (1990), a madeira de uma árvore recém-abatida retém um alto teor de umidade considerada máxima. A princípio quando exposta ao ambiente, parte da água capilar presente nos vasos, canais e no lúmen celular da madeira evapora-se, ou seja, a madeira passa a perder água para o ambiente. Após ocorrer a evaporação de toda essa água capilar, a madeira atinge o PSF, com umidade de aproximadamente 30%, etapa em que permanece na madeira apenas a água localizada na parede celular denominada água higroscópica, que, por conseguinte é também absorvida pelo ambiente, fazendo com que a madeira atinja assim um teor final de umidade e seu ponto de equilíbrio em função da temperatura e umidade relativa do ar.

Figura 2.1 - Variações de umidade e presença de água na madeira



Fonte: ADAPTADA DE GALINA, JANKOWSKY (2013)

Conforme Baker (1956 apud ANDRADE, 2000), o movimento de água na madeira geralmente ocorre das áreas de maior umidade para as que possuem um menor teor de umidade, e como citado pelo autor, é comum dizer que “a madeira seca de fora para dentro”, ou seja, a parte exterior da madeira (superfície) seca mais rapidamente que as partes internas, por receber diretamente o calor proveniente da temperatura e umidade relativa do ambiente. Neste sentido, quanto maior for a temperatura menor será a umidade relativa do ar, e com essa diminuição de umidade do ar, a umidade presente no interior se movimenta em direção as partes externas da madeira ocorrendo o processo de secagem.

Diante disso, percebe-se o quanto a temperatura e umidade relativa do ar interferem na determinação do teor de umidade da madeira. Com isso, um dos métodos dessa pesquisa será o monitoramento diário de temperatura e umidade do ar para a então determinação da umidade de equilíbrio da madeira de Cupiúba para a cidade de Jataí/GO.

2.2 SECAGEM DA MADEIRA

Segundo Pizzol (2010), no momento em que a madeira começa a perder parte de sua umidade absorvida pelo ambiente ou até mesmo quando a umidade presente no interior da peça se desloca para as áreas mais superficiais, pode-se dizer que a madeira está em processo de secagem. Este processo, de acordo com Severo (2007), além de reduzir o teor de umidade presente na madeira, minimiza a ocorrência de patologias ou defeitos na peça, e torna-o mais econômico, dependendo de sua aplicação.

Do ponto de vista físico, Andrade (2000) afirma que a transferência de calor do ambiente para a superfície externa da madeira passa por um fenômeno denominado convecção, enquanto que o fenômeno denominado condução se dá quando este calor é transferido para o interior da peça.

O fenômeno por convecção é o mais importante para o processo de secagem da madeira, visto que somente após a superfície exterior perder parte de sua umidade para o ambiente poderá assim transmitir calor para as demais áreas da peça dando continuidade à sua secagem.

Conforme apontam Marques (2008) e Pizzol (2010), a madeira apresenta uma série de características que interferem diretamente em seu processo de secagem. Os autores destacam algumas, a saber:

- **Espécie** – As madeiras se dividem em dois tipos principais, sendo as madeiras mais resistentes e duras denominadas dicotiledôneas, como por exemplo a Cupiúba, Ipês, Aroeira, entre tantas outras, enquanto que as madeiras denominadas coníferas são madeiras mais macias e moles, o qual podemos exemplificar os pinheiros que apresentam um crescimento mais rápido (PFEIL; PFEIL, 2003). Desse modo, dependendo da espécie da madeira algumas secam mais rapidamente que outras. Geralmente as espécies do tipo coníferas, por apresentarem estrutura celular mais simples, são mais suscetíveis à secagem que as dicotiledôneas.
- **Espessura/Dimensões** – Este é um fator de grande relevância no processo de secagem da madeira, dado que quanto maior a espessura da madeira maior será o seu tempo de secagem. No entanto, se tratando de dimensões da madeira, no que se refere à sua textura, as que apresentam uma textura mais fina demandam um maior tempo de secagem que as de textura mais grossa.
- **Esquema anatômico** – O alburno, localizado na parte mais externa da madeira, seca com maior facilidade que o cerne (parte mais interna). Uma vez que o cerne, por ser menos permeável que o alburno, está mais suscetível ao desenvolvimento de patologias advindas de sua secagem, por esse motivo exigem um maior tempo neste processo. Na Figura 2.2 encontra-se ilustrado como se comportam o alburno e o cerne presentes na madeira.

Figura 2.2 - Esquema anatômico da madeira



Fonte: LEITE (2005)

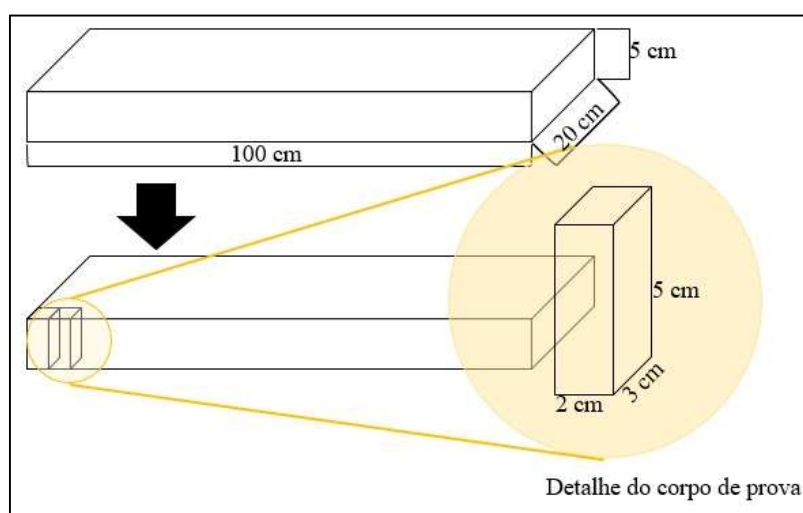
CAPÍTULO 3 METODOLOGIA

Nesta pesquisa, com a finalidade de determinar a umidade de equilíbrio da madeira de Cupiúba para a cidade de Jataí-GO, serão utilizados os seguintes métodos: Método de secagem (gravimétrico) e o método desenvolvido por Simpson (1971).

Os ensaios para a determinação da umidade de equilíbrio da madeira pelo método de secagem, são realizados nos laboratórios de Materiais da Construção (MACO) e Mecânica dos Solos (MESO), do Instituto Federal de Goiás, Câmpus Jataí, utilizando-se das amostras de madeira e seguindo as diretrizes da NBR-7190 (1997). Pontua-se que o acesso dos discente às dependências do IFG Câmpus Jataí esteve negado, devido as normas institucionais no que se refere aos protocolos a serem seguidos em relação a COVID-19, todavia, os docentes bem como, os técnicos de laboratório, estiveram à frente da realização dos ensaios laboratoriais.

Para a realização dos ensaios, a princípio fez-se a aquisição da madeira junto a uma empresa madeireira sediada no município (Jataí/GO). Os corpos de prova foram retirados de uma mesma peça de madeira da espécie Cupiúba, em tábua uniformizada com medidas de aproximadamente 100,0 cm de comprimento por 20,0 cm de largura e 5,0 cm de espessura, como apresentado no esquema da Figura 3.1.

Figura 3.1 - Esquema de corte dos corpos de prova



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Por conseguinte, em uma marcenaria, localizada também no município, procedeu-se o corte e preparação dos corpos de prova, com auxílio de uma serra circular (apresentada na Figura 3.2), cada um com dimensões de aproximadamente 2,0 cm de largura, 3,0 cm de altura e 5,0 cm de

comprimento, ao longo das fibras, conforme descreve o item B.5.3 referente à NBR 7190:1997 e como indicado na Figura 3.3.

Figura 3.2 -Ilustração do corte dos corpos de prova em marcenaria



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Figura 3.3 - Corpos de Prova para ensaios



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Para cada ensaio foram selecionados 6 corpos de prova, com a realização, regra geral, de 2 ensaios mensais, durante o período de 7 meses, compreendidos entre junho e dezembro de 2021, conforme cronograma de ensaios apresentado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Cronograma de ensaios

	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Ensaio 1		09/07	06/08	03/09	11/10	05/11	06/12
Ensaio 2	24/06	23/07	19/08	27/09	22/10	19/11	

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

No laboratório de MACO, procederam-se inicialmente com a pesagem dos corpos de prova, mediante auxílio de uma balança com precisão de 0,01 g, obtendo-se assim a massa inicial (M_i) de cada corpo de prova, conforme Figura 3.4. Em seguida, no laboratório de MESO, as amostras

foram submetidas a uma estufa (câmara de secagem), com temperatura máxima de 103 ± 2 °C, como representado na Figura 3.5 e Figura 3.6.

Figura 3.4 -Massa dos corpos de prova com auxílio da balança.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Figura 3.5 - Estufa de esterilização e secagem



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Figura 3.6 - Estufa de secagem



Fonte: DOURADO (2021)

A NBR 7190 (1997) estabelece que durante o período de secagem dos corpos de prova devem ser realizadas pesagens consecutivas a cada seis (06) horas, até que ocorra uma variação menor ou igual a 0,5% da última massa medida, sendo está considerada a massa seca (M_s) de cada corpo de prova. Entretanto, devido às restrições de acesso à instituição e com base no horário de funcionamento da mesma, algumas pesagens foram coletadas em intervalos inferiores ao recomendado pela norma (intervalo de seis horas), sendo cumprido um intervalo de no mínimo três horas entre as pesagens.

Consequentemente, após obtidos os valores de massas iniciais e secas das amostras, determinou-se o teor de umidade da madeira a partir da relação entre a massa de água contida na madeira e a massa da madeira seca, que é dada pela Equação 3.1 (ABNT, 1997).

$$U(\%) = \left(\frac{M_i - M_s}{M_s} \right) \cdot 100 \quad (3.1)$$

onde, M_i é a massa inicial da madeira (em gramas), M_s a massa da madeira seca (em gramas), e $U(\%)$ o teor de umidade da madeira (em porcentagem). Após a determinação da umidade para cada corpo de prova, calcula-se a média, alcançando a umidade de equilíbrio para o lote em análise.

Outro método utilizado nesta pesquisa é a estimativa da umidade de equilíbrio da madeira em função da temperatura e umidade relativa do ar, por meio da Equação 3.2 elaborada por Simpson (1971), sendo esta corrigida para utilização da temperatura em graus Celsius.

$$UEM = \left[\left(\frac{K_1 * K_2 * H}{1 + K_1 * K_2 * H} \right) + \left(\frac{K_2 * H}{1 - K_2 * H} \right) \right] * \frac{1800}{W} \quad (3.2)$$

Em que, UEM é a umidade de equilíbrio da madeira (em porcentagem), $K_1 = 4,737 + 0,04773 * T - 0,00050123 * T^2$, $K_2 = 0,705941 + 0,001698 * T - 0,000005553 * T^2$, $W = 223,384 + 0,6942 * T + 0,0185324 * T^2$, T é a temperatura (em graus Celsius) e H é pressão relativa de vapor d'água (Umidade Relativa/100).

Optou-se por coletar os dados de temperatura e umidade relativa do ar, aplicados na equação de Simpson, nos períodos matutino, vespertino e noturno, com o auxílio de um termo higrômetro digital, ilustrado na Figura 3.7. Com estes dados, lançados em uma planilha eletrônica e por meio da média aritmética calculada entre os dados coletados durante os 15 dias

anteriores aos ensaios, obtiveram-se os valores utilizados na equação de Simpson. No Apêndice A encontra-se apresentado, como forma de exemplificação, parte da planilha com os dados de temperatura e umidade relativa do ar coletados, referentes ao 14º ensaio, realizado no dia 7 de maio de 2021, com suas respectivas médias.

Figura 3.7 - Termo Higrômetro Digital



Fonte: DOURADO (2021)

CAPÍTULO 4 RESULTADOS

Os resultados para essa pesquisa podem ser divididos em três etapas de desenvolvimento: Projeto de Iniciação Científica (PIBIC), Pré-Projeto e Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) I, e por fim TCC II.

4.1 RESULTADOS PIBIC

O Projeto de Iniciação Científica, intitulado “Determinação da umidade de equilíbrio da madeira de Cupiúba para a utilização na indústria da Construção Civil” (DOURADO, 2021), foi desenvolvido no período de 01 de agosto de 2019 a 30 de setembro de 2020. Durante a realização do PIBIC, foram realizados um total de 13 ensaios de umidade de equilíbrio estimados pela equação de Simpson (07/10/2019 – 14/05/2020), e 9 ensaios laboratoriais pelo método de secagem (07/10/2019 – 12/03/2020), como apresentado na Tabela 4.1, o qual estão dispostos os valores de teor de umidade, para ambos os métodos, bem como suas respectivas datas de realização.

Tabela 4.1 - Datas e resultados dos ensaios PIBIC

Data dos ensaios	Ensaio	Método de Simpson	Método de Secagem	Data dos ensaios	Ensaio	Método de Simpson	Método de Secagem
07/10/2019	1º	10,15	9,45	28/02/2020	8º	16,24	14,03
23/10/2019	2º	10,69	9,23	12/03/2020	9º	11,22	9,56
06/11/2019	3º	9,75	9,95	30/03/2020	10º	11,64	
21/11/2019	4º	12,92	11,03	14/04/2020	11º	12,19	
02/12/2019	5º	14,82	12,26	29/04/2020	12º	12,4	
18/12/2019	6º	15,04	12,09	14/05/2020	13º	10,73	
12/02/2020	7º	14,43	13,23				

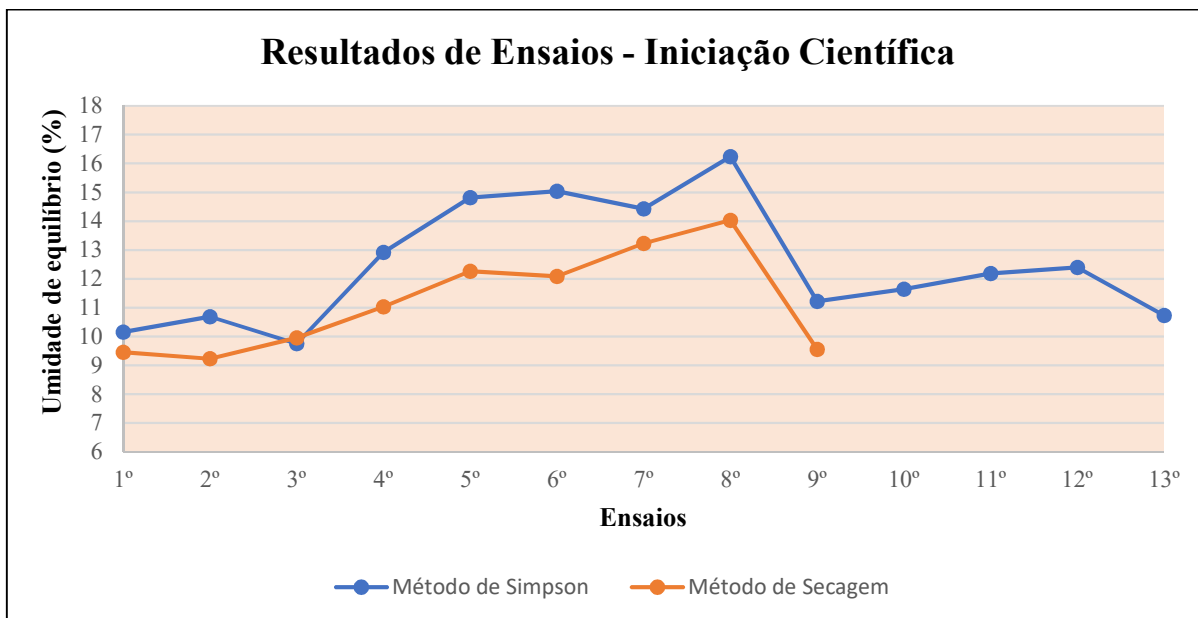
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Devido a pandemia do COVID-19, os ensaios laboratoriais tiveram que ser interrompidos a partir do 10º ensaio (30/03/2020), sendo possível a obtenção de resultados apenas para as estimativas de UE através da equação de Simpson.

Na Figura 4.1, apresenta-se no gráfico, os valores médios de umidade de equilíbrio da madeira de Cupiúba, por ensaio, obtidos pelos dois métodos utilizados nesta pesquisa, sendo eles: o método gravimétrico, no qual os ensaios, com ensaios realizados em período anterior à

pandemia do COVID-19, e o método de Simpson, relativo às estimativas do teor de umidade da madeira em função da temperatura e da umidade relativa do ar.

Figura 4.1 - Resultados de Ensaios PIBIC



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Analisando-se os resultados obtidos durante o desenvolvimento do projeto de Iniciação Científica, entre os meses de outubro de 2019 a maio de 2020, observa-se que a madeira em estudo apresenta valores de umidade de equilíbrio, obtidos pelo método de secagem, inferiores aos estimados pela equação de Simpson (1971), exceto no terceiro em que o teor de umidade de equilíbrio esteve ligeiramente (2,05%) superior ao estimado, conforme representado na Figura 4.1.

É possível destacar também que a maior diferença entre a umidade de equilíbrio pelo método gravimétrico e o método de estimativa de Simpson ocorreu no 6º ensaio, o qual ficou em média 19,61% inferior ao valor estimado, enquanto que a menor variação (2,05%) ocorreu no terceiro ensaio.

Os resultados mostram ainda que do 8º para o 9º ensaio as amostras apresentam um decréscimo significativo em relação a umidade de equilíbrio para ambos os métodos, período em que a temperatura e umidade relativa do ar passaram, respectiva e abruptamente, de 16,24 e 14,03 (8º - 28/02/2020) para 11,22 e 9,56 (8º - 12/03/2020).

4.2 RESULTADOS PRÉ-PROJETO/TCC I

Durante o período de maio de 2020 (segunda quinzena) a abril de 2021, a então pesquisa esteve paralisada, retornando tanto as coletas de dados de temperatura e umidade relativa do ar como os ensaios de secagem da madeira, em maio e junho de 2021, respectivamente. Do dia 07 de maio de 2021 até 19 de agosto de 2021, compreende-se o período de Pré-Projeto e TCC I.

Na Tabela 4.2, apresentam-se os valores de umidade de equilíbrio obtidos por meio das estimativas de Simpson tal como as datas em que foram realizados os ensaios.

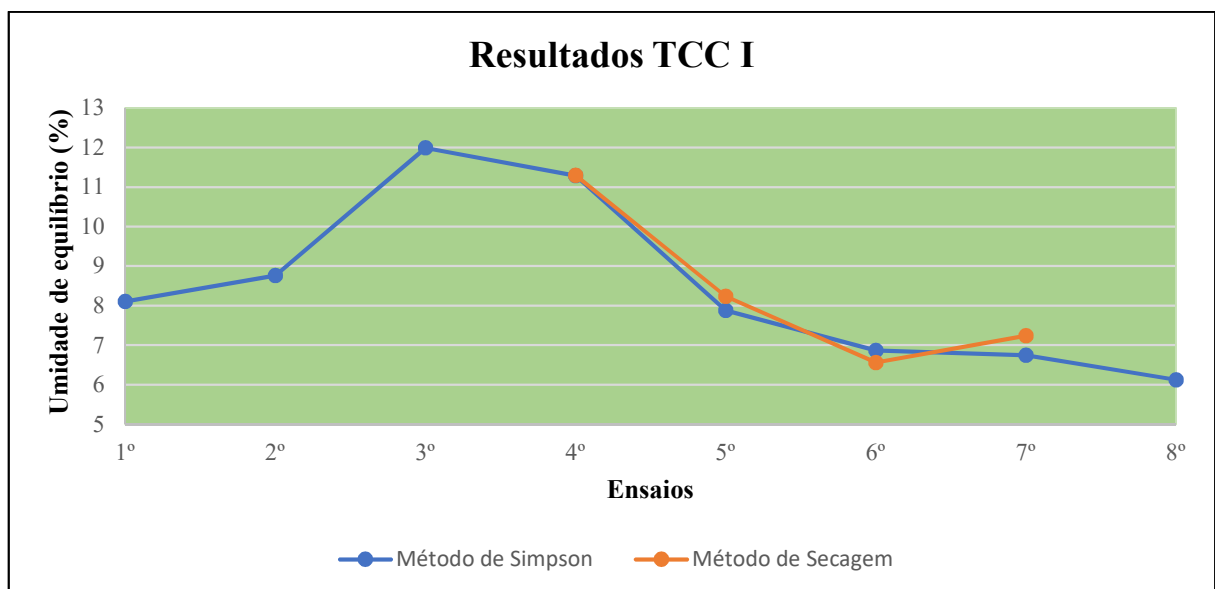
Tabela 4.2 - Datas e resultados de ensaios para Pré – Projeto e TCC I

Data dos ensaios	Ensaio	Método de Simpson	Método de Secagem
07/05/2021	1º	8,10	
21/05/2021	2º	8,76	
04/06/2021	3º	11,99	
24/06/2021	4º	11,29	11,3
09/07/2021	5º	7,88	8,23
23/07/2021	6º	6,86	6,56
06/08/2021	7º	6,74	7,24
19/08/2021	8º	6,12	

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Na Figura 4.2, estão apresentados no gráfico, os valores médios de umidade de equilíbrio da madeira de Cupiúba listados na Tabela 4.2.

Figura 4.2 - Resultados de ensaios Pré - Projeto e TCC I



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Para os resultados obtidos no 4º, 5º e 7º ensaio, dados estes coletados nos meses de junho, julho e agosto de 2021 para o desenvolvimento desta pesquisa, observa-se que os valores para a umidade de equilíbrio estimada pela equação de Simpson encontram-se abaixo dos valores de UE obtidos pelos ensaios do método gravimétrico, respectivamente, (11,29%, 7,88%, 6,74% e 11,30%, 8,23%, 7,24%). Com exceção para o 6º ensaio, em que o valor estimado pela equação de Simpson foi superior ao valor de umidade de equilíbrio da umidade da madeira obtido pelo ensaio do método gravimétrico (6,86% e 6,56%).

4.3 RESULTADOS TCC II

No período entre setembro e dezembro de 2021, procedeu-se a continuidade da coleta de dados e realização dos ensaios para a obtenção dos resultados. Na Tabela 4.3, encontram-se discriminados os valores de umidade de equilíbrio obtidos por meio das estimativas de Simpson tal como as datas em que foram realizados os ensaios.

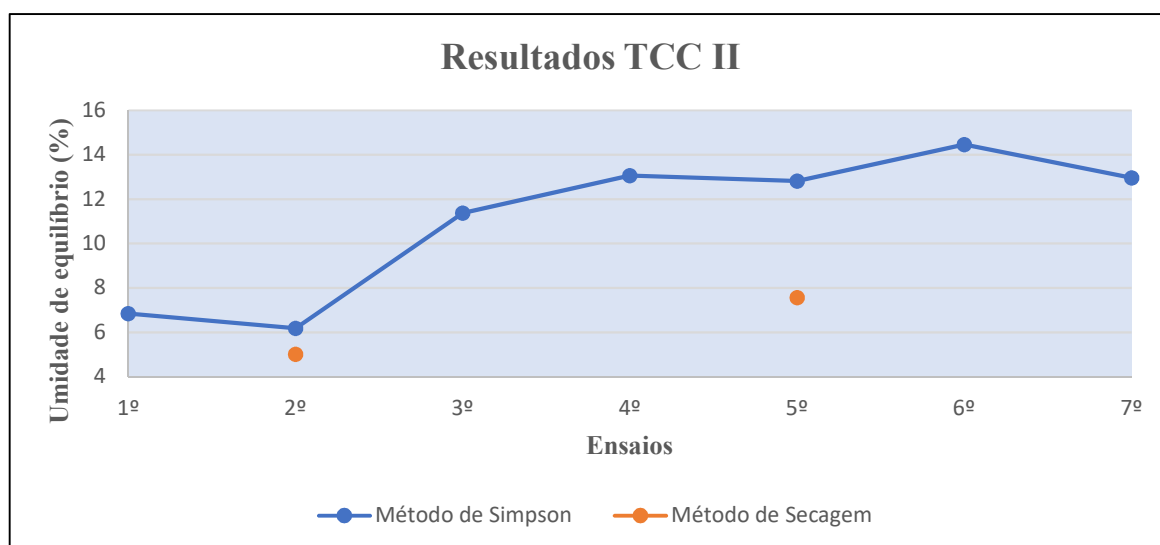
Tabela 4.3 - Datas e resultados de ensaios para TCC II

Data dos ensaios	Ensaio	Método de Simpson	UEM
03/09/2021	1º	6,84	
27/09/2021	2º	6,18	5,01
11/10/2021	3º	11,38	
22/10/2021	4º	13,06	
05/11/2021	5º	12,82	7,56
19/11/2021	6º	14,46	
06/12/2021	7º	12,96	

Fonte: AUTORIA PRÓRIA

Na Figura 4.3, os resultados encontram-se apresentados em gráfico, para uma melhor análise dos valores médios de umidade de equilíbrio da madeira de Cupiúba obtidos pelos métodos utilizados nesta pesquisa.

Figura 4.3 - Resultados de ensaios TCC II



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Vale ressaltar, como já mencionado anteriormente, principalmente nesse período entre os meses de setembro e dezembro, houve uma grande dificuldade para realização dos ensaios laboratoriais sendo possível a realização de apenas dois ensaios. Porém, de posse dos 28 ensaios realizados, compreendendo os resultados obtidos durante o PIBIC, TCC I e TCC II, foi possível a obtenção de resultados satisfatórios e suscetíveis à discussão.

4.4 RESULTADOS GERAIS E DISCUSSÃO

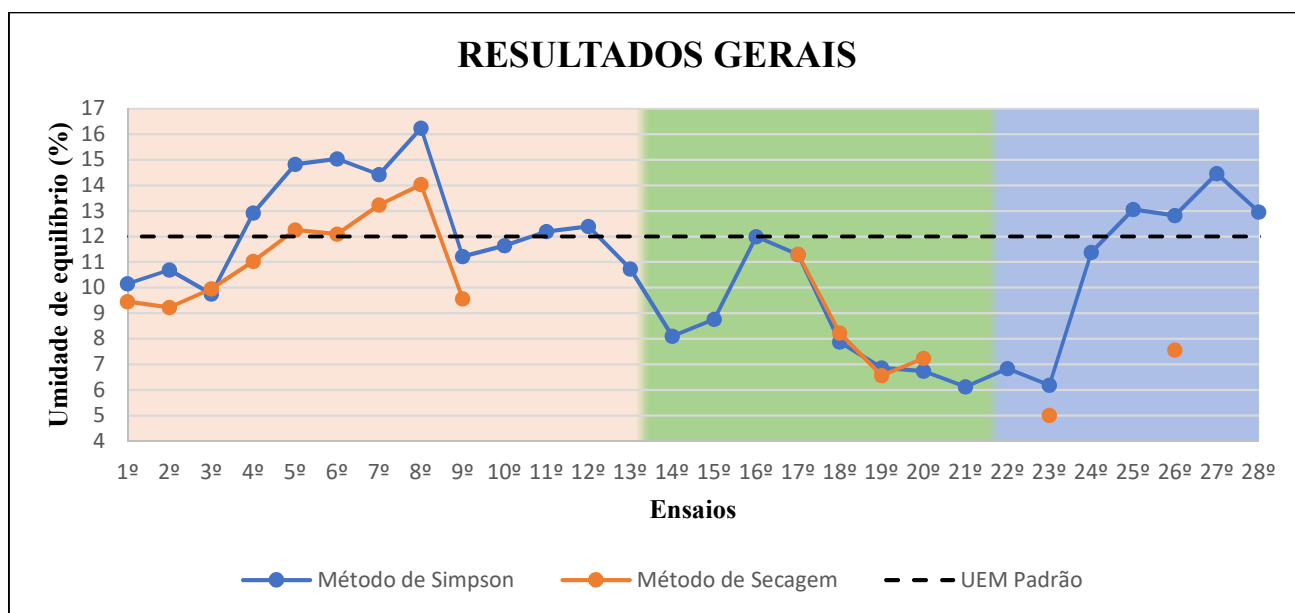
Assim sendo, considerando todos os resultados alcançados, obteve-se os valores de umidade de equilíbrio da madeira estimados pela equação de Simpson bem como os valores obtidos através dos ensaios pelo método de secagem, conforme apresentado na Tabela 4.4. Enquanto que, na Figura 4.4, os resultados encontram-se apresentados em gráfico.

Tabela 4.4 - Datas e valores de UEM gerais

Data dos ensaios	Ensaio	Método de Simpson	Método de Secagem	Data dos ensaios	Ensaio	Método de Simpson	Método de Secagem
07/10/2019	1º	10,15	9,45	21/05/2021	15º	8,76	-
23/10/2019	2º	10,69	9,23	04/06/2021	16º	11,99	-
06/11/2019	3º	9,75	9,95	24/06/2021	17º	11,29	11,3
21/11/2019	4º	12,92	11,03	09/07/2021	18º	7,88	8,23
02/12/2019	5º	14,82	12,26	23/07/2021	19º	6,86	6,56
18/12/2019	6º	15,04	12,09	06/08/2021	20º	6,74	7,24
12/02/2020	7º	14,43	13,23	19/08/2021	21º	6,12	-
28/02/2020	8º	16,24	14,03	03/09/2021	22º	6,84	-
12/03/2020	9º	11,22	9,56	27/09/2021	23º	6,18	5,01
30/03/2020	10º	11,64	-	11/10/2021	24º	11,38	-
14/04/2020	11º	12,19	-	22/10/2021	25º	13,06	-
29/04/2020	12º	12,40	-	05/11/2021	26º	12,82	7,56
14/05/2020	13º	10,73	-	19/11/2021	27º	14,46	-
07/05/2021	14º	8,10	-	06/12/2021	28º	12,96	-

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Figura 4.4 - Resultados de UEM Gerais



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

No gráfico representado na Figura 4.4, a linha tracejada, em cor preta, está relacionada a umidade de equilíbrio padrão da madeira (UEM igual à 12%), conforme estabelece a NBR 7190 (1997). Observa-se que dentre os 28 ensaios realizados durante todo o período de desenvolvimento da pesquisa, grande parte dos resultados alcançados, principalmente no que

se refere aos valores estimados pela equação de Simpson, cerca de 60,71% dos resultados atingiram ou apresentaram valores inferiores a UEM padrão.

Por outro lado, para ensaios em que apresentaram resultados com umidades de equilíbrio entre 12,19% e 16,14%, deve-se dar uma maior atenção para as propriedades mecânicas da madeira, pois nestes períodos, entre o último trimestre do ano e o primeiro trimestre do ano subsequente, ela encontra-se mais úmida do que os parâmetros normativos estabelecem.

Vale ressaltar, que tanto para valores de umidade de equilíbrio da madeira inferiores quanto para superiores à 12%, deve-se atentar para a correção e ajuste das umidades no que diz respeito à determinação de propriedades da madeira como resistência e rigidez. A seguir encontra-se exemplificado a correção da resistência e do módulo de elasticidade (Equações 4.1 e 4.2), adotando-se os valores médios usuais de resistência ($f_{12\%} = 54,4$ MPa) e módulo de elasticidade ($E_{12\%} = 13.627,0$ MPa) para a madeira de Cupiúba à umidade padrão de 12% conforme as recomendações da NBR 7190 (1997), e $U = 16,14\%$.

$$f_{12} = f_{U\%} \left[1 + \left(\frac{3 * (U\% - 12)}{100} \right) \right]$$

$$54,4 = f_{U\%} \left[1 + \left(\frac{3 * (16,14 - 12)}{100} \right) \right] \quad (4.1)$$

$$f_{U\%} = 48,389 \text{ MPa}$$

$$E_{12} = E_{U\%} \left[1 + \left(\frac{2 * (U\% - 12)}{100} \right) \right]$$

$$13\ 627 = E_{U\%} \left[1 + \left(\frac{2 * (16,14 - 12)}{100} \right) \right] \quad (4.2)$$

$$E_{U\%} = 12584,965 \text{ MPa}$$

Ainda em análise ao gráfico da Figura 4.4, é possível identificar que para a madeira analisada e nas condições estudadas a equação de Simpson tende em grande maioria fornecer valores

superiores ao dos ensaios do método de secagem, corroborando com os resultados obtidos por Baraúna e Oliveira (2009) que obteve a mesma conclusão ao submeter as amostras das madeiras de Angelim Vermelho, Guariúba e Tauari, em câmara climática com temperatura de 35°C e 25°C e umidade relativa do ar à 80%.

Entretanto, Trugilho et al. (2000) afirmam que ao determinar a umidade de equilíbrio da madeira pelo método matemático de Simpson (1971) para 27 espécies de madeira e em condições climáticas específicas, os valores estimados foram inferiores se comparado aos valores obtidos por meio da câmara de climatização.

A partir dos resultados obtidos, de todos os dados coletados, e levando em consideração temperaturas e umidades relativas do ar específicas, elaborou-se a tabela apresentada na Tabela 4.5, adotando-se os seguintes critérios:

- Para temperaturas maiores ou iguais a 20°C e menores que 25°C, admitiu-se temperatura igual a 25°C;
- Para temperaturas maiores ou iguais a 25°C e menores que 30°C, admitiu-se temperatura igual a 30°C;
- Para umidades relativas do ar inferiores a 50%, considerou-se UR igual a 40%;
- Para umidades relativas do ar entre 50% e 70%, considerou-se UR igual a 60%;
- E por fim, para umidades relativas do ar superiores a 70%, considerou-se UR igual a 80%.

Tabela 4.5 - Valores médios de UEM (%) para a madeira de Cupiúba comercializada na cidade de Jataí/GO

TEMPERATURA	25°C (20 > T < 25)			30° C (25 ≥ T < 30)		
UR	40%	60%	80%	40%	60%	80%
UEM SECAGEM	7,34	9,43	13,15	5,01	9,84	12,66
UEM SIMPSON	7,49	10,87	16,01	7,33	10,64	15,76

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Analisando os resultados obtidos na Tabela 4.5, observa-se que a UEM aumenta de forma proporcional ao aumento da umidade relativa do ar, seja para temperatura à 25°C ou à 30°C. É

possível também constatar que para todas as condições de temperatura e umidade relativa do ar analisadas, a madeira de Cupiúba comercializada e utilizada na cidade de Jataí/GO apresenta valores de UEM pelo método de secagem inferiores ao estimados pela equação de Simpson.

Verifica-se ainda, que para a condição de temperatura a 30°C e umidade relativa do ar igual a 40%, os valores obtidos pelo método de secagem e estimados pela equação de Simpson apresentaram aproximadamente 31,65% de diferença de resultados, enquanto que a menor variação de aproximadamente 1,96% ocorreu para a madeira em condições de 25°C de temperatura e 40% de umidade relativa do ar.

Todavia, Baraúna e Oliveira (2009) em sua pesquisa ao determinar a UEM para as espécies de Angelim Vermelho, Guariúba e Tauari, madeiras essas nativas e comercializadas na cidade de Manaus/AM – local de realização da pesquisa – e submetendo-as em uma câmara de climatização com as condições climáticas de temperatura a 25°C e 35°C e umidade relativa do ar a 40%, 60%, e 80%, obteve os resultados apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Valores médios de UEM obtidos por Baraúna e Oliveira (2009)

Umidade de Equilíbrio (%)							
Espécie	DS (g/cm³)	35° C			25° C		
		80% U.R	60% U.R	40% U.R	80% U.R	60% U.R	40% U.R
Angelim Vermelho	1,01	15,13 (2,1%)	12,30 (18,3%)	8,4 (18,2%)	13,71 (14,4%)	12,19 (12,2%)	9,43 (25,9%)
Guariúba	0,662	14,09 (8,9%)	11,09 (6,7%)	7,7 (8,5%)	13,47 (15,9%)	11,49 (5,7%)	8,94 (19,4%)
Tauari	0,702	16,53 (6,9%)	12,97 (24,8%)	8,40 (17,7%)	15,42 (3,7%)	12,78 (17,6%)	9,48 (26,6%)
Média	-	15,25 (1,4%)	12,12 (16,6%)	8,20 (14,7%)	14,20 (11,3%)	12,15 (11,8%)	9,28 (23,9%)
E. Simpson (1971)	-	15,46	10,39	7,14	16,01	10,87	7,49
* Valores entre parênteses significam a diferença em % dos valores obtidos na câmara climática aqueles estimados pela equação de Simpson (1971).							

Fonte: ADAPTADO DE BARAÚNA E OLIVEIRA (2009)

É possível constatar que, para as espécies analisadas por Baraúna e Oliveira (2009), os valores reais de UEM superestimam os valores obtidos pelo método matemático de Simpson, com exceção para a temperatura à 35°C e UR à 80%. Este padrão de resposta diverge, portanto, dos resultados sistematizados na Tabela 4.5, da qual reitera-se que a madeira de Cupiúba comercializada e utilizada na cidade de Jataí/GO apresenta valores de UEM pelo método de secagem inferiores ao estimados pela equação de Simpson.

Os autores Baraúna e Oliveira (2009) afirmam a necessidade de cautela para com a utilização da equação de Simpson (1971), pois a mesma apesar de ser muito eficaz para estimativa da umidade de equilíbrio, está suscetível a grandes erros, em razão da espécie da madeira em estudo e das condições climáticas a que estão expostas. Concluindo assim, que para as madeiras nativas de florestas tropicais, principalmente para a região de Manaus, de forma a minimizar os resultados insatisfatórios o ideal seria ajustar a equação de Simpson (1971) para cada espécie e temperatura analisada.

Para uma melhor conferência e acompanhamento dos resultados, encontram-se discriminados ao final deste trabalho na seção apêndices, os dados coletados nos últimos ensaios realizados, com destaque para os ensaios em que foi possível a realização dos ensaios pelos dois métodos utilizados. Assim sendo, no apêndice B estão dispostos os dados de massas úmidas e secas dos corpos de provas ensaiados, bem como a média da UEM obtida ao final do ensaio pelo método gravimétrico ou de secagem, e já no apêndice C estão apresentados os cálculos e resultados obtidos por meio da equação de Simpson.

CAPÍTULO 5 CONCLUSÃO

Tendo em vista que o principal objetivo da presente pesquisa foi determinar a umidade de equilíbrio da madeira de Cupiúba comercializada no município de Jataí/GO, adotando os métodos gravimétrico e método matemático de Simpson, e com base nos ensaios realizados e resultados obtidos pode-se chegar as seguintes considerações finais:

- Apesar da equação de Simpson estar suscetível a erros e resultados insatisfatórios, este método foi a base desta pesquisa, visto que os ensaios para utilização do método de secagem, descrito pela NBR 7190 (1997), tiveram que ser interrompidos em diversos momentos durante o desenvolvimento da pesquisa, principalmente devido à pandemia do COVID-19, o qual impossibilitou e dificultou o acesso do discente à instituição para realização dos ensaios;
- Para a madeira de Cupiúba comercializada no município de Jataí/GO, os valores de UEM estimados pela equação de Simpson, tendem a superestimar os valores reais obtidos pelo método de secagem;
- A madeira de Cupiúba, para a temperatura a 30°C e UR à 40%, apresentou uma maior diferença (31,65%) entre os valores alcançados;
- A umidade de equilíbrio da madeira deve ser determinada levando em consideração a espécie, as condições climáticas e principalmente o local em que a madeira será empregada;
- A equação e o método de Simpson para este trabalho em específico, estaria a favor da segurança, pelo fato de superestimar os valores de umidade de equilíbrio da madeira.

5.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

O presente trabalho apresentou algumas limitações de pesquisa no que se refere ao beneficiamento e corte dos corpos de prova. Como especificado pela NBR 7190 (1997), devem ser retirados apenas um corpo de prova por peça de madeira a ser analisada, o mesmo deve ser isento de defeitos e evitar as possíveis “queima” de suas faces. No entanto, para a realização desta pesquisa houve dificuldades quanto aos custos para a aquisição da madeira, o qual optou-se por adquirir apenas uma peça de madeira e a extração dos corpos de prova desta mesma peça.

Outra limitação importante se refere às dificuldades de realização dos ensaios pelo método de secagem ou gravimétrico, visto que devido a pandemia do COVID-19 o acesso dos discentes à instituição para realização de pesquisa esteve impedido, retornando apenas em janeiro de 2022, dificultando assim uma melhor análise e comparação entre os métodos utilizados nesta pesquisa.

Sendo assim, para a continuidade desta pesquisa sugere-se a utilização de uma câmara de climatização para análise do teor de umidade da madeira em condições de temperatura e umidade relativa do ar específica, utilizar medidores elétricos para determinação da UEM, e até mesmo comparar a UEM entre as diferentes espécies de madeira aplicadas na indústria jataiense de construção civil, bem como apresentar resultados de resistência a compressão, tração e flexão.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Ariel de. **Indicação de programas para secagem convencional de madeiras, SP.** 2000. 72p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia da Madeira) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2000.
- ANJOS, F. P.; SOUSA, A. M. L. **Umidade de equilíbrio em madeira termorretificada de cupiúba da região amazônica.** Biota Amazônica, Macapá, v. 5, n. 1, p. 99-104, 2015.
Disponível em:
<https://pdfs.semanticscholar.org/6a8d/f49a9253f76e776868486ec2a0ad70377efe.pdf>.
Acesso em: 02 jul. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1997) NBR-7190 **Projeto de estruturas de madeira.** Rio de Janeiro, 1997. 107p.
- BAKER, W. J. How wood dries. Madison: Forest Products Laboratory, 1956. 9p.
- BARAÚNA, E. E. P.; OLIVEIRA, V. S. **Umidade de equilíbrio da madeira de angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke), guariúba (*Clarisia racemosa* Ruiz; Pav.) e tauari vermelho (*Cariniana micrantha* Ducke) em diferentes condições de temperatura e umidade relativa.** Acta Amazonica, Manaus, v. 39, n. 1, p. 91-96, 2009.
- CALIL JUNIOR, C.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A. **Dimensionamento de elemento estruturais de madeira.** Barueri: Manole, 2003.
- CALONEGO, F. W.; BATISTA, W. R.; SEVERO, E. T. D.; SANTOS, J. E. G. dos; RIBAS, C. **Avaliação do teor de umidade da madeira de *Eucalyptus grandis* por medidores elétricos resistivos.** Revista do Instituto Florestal, São Paulo, v. 18, n. único, p. 71-78, 2006.
- DONATO, Danilo Barros. **Métodos de amostragem e de determinação do teor de umidade da madeira em tora.** 2013. 71p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.
- DOURADO, E. P. **Determinação da umidade de equilíbrio da madeira de cupiúba para a utilização na indústria da construção civil.** 2021. 8p. IC Iniciação Científica – Curso Bacharelado em Engenharia Civil, Instituto Federal de Ciência e Tecnologia, Jataí, 2021.
- FERREIRA, L. M. M.; TONINI, H. **Cupiúba (*Goupia glabra* Aublet): Crescimento, Potencialidades e Usos.** Boa Vista: Embrapa Roraima, 2004. 29p. (Embrapa Roraima. Documentos, 4).
- GALINA, I. C. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem de Madeiras.** Associação Nacional dos Produtos de Pisos de Madeira. Curso Técnico. 2013. 36p.
- GALVÃO, A.P.M. **Estimativas de umidade de equilíbrio da madeira em diferentes cidades do Brasil.** Instituto de Pesquisa Florestal - IPEF, n.11, p.53-65, 1975.
- JANKOWSKY, I. P. **Fundamentos de secagem da madeira.** – São Paulo: Documentos Florestais, 13p. 1990.

LEITE, M. R. M. **Caracterização das Costaneiras da Madeira de Eucalipto para Uso na Indústria Moveleira**. 2005. 82p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, Belo Horizonte, 2005.

MARQUES, M. H. B. **Agrupamento de 41 espécies de madeiras da Amazônia para secagem baseado em características anatômicas e físicas**. 2008. 125p. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Florestais, Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2008. Disponível em:
<https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/6259/1/2008marciahelenabezerramarques.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2021.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 2003. 223 p.

PIZZOL, Vinnicius Dordenoni. **Secagem natural da madeira de eucalyptus grandis sob dois ambientes de exposição**. 2010. 47p. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2010.

RODRIGUES, Waldemir. **Determinação do teor de umidade em madeiras por meio de medidores elétricos**. 1999. 87p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

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

SIMPSON, W. T. - **Equilibrium moisture content prediction of wood**. *Forest products journal*, Vol. 21 (5): 48-49, mai.1971.

STEIN, F. R. **Avaliação técnica do tempo de estocagem da madeira**. 2003. 36p. Monografia (Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

TORA TORA MADEIRAS. **Imagem ilustrativa de madeira Cupiúba**. Disponível em:
<https://www.toratoramadeiras.com.br/madeira-cupiuba.html>. Acesso em: 24 abr.2019.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; SILVA, J. R. M.; MENDES, L. M.; PINTO, L. V. A. **Umidade de equilíbrio da madeira para diferentes condições de temperatura e umidade relativa em câmara de climatização**. In: EBRAMEM - ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 7, 2000, São Carlos, São Paulo. Anais... São Carlos: EESC/USP, 2000. p.41-41.

TSOUMIS, G. **Science And Technology of Wood Structure, Properties, Utilization**. New York, Van Nostrand Reinhold, 1991.

ZENID, J.G. **Madeira na construção civil**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2011.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Média dos dados de Temperatura e Umidade Relativa do Ar

Tabela A. 1 - Médias de Temperatura e UR para ensaio dia 7 de maio de 2021

COLETA DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR 2021 TCC						
Dias	Manhã		Tarde		Noite	
	Temperatura	Umidade	Temperatura	Umidade	Temperatura	Umidade
	(°C)	(%)	(°C)	(%)	(°C)	(%)
ABRIL						
23/abr.	23,0	57	26,0	22	18,0	34
24/abr.	-	-	-	-	-	-
25/abr.	24,0	59	26,0	21	21,0	35
26/abr.	-	-	-	-	-	-
27/abr.	-	-	-	-	-	-
28/abr.	23,0	65	28,0	29	20,0	40
29/abr.	28,0	44	27,0	27	20,0	42
30/abr.	-	-	-	-	-	-
01/mai.	-	-	27	64	-	-
02/mai.	26,1	64	-	-	27,5	58
03/mai.	24,4	62	28,4	42	26,9	47
04/mai.	24,8	56	28,3	35	26,2	47
05/mai.	23,5	48	26,1	18	25,9	45
06/mai.	26,0	61	29,0	28	20,0	38
Médias	24,76	57,33	27,31	31,78	22,83	42,89
Temperatura Média 15 dias					25,0	
Umidade Relativa do ar Média 15 dias					44,00	

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

APÊNDICE B – Ensaios realizados pelo método gravimétrico

Tabela B. 1 - 17º Ensaio pelo Método Gravimétrico

UMIDADE DE EQUILÍBRIO - Ensaio dia 24/06/2021							
Corpo de Prova	MASSA INICIAL (Mi)	MASSA SECA (Ms)					Umidade (%)
		1	Variação 1-2	2	Variação 2-3	3	
1	24,84	22,76	0,13%	22,73	0,26%	22,67	9,28%
2	27,2	25,08	0,48%	24,96	0,12%	24,93	8,97%
3	24,19	22,21	0,27%	22,15	-0,09%	22,17	9,21%
4	24,73	22,73	0,26%	22,67	-0,13%	22,7	9,09%
5	27,99	23,02	0,43%	22,92	-0,04%	22,93	22,12%
6	26,6	24,49	0,49%	24,37	-0,04%	24,38	9,15%
Média							11,30%

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Tabela B. 2 - 18º Ensaio pelo Método Gravimétrico

UMIDADE DE EQUILÍBRIO - Ensaio dia 09/07/2021							
Corpo de Prova	MASSA INICIAL (Mi)	MASSA SECA (Ms)					Umidade (%)
		1	Variação 1-2	2	Variação 2-3	3	
1	24,3	22,56	0,49%	22,45	0,18%	22,41	8,24%
2	24,92	23,11	0,43%	23,01	0,35%	22,93	8,30%
3	24,47	22,67	0,40%	22,58	0,31%	22,51	8,37%
4	24,23	22,48	0,36%	22,4	0,45%	22,3	8,17%
5	26,53	24,63	0,37%	24,54	0,49%	24,42	8,11%
6	25,57	23,71	0,34%	23,63	0,30%	23,56	8,21%
Média							8,23%

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Tabela B. 3 - 19º Ensaio pelo Método Gravimétrico

UMIDADE DE EQUILÍBRIO - Ensaio dia 23/07/2021							
Corpo de Prova	MASSA INICIAL (Mi)	MASSA SECA (Ms)					Umidade (%)
		1	Variação 1-2	2	Variação 2-3	3	
1	23,14	21,8	0,41%	21,71	0,28%	21,65	6,59%
2	24,88	23,49	0,38%	23,4	0,43%	23,3	6,32%
3	25,01	23,53	0,38%	23,44	0,34%	23,36	6,70%
4	24,66	23,35	0,47%	23,24	0,34%	23,16	6,11%
5	24,52	23	0,35%	22,92	0,31%	22,85	6,98%
6	23,53	22,03	-0,14%	22,06	0,32%	21,99	6,66%
Média							6,56%

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Tabela B. 4 - 20º Ensaio pelo Método Gravimétrico

UMIDADE DE EQUILÍBRIO - Ensaio dia 06/08/2021							
Corpo de Prova	MASSA INICIAL (Mi)	MASSA SECA (Ms)					Umidade (%)
		1	Variação 1-2	2	Variação 2-3	3	
1	25,21	23,83	0,63%	23,68	0,42%	23,58	6,91%
2	25,22	23,77	0,67%	23,61	0,42%	23,51	7,27%
3	24,06	22,64	0,49%	22,53	0,49%	22,42	7,31%
4	25,42	23,86	0,34%	23,78	0,46%	23,67	7,39%
5	23,71	22,28	0,49%	22,17	0,36%	22,09	7,33%
6	25,44	23,9	0,50%	23,78	0,21%	23,73	7,21%
Média							7,24%

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Tabela B. 5 - 23º Ensaio pelo Método Gravimétrico

UMIDADE DE EQUILÍBRIO - Ensaio dia 27/09/2021									
Corpo de Prova	MASSA INICIAL (Mi)	MASSA SECA (Ms)							Umidade (%)
		1	Variação 1-2	2	Variação 2-3	3	Variação 3-4	4	
1	24,76	24,06	2,00%	23,58	0,21%	23,53	0,00%	23,53	5,23%
2	24,95	24,32	2,18%	23,79	0,25%	23,73	0,00%	23,73	5,14%
3	23,75	23,16	2,12%	22,67	3,00%	21,99	-2,86%	22,62	5,00%
4	23,17	22,67	2,38%	22,13	-2,17%	22,61	2,17%	22,12	4,75%
5	24,65	24,09	2,37%	23,52	0,55%	23,39	-0,38%	23,48	4,98%
6	24,22	23,68	2,32%	23,13	0,69%	22,97	-0,48%	23,08	4,94%
Média									5,01%

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Tabela B. 6 - 26º Ensaio pelo Método Gravimétrico

UMIDADE DE EQUILÍBRIO - Ensaio dia 05/11/2021					
Corpo de Prova	MASSA INICIAL (Mi)	MASSA SECA (Ms)			Umidade (%)
		1	Variação 1-2	2	
1	23,02	23,02	0,39%	22,93	0,39%
2	24,31	22,34	0,18%	22,3	9,01%
3	25,26	23,16	-0,04%	23,17	9,02%
4	24,32	22,3	-0,27%	22,36	8,77%
5	24,66	22,45	-0,49%	22,56	9,31%
6	25,65	23,45	-0,47%	23,56	8,87%
Média					7,56%

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

APÊNDICE C – Ensaio realizados pelo método/equação de Simpson

Tabela C. 1 - Estimativa de UEM pela equação de Simpson

Método de Simpson (1971) Média diária						
Ensaio	17	18	19	20	23	26
T	23,6	20,94	23,19	22,68	28,78	24,92
UR	61,8	41,77	35,37	34,49	31,78	68,91
K1	5,584	5,517	5,574	5,562	5,696	5,615
K2	0,743	0,739	0,742	0,742	0,750	0,745
W	250,089	246,047	249,449	248,661	258,713	252,192
H	0,618	0,4177	0,3537	0,3449	0,3178	0,6891
UEM (Método de Simpson)	11,29	7,88	6,86	6,74	6,18	12,82

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA