

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS DOIS VIZINHOS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

HELEN CORREIA DA SILVA

COMPORTAMENTO TÉRMICO DA MADEIRA MACIÇA
***Tectona grandis* L. f. E *Pinus elliottii* Engelm**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

DOIS VIZINHOS
2021.

HELEN CORREIA DA SILVA

**COMPORTAMENTO TÉRMICO DA MADEIRA
MACIÇA *Tectona grandis* L. f. E *Pinus elliottii* Engelm**

Trabalho apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Bacharelado em Engenharia Florestal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Aurélio Mathias de Souza

Co-orientador: Prof. Dr. André Luiz de Lima Ponzoni.

**DOIS VIZINHOS
2021**



TERMO DE APROVAÇÃO

COMPORTAMENTO TÉRMICO DA MADEIRA MACIÇA *Tectona grandis* L. f. E *Pinus elliottii* Engelm

Helen Correia da Silva

Este Trabalho de Conclusão de Curso II foi apresentado em 05 de maio de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira Florestal. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Marcos Aurélio Mathias de Souza

Prof. Dr. Thiago Dias

Suélen Piccinin Nichtti

RESUMO

SILVA, Helen Correia. Comportamento térmico da madeira maciça *Tectona grandis* L. f. e *Pinus elliottii* Engelm. 2021. 34f. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2020.

A madeira é um dos mais bem elaborados materiais de origem orgânica, apresentando um conjunto de características físicas e mecânicas dificilmente encontradas em outros materiais, além de uma inumerável variação de padrões estéticos. Conhecer o comportamento tecnológico da madeira de diferentes espécies florestais, nativas ou exóticas, é fundamental para aumentar as alternativas de uso das mesmas. Dentre suas propriedades, é importante a condutividade térmica a qual indica a medida de fluxo de calor através da espessura do material, sujeita a uma diferença de temperatura. Neste trabalho foram feitas medidas de temperatura em amostras de duas espécies e calculado através de um modelo matemático a condutividade térmica. Este estudo foi realizado no Campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, no município de Dois Vizinhos. Um total de vinte amostras foram mantidas em ambiente climatizado com teores de umidade constantes, dimensões mensuradas e suas densidades calculadas. Os dados foram obtidos através de um protótipo construído tipo caixa e uma fonte de calor, simularam a passagem de energia pelo material. Verificou-se através dos dados coletados que as amostras de *Pinus* apresentaram maior condutividade térmica, devido a fatores como o teor de umidade e sua constituição celular. As análises estatísticas revelaram uma dispersão moderada, na ordem de até 19% no coeficiente de variação.

Palavras-chave: Condutividade térmica. Fluxo de calor. Amostras. Teor de umidade.

ABSTRACT

SILVA, Helen Correia. **Thermal behavior *Tectona grandis* L. f. and *Pinus elliottii* Engelm.** 2021. 34 f. Course Conclusion Paper (Graduation in Forest Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Dois Vizinhos, 2021.

Wood is one of the best elaborated materials of organic origin, presenting a set of physical and mechanical characteristics hardly found in other materials, in addition to an innumerable variation of aesthetic patterns. Knowing the technological behavior of wood from different forest species, native or exotic, is essential to increase the alternatives for their use. Among its properties, thermal conductivity is important, which indicates the measurement of heat flow through the thickness of the material, subject to a temperature difference. In this work, temperature measurements were made on samples of two species and the thermal conductivity was calculated using a mathematical model. This study was carried out on the Campus of the Federal Technological University of Paraná, in the municipality of Dois Vizinhos. A total of twenty samples were kept in an air-conditioned environment with constant moisture contents, measured dimensions and their calculated densities. The data were obtained through a prototype built like a box and a heat source, simulating the passage of energy through the material. It was verified through the data collected that the pine samples showed higher thermal conductivity, due to factors such as the moisture content and their cellular constitution. Statistical analyzes revealed a moderate dispersion, in the order of up to 19% in the variation coefficient.

Keywords: Thermal conductivity. Heat flow. Samples. Moisture content.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 6 |
| 2. OBJETIVO..... | 8 |
| 2.1 Objetivo geral | 8 |
| 2.2 Objetivos específicos | 8 |
| 3. REFERENCIAL TEÓRICO | 9 |
| 3.1 CARACTERÍSTICAS DAS ESPÉCIES..... | 9 |
| 3.1.1 <i>Tectona grandis</i> L.f..... | 9 |
| 3.1.2 <i>Pinnus elliotti</i> Engelm | 10 |
| 3.2 Diferenças entre folhosas e coníferas..... | 11 |
| 3.3 Propriedades da madeira | 11 |
| 3.4 Propriedades térmicas da madeira..... | 12 |
| 3.5 Transferência de calor | 13 |
| 4. METODOLOGIA..... | 15 |
| 4.1 Confecção do protótipo | 15 |
| 4.2 DADOS ALCANÇADOS COM MEDIÇÕES NAS PEÇAS DE MADEIRA | 23 |
| 4.2.1 Densidade Aparente | 23 |
| 4.3 Modelo matemático para o cálculo de condutividade térmica das amostras. | 24 |
| 4.4 Análise Estatística..... | 27 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 28 |
| 6. REFERÊNCIAS | 30 |

1. INTRODUÇÃO

Desde o aparecimento do homem sobre a Terra até os dias atuais a madeira é um dos materiais de utilização mais antigos nas construções, gerando muitas vantagens por ser um produto natural, renovável, apresentar fácil trabalhabilidade, boa durabilidade, massas volumétricas baixas e resistência mecânica elevada, além de ser um excelente isolante térmico, devido principalmente à sua estrutura celular. Podendo ser tanto em utensílios, na construção civil e como também em revestimentos internos e externos, onde se busque o impedimento de variações acentuadas de temperatura.

No relatório da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2021), o Brasil apresentou uma área total de 9 milhões de hectares com árvores plantadas, como eucalipto, pinus e demais espécies para a produção de painéis de madeira, pisos laminados, celulose, papel, produção energética e biomassa.

Conhecer o comportamento tecnológico através de suas propriedades de madeiras de diferentes espécies florestais, nativas ou exóticas, é fundamental para aumentar as alternativas de uso das mesmas.

Assim sendo, as propriedades térmicas desses materiais devem ser estudadas para que características importantes como o comportamento térmico possam ser identificadas e auxiliem no entendimento sobre transmissão e ou isolamento da energia. Com isso, toda edificação seja ela habitacional, em barcos ou ambientes de visitação, possa garantir um melhor aproveitamento e conforto para seus usuários.

A condutividade térmica (k) de cada espécie depende da sua densidade, teor de umidade, teor de extrativos, direção da grã e pelas irregularidades estruturais (MORESCHI, 2010). Neste trabalho, o objetivo foi determinar a condutividade, com gradiente de temperatura em peças pequenas de madeira maciça de uma espécie conífera (*Pinus. elliotii Engelm*) e uma espécie folhosa (*Tectona. grandis L.f*), por meio de cálculos matemáticos baseados a partir da lei de Fourier.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Determinar a condutividade térmica de *Tectona grandis* L.f. e *Pinus elliottii* Engelm.

2.2 Objetivos específicos

- Calcular a densidade (d) aparente das madeiras utilizadas;
- Calcular a condutividade térmica em razão das folhosas e coníferas em função da densidade;
- Avaliar o comportamento das diferentes espécies em relação ao teste de condutividade térmica em ambas as madeiras;
- Construir um protótipo tipo caixa para realização de medidas de temperaturas;
- Obter respostas sobre a funcionalidade do protótipo construído;
- Comparar os resultados com resultados estudos já realizados;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CARACTERÍSTICAS DAS ESPÉCIES

3.1.1 *Tectona grandis* L.f.

Popularmente conhecida como Teca, a *Tectona grandis*, é uma espécie natural da Ásia, Tailândia e do Laos, foi introduzida há centenas de anos, na Indonésia e no Sri Lanka. Sendo considerada imune à ação dos fungos apodrecedores e insetos, podendo ser enterrada, exposta ao tempo ou à água do mar sem sofrer grandes estragos (MOTTA et al., 2013). Ocupa espaço de destaque no mercado entre as principais espécies produtoras de madeira tropical. Sua madeira não empena e pouco se contrai durante a secagem, sendo destinada para usos nobres, como marcenaria, decoração de ambientes (internos e externos), produção de pisos, laminados, entre outros (PELISSARI, CALDEIRA e DRESCHER, 2013).

A madeira dessa espécie é encontrada em cultivos distribuídos pelo mundo, inclusive no Brasil, como na região de Cárceres – MT, onde se teve os primeiros plantios da espécie, com condições edafoclimáticas benéficas para seu desenvolvimento e crescimento. Onde seu ciclo de reprodução reduziu de 80 para 25 anos, quando associado a tratamentos silviculturais adequados (SANGUINO, 2009).

Segundo Fonte (2014), as florestas de teca no Brasil, representam uma área plantada de 67.000 ha, sendo a 6ª espécie mais plantada no Brasil, principalmente nos estados de Mato Grosso, Pará e Roraima.

É uma árvore de grande porte, tronco retilíneo e de rápido crescimento, contendo um óleo que impede a corrosão de pregos. Seu alburno é estreito e claro, bem diferenciado do cerne, cuja coloração é marrom viva e brilhante explica Rocha, Leonardo e Oliveira (2015). Com massa específica média de 0,67 g/cm³, aproximando-se do cedro e do mogno de 0,54 e 0,63 g/cm³ respectivamente (IPT, 2020).

3.1.2 *Pinus elliotti* Engelm

O gênero *Pinus* contém mais de 126 espécies, são originárias do hemisfério norte. Apresentam cerca de 100 espécies com grande potencial a ser explorado. Pertencente à família Pinaceae apresenta uma madeira de coloração branco amarelado no alburno e com o cerne marrom avermelhado, que começa a se formar quando a árvore se aproxima de 20 anos (SANTINI, HASELEIN, GATTO, 2000).

Para Rodrigues (2008), a espécie *Pinus elliotti* Engelm, é nativa do sudeste dos EUA, sendo muito cultivada em regiões de clima subtropicais, na Índia, China e Brasil. Em termos mundiais as coníferas preferivelmente o gênero de *Pinus* spp. estão sendo estimulada quimicamente para produção de resina desde os anos 70, com incentivos fiscais. Ainda de acordo com a autora, no Brasil, a extração de resina teve início na década de 80 em florestas dessa espécie bem desenvolvida no sul do país e sendo a que melhor produz resina, inferior apenas a *P. caribaea*, porém com qualidade inferior de terebintina. (EMBRAPA, 2014).

A árvore pode atingir mais de 30 metros de altura e sua copa diminui de tamanho com o crescimento. A madeira com densidade específica baixa, em torno de 0,42 g/ cm³, possui uma boa trabalhabilidade, é empregada pelas indústrias de madeira, serrados e laminados, chapas, celulose e papel também por conta da sua resina (RODRIGUES,2008).

Com áreas plantadas em São Paulo até o Rio Grande do Sul nos últimos anos a utilização de *Pinus* na indústria madeireira brasileira tem sido crescente. As estimativas indicam que 35% do volume de madeira serrada produzida é formado de madeira desse gênero existindo no país aproximadamente, 1,5 milhões de hectares de plantações (VALERI, PAULA, 2009).

3.2 Diferenças entre folhosas e coníferas

De acordo com Gonzaga (2006), a organização estrutural das madeiras de coníferas é relativamente simples. É constituída de traqueídeos longitudinais que constituem 90-95% do volume das coníferas, os quais possuem duas funções, a de conduzir seiva bruta e manterem a estrutura do tronco. As células radiais constituem o restante do xilema das coníferas, mostrando que as mesmas possuem poucos tipos de células, sendo responsáveis por levarem seiva elaborada para o interior da planta (KLOCK,2013).

As folhosas, entretanto, são compostas de quatro principais tipos de células, cada tipo pode constituir cerca de 15% ou mais do volume do xilema. A função de sustentação é desempenhada pelas fibras, enquanto que a de condução é desempenhada pelos vasos, que quando observados na face transversal da madeira são denominadas de poros (KLOCK,2013). O parênquima axial é encarregado pelo armazenamento de seiva e por último, os raios ou parênquima radial que são fundamentais para o armazenamento, transformação e condução transversal de seiva elaborada (GONZAGA,2006).

3.3 Propriedades da madeira

Como produto de um processo inteiramente orgânico, a madeira é um material heterogêneo e natural que possui diferentes e complexos tipos de células adaptadas a desempenharem funções específicas na árvore. Constituída por tecidos que são responsáveis pelas características futuras da madeira, sendo influenciados por fatores edafoclimáticos, silviculturais, topográficos entre outros (MELLO,2007).

De acordo com o mesmo autor, as propriedades físicas e mecânicas diferem entre espécies, pois diferentes espécies de árvores apresentam diferentes composições celulares. Entre indivíduos da mesma espécie, divide-se em fatores genéticos e ambientais e dentro de um mesmo indivíduo em função de fatores genéticos, ambientais e principalmente em função da idade. A densidade básica em função da idade da árvore em geral aumenta

aceleradamente durante o período juvenil, depois mais lentamente até atingir a maturidade, permanecendo mais ou menos constante.

Algumas propriedades da madeira são relativas à sua formação, sendo as que irão estabelecer a identificação, a resistência, sua durabilidade, qualidade do seu beneficiamento e geração de produtos. Agrupadas em propriedades anatômicas, mecânicas, químicas e físicas que englobam as características próprias da espécie como cor, cheiro, textura, grã, estabilidade dimensional, teor de umidade, densidade, condutibilidade elétrica e propriedades térmicas e acústicas. (LOBÃO, et al., 2004).

Uma das propriedades mais importantes é a massa específica aparente a 12%, que pode ser classificada como o acordo dos seus distintos tipos celulares, reproduzindo a quantidade de material lenhoso, Moreschi (2012), tornando uma das propriedades mais importantes da madeira, sendo facilmente determinada, sua relação entre a massa (g) e o volume (cm³) de um corpo (TRAUTENMULLER, et al., 2014).

Sendo a umidade outra propriedade importante, se sabe que, devido a massa específica de uma árvore recém cortada estar em função das águas contidas nos espaços celulares e intracelulares, é capaz de surgir alterações diferentes em suas dimensões nos três diferentes sentidos anatômicos da madeira (MORESCHI, 2012). Controlar o teor de umidade da madeira é substancial, evitando a formação de defeitos, desde torções, empenamento, rachaduras, fendas, torções, etc. O teor de umidade corresponde à relação entre a massa da água nela contida e a massa da madeira seca (LOBÃO, et al., 2014).

3.4 Propriedades térmicas da madeira

A condutividade térmica (k) é uma propriedade que indica a medida do fluxo de calor através de uma unidade de espessura de um material, sujeita a uma diferença de temperatura. Ela é afetada pela densidade, direção da grã, teor de umidade e extrativos e também pelas irregularidades estruturais (MELLADO, 2007). De acordo com Mello (2007) a condutividade térmica em madeiras, atinge valores muito pequenos quando verificado com outros

materiais. Isso se deve a sua estrutura porosa, pobre em elétrons livres (responsáveis pela rápida transmissão de energia) e a porção de ar existente em seu interior.

Diferentemente de materiais homogêneos, o fluxo de calor pela madeira varia em cada direção anatômica, em função de fatores citados acima e também pela temperatura. Portanto quanto maior for a sua densidade, seu teor de umidade e extrativos e maior for o aumento da temperatura, maior será a condutividade térmica deste material (MELLO,2007). Sendo assim, madeiras com baixas densidades e baixas umidades são melhores isolantes térmicos. Em madeiras a direção tangencial e radial a condutividade é aproximadamente a mesma, sendo essa condutividade maior nos sentidos das fibras, já no sentido radial pode chegar de 1,5 a 2,8 vezes maior do que no sentido longitudinal (SALES e PAPANI, 2006).

Outra propriedade é o calor específico, sendo esse a capacidade de reter calor em kcal ou kJ, para que haja aumento de 1° C de temperatura em um quilo de matéria. Essa propriedade é definida como a quantidade de energia necessária para aumentar a temperatura de uma substância de massa conhecida (MELLO,2007).

Para Moreschi (2010), o calor de transformação da madeira seca com 0% de umidade o valor é de 0,324 kcal/Kg°C, sendo esse valor menor que o da água (1,0 kcal/kg°C), havendo, portanto, um calor de transformação adicional, devido a absorção de energia, pela existência das ligações químicas madeira-água.

3.5 Transferência de calor

A condução de calor decorre em razão das ações atômicas e moleculares, assim sendo como a transferência de energia das partículas mais energéticas para as menos energéticas de um elemento em consequência das interações entre partículas (FRANÇA, 2011). Ocorrendo na forma de radiação, condução e convecção.

Segundo Bastos e Valério (2016), a radiação térmica, também conhecida como irradiação, é uma forma de transferência de calor que ocorre

por meio de ondas eletromagnéticas. O calor é transmitido de um corpo de alta temperatura para um de menor temperatura. Como essas ondas podem se propagar no vácuo, não é necessário que haja contato entre os corpos para haver transferência de calor. É denominado de calor radiante quando transmitido dessa forma.

O calor também pode ser transferido de um meio para o outro por meio da condução. Quando há gradiente de temperatura num meio estacionário sólido, líquido ou gasoso. O calor flui de uma região de temperatura mais alta para outra e temperatura mais baixa. Essa agitação será transmitida de molécula para molécula até que todo o objeto fique aquecido. Ocorrendo assim a condução do calor, a energia propaga-se em virtude da agitação molecular (BARROSA, 2004).

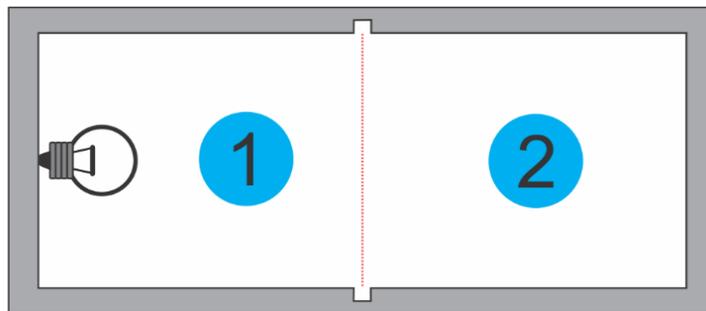
Ainda para o mesmo autor, a convecção, que é a forma de transferência de calor comum para os gases e líquidos, processo esse que transporta energia pela combinação da condução de calor, armazenamento de energia e movimento de mistura. A convecção é um processo importante como um mecanismo de movimentação de energia de uma superfície sólida e um líquido ou gás.

4. METODOLOGIA

4.1 Confeção do protótipo

Para determinar a condutividade térmica das amostras um aparato de madeira em forma de caixa foi construído de modo que a inserção da amostra cria dois ambientes distintos 1 e 2 com a amostra os separando, conforme ilustrado na Figura 1. Uma lâmpada incandescente de potência nominal de 100W foi utilizada como elemento de aquecimento.

Figura 1- Ilustração da caixa teste.

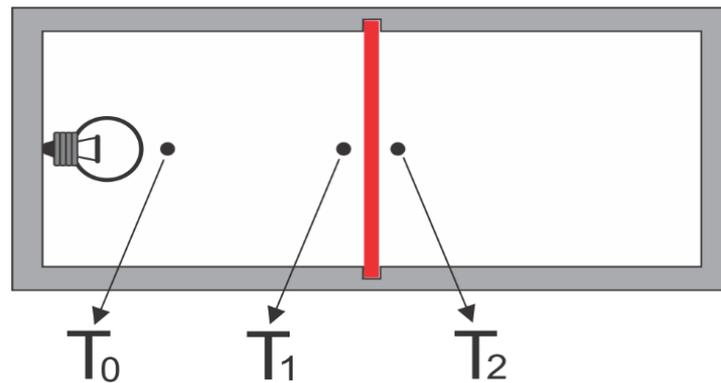


Fonte: A Autora, 2021.

Para as medidas de temperatura foram utilizados termopares do tipo K onde 3 sensores foram posicionados em linha. O sensor T_0 , T_1 e T_2 dista 1 cm da lâmpada e os sensores 1 e 2 dista também 1 cm da amostra, conforme ilustrado na Figura 2.

A Figura 2 ilustra a caixa vista de cima, logo não informa a posição da altura dos sensores bem como da lâmpada. Porém esses 4 itens mencionados encontram-se em meia altura da caixa.

Figura 2 – Localização dos termopares.



Fonte: A Autora, 2021.

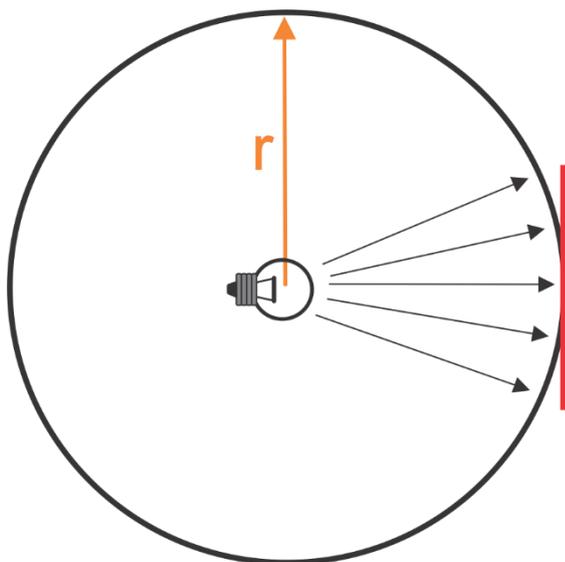
Para obter a condutividade térmica das amostras é necessária uma diferença de temperatura entre os ambientes 1 e 2 ilustrados na figura anterior. Para os testes foi escolhida uma temperatura fixa de 50°C a ser medida no sensor T_0 . A temperatura foi controlada manualmente utilizando um dimmer de lâmpada. A determinação da potência irradiada pela lâmpada foi feita com base nas medidas da corrente elétrica, onde foi utilizado um alicate amperimétrico.

As três medidas de temperatura, corrente elétrica eram feitas em intervalos de 5 minutos durante 50 minutos, de modo a obter dados suficientes para um ajuste matemático exponencial e assim obter com maior precisão a temperatura de estabilização nos dois lados da amostra (T_1 e T_2).

De acordo com a Lei de Fourier, para a determinação da condutividade térmica é preciso conhecer ou ao menos estimar o fluxo de calor (Φ) que atravessa a amostra. Para este trabalho isso foi determinado utilizando a geometria espacial com algumas aproximações.

Considerou-se em primeiro lugar que a radiação emitida pela lâmpada é espalhada igualmente em todas as direções do espaço. Considerou-se também que a parcela da radiação que é absorvida pela amostra é igual a um elemento de área de uma esfera de raio r (distância entre a lâmpada e a amostra), como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Ilustração da parcela de radiação absorvida pela amostra.



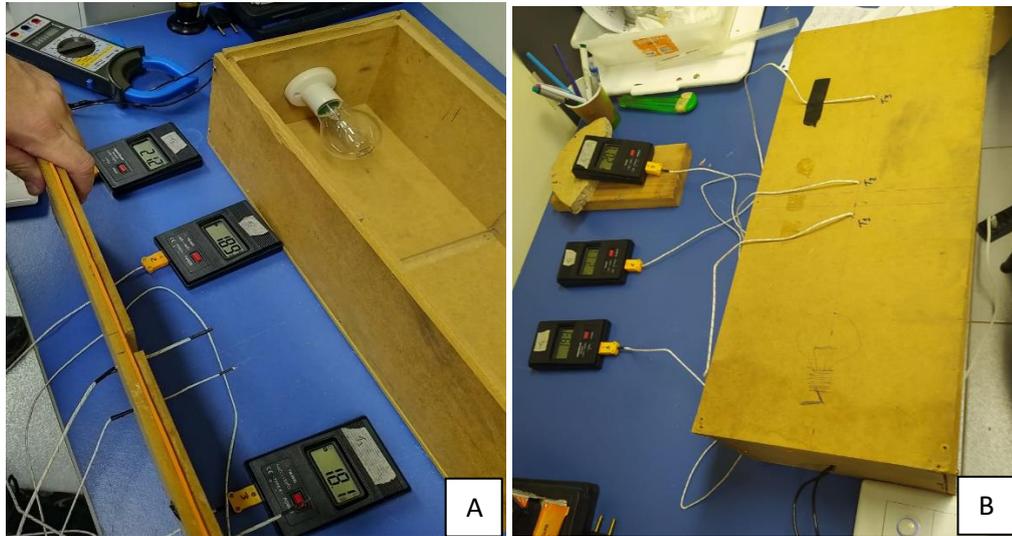
Fonte: A Autora, 2021.

Deste modo a energia que atravessa a amostra é aproximadamente a mesma energia que passa por um elemento de área dessa esfera, cuja área seja a mesma da amostra. Logo, pode-se determinar por regra de três simples um primeiro fator de correção para a potência irradiada pela lâmpada.

Sabe-se também que a lâmpada de Thomas Edison converte aproximadamente 90% da energia elétrica em energia térmica, com isso chega-se a um segundo fator de correção para a potência irradiada pela lâmpada. Esses fatores corretivos são descritos na seção dos resultados.

A caixa é composta por uma parede de 2 cm de espessura de MDF, as peças com encaixes laterais possuem material emborrachado do tipo “e.v.a”, para reter ou minimizar as trocas de energia com o ambiente. Como mostra a fotografia 1.

Fotografia 1 – Caixa finalizada.

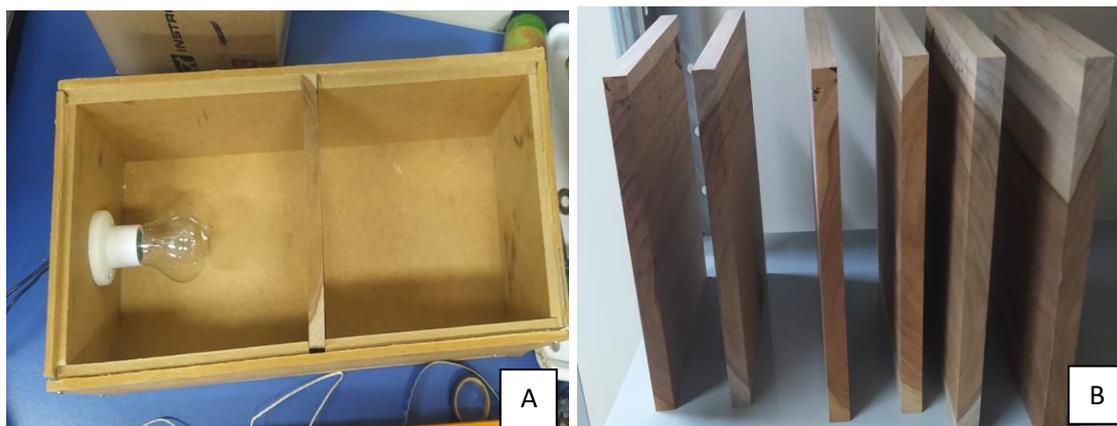


Onde: A= Caixa aberta; B= caixa fechada com os termopares acomodados.

Fonte: A Autora, 2021.

A caixa em sua parte externa possui medidas de 49,3 cm de comprimento e 21 cm de largura por 16,5 cm de altura e uma inserção central com espessura de 1,6 cm para comportar os tamanhos dos corpos de prova. Utilizando duas distintas espécies madeireiras *T. grandis* e *P. elliotii*, ambas apresentam cortes tangenciais e são provenientes de serrarias da região. Sendo 10 amostras de cada espécie, resultando em vinte corpos de provas. Todas as peças apresentam dimensões médias de 19 cm x 14,7 cm x 1,5 cm (Fotografia 2).

Fotografia 2 – Caixa finalizada.



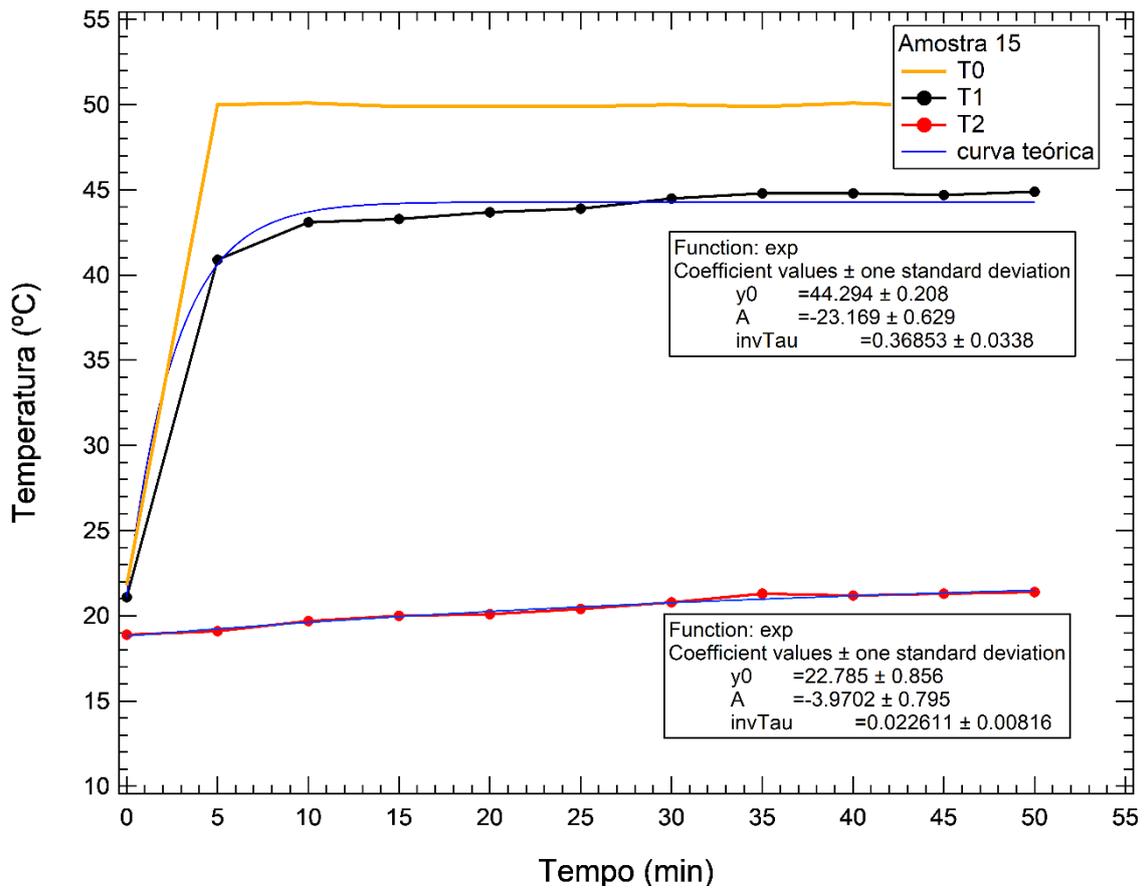
Onde: A= Caixa pronta com o corpo de prova posicionado no centro do protótipo; B= Corpos de prova. **Fonte:** A Autora, 2021.

Obtenção dos dados

Antes de iniciar o processo de obtenção de dados, as peças para os testes, foram submetidas a uma sala de climatização com temperatura de 20° C e umidade relativa de 65% para atingirem umidade de equilíbrio de 12% a 15 % (ABNT NBR 7190). As mesmas foram pesadas em balança analítica presente no laboratório até atingirem massas constantes. Medidas de suas dimensões foram feitas para posteriormente calcular sua densidade.

Os resultados das variações térmicas ao longo do tempo foram submetidos ao software IGOR Pro, o qual, analisou através do gráfico obtido resultando na curva exponencial teórica da medida como mostra a Figura 4.

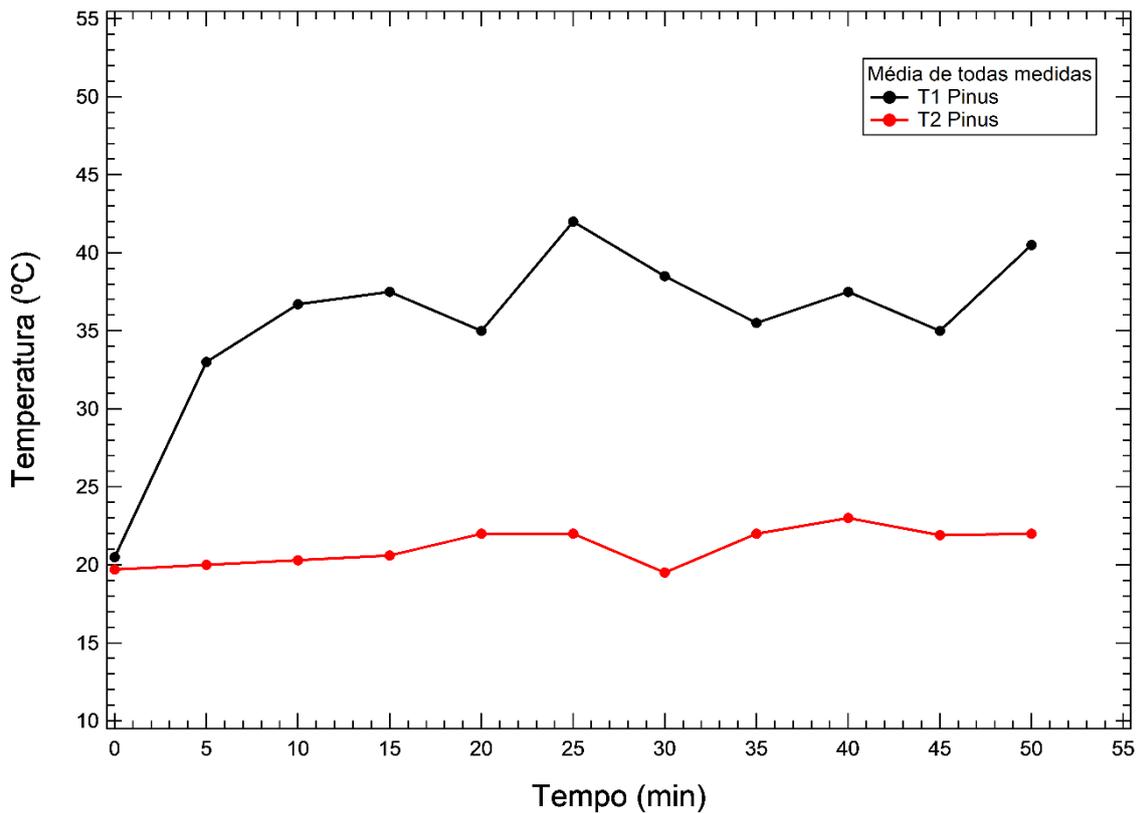
Figura 4- Imagem de um dos gráficos gerados para cada amostra (amostra 15, Teca).



Fonte: A Autora, 2021.

O gráfico da Figura 4 mostra como exemplo as temperaturas obtidas ao longo do tempo, onde T_0 (linha amarela) demonstra a temperatura de 50° que se manteve constante, T_1 (linha preta) apresenta uma temperatura estabilizada em 44,3 °C e T_2 (linha vermelha) em 22,8°C, onde os valores estabilizados foram obtidos através da curva exponencial teórica gerada por software. Os gráficos da figura 5 e 6, mostram as temperaturas médias de todos os dez corpos de provas das duas espécies ao final das leituras.

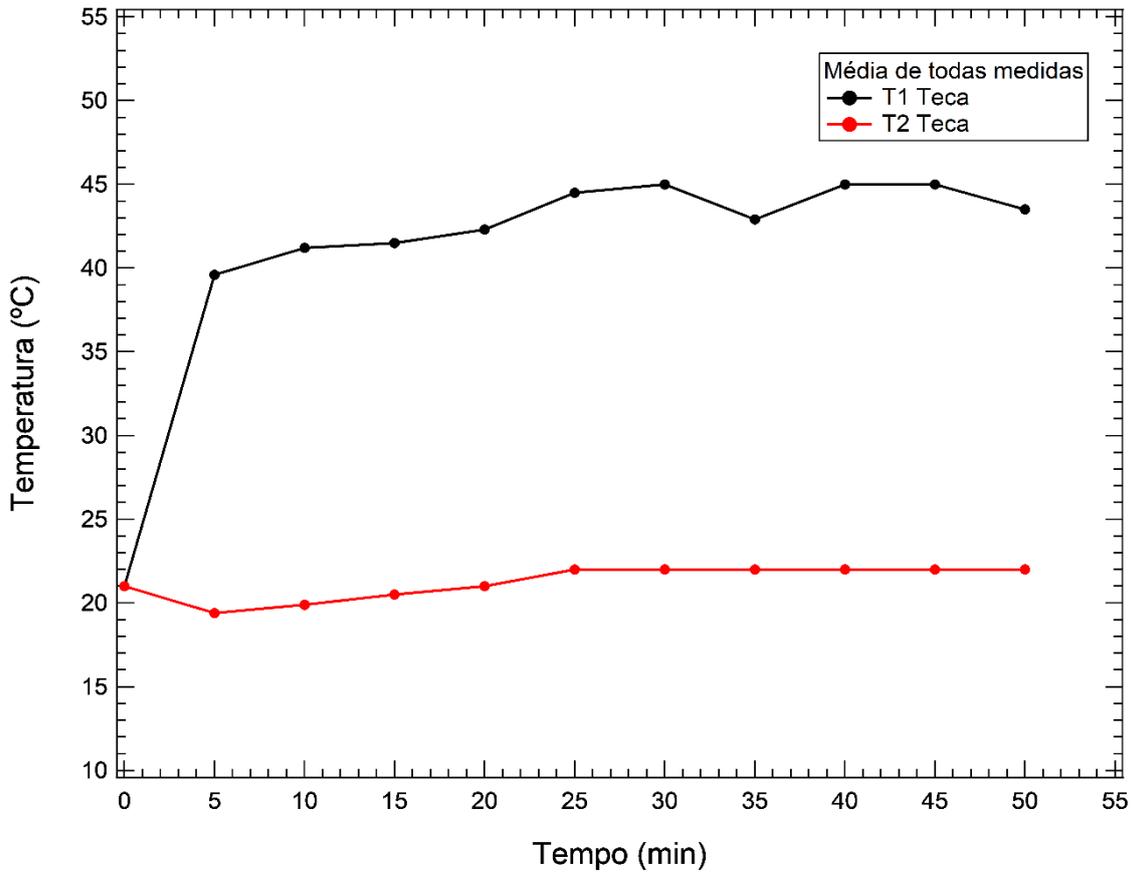
Figura 5- Imagem das médias de todos os resultados das amostras de Pinus.



Fonte: A Autora, 2021.

A Figura 5 do gráfico para espécie de Pinus mostra as temperaturas médias alcançadas em todas as dez amostras em cada período de tempo, onde T_1 (linha preta) demonstra que a temperatura média mais alta que chega até o corpo de prova na espécie de Pinus foi de 43°C e a menor com 21°C. Já as temperaturas de T_2 (linha vermelha), que percorreram pelas amostras, mostram que a temperatura média mais baixa foi de 19°C e a mais alta de 22°C.

Figura 6- Imagem das médias de todos os resultados das amostras de Teca.



Fonte: A Autora, 2021.

O gráfico da Figura 6 de todas as amostras testadas da espécie de Teca, mostra na temperatura T_1 (linha preta), a qual chega até a parede dos corpos de prova, que o valor médio mais alto alcançado ao longo de todas as medições foi de 44°C e 21°C como a temperatura mais baixa. Nas médias de temperatura que atravessaram a parede, ou seja, T_1 (linha vermelha), se observa que a média dos valores alterou pouco, sendo 19°C a temperatura mais baixa e 21°C quase que constante para todas as dez amostras com o mesmo intervalo de tempo para todas.

4.2 DADOS ALCANÇADOS COM MEDIÇÕES NAS PEÇAS DE MADEIRA

4.2.1 Densidade Aparente

Valores de densidades foram obtidos através de cálculos sugeridos por Moreschi (2006), com a equação de que relação entre massa (g) e volume (cm³) de um corpo, equivalem a sua densidade (g/cm³).

$$D = \text{massa} / \text{volume (g/cm}^3\text{)}$$

A densidade aparente considera o volume total da amostra, incluindo o volume dos poros presentes. Tais valores foram calculados quando as peças de madeira estavam em ambiente controlado, com teor de umidade em equilíbrio, com condições climáticas padronizadas (Tabela 1).

Tabela 1- Quadro de valores de densidade aparente.

| <i>Pinus</i> | | | | <i>Teca</i> | | | |
|--------------|-----------|---------------------------|-------------------------------|-------------|-----------|---------------------------|-------------------------------|
| Amostra | Massa (g) | Volume (cm ³) | Densidade (g/m ³) | Amostra | Massa (g) | Volume (cm ³) | Densidade (g/m ³) |
| 1 | 215,72 | 397,19 | 0,543 | 1 | 245,04 | 393,68 | 0,622 |
| 2 | 212,89 | 406,77 | 0,523 | 2 | 246,61 | 424,65 | 0,580 |
| 3 | 198,66 | 401,96 | 0,494 | 3 | 239,32 | 421,8 | 0,567 |
| 4 | 193,72 | 392,44 | 0,493 | 4 | 251,96 | 407,55 | 0,618 |
| 5 | 211,83 | 400,51 | 0,528 | 5 | 247,95 | 402,59 | 0,615 |
| 6 | 218,07 | 404,68 | 0,538 | 6 | 244,63 | 423,36 | 0,577 |
| 7 | 206,85 | 397,19 | 0,520 | 7 | 246,83 | 400,51 | 0,616 |
| 8 | 203,47 | 401,31 | 0,507 | 8 | 252,77 | 393,07 | 0,643 |
| 9 | 212,99 | 404,04 | 0,527 | 9 | 252,2 | 397,82 | 0,634 |
| 10 | 196,87 | 403,36 | 0,488 | 10 | 244,21 | 400,51 | 0,609 |
| | | | 0,516 | | | | 0,608 |

Fonte: A Autora, 2021.

4.3 Modelo matemático para o cálculo de condutividade térmica das amostras.

O modelo matemático que descreve o processo de condutividade térmica foi desenvolvido com base na Lei de Fourier (Halliday, Resnick e Walker, 2007). Para se adequar a tal lei, neste trabalho considerou-se que a fonte de energia utilizada apresente 90% da sua energia transformada em calor e somente 10% da energia seja transformada em luz (Departamento de eletroeletrônica, 2017), obtendo desse modo um fator de correção de 0,9 para a potência irradiada.

Sabendo que a lâmpada irradia energia para todas as direções, foi determinado o outro fator de correção para a potência da lâmpada que chega apenas na área da amostra, onde:

$$A = 4 \cdot \pi \cdot r^2 \quad (cm^2)$$

Onde: A = Área total da esfera (100%)

r = Distância da lâmpada;

$$A = 4 \cdot \pi \cdot r^2$$

$$A = 4 \cdot \pi \cdot 10,5^2$$

$$A = 1385,4 \text{ cm}^2$$

Conhecendo as dimensões dos corpos de prova que apresentam 19 cm comprimento por 14,7 cm de largura, temos como resultado do produto 279,3 cm² de área dos mesmos. Consequentemente temos:

$$A_e = 1385,4 \text{ cm}^2 \text{ ----- } 100\%$$

$$A_a = 279,3 \text{ cm}^2 \text{ ----- } x$$

$$x = 20,2 \% \text{ ou } 0,202$$

Onde: A_e = Área da esfera;

A_a = Área da amostra;

A partir desses cálculos, o fator de correção para a potência irradiada pela lâmpada é

$$\Phi = 0,9 \cdot (0,202) \cdot P_L \text{ (W)}$$

Onde: Φ = Fluxo de calor;

P_L = Potência da lâmpada ao longo do tempo;

Para obter os valores da potência da lâmpada (P_L), deve-se calcular a partir da seguinte equação:

$$P_L = i \cdot U \text{ (W)}$$

Onde: i = Corrente elétrica média, ao longo do experimento;

U = Tensão elétrica (110V);

Considerando os cálculos de fator de correção, a fórmula final para a obtenção dos valores relativos a condutividade térmica se dá por:

$$K = \Phi \cdot L / A \cdot \Delta T \text{ (W/m}^\circ\text{C)}$$

Onde: Φ = Fluxo de calor;

L = Espessura do material;

A = Área do material;

ΔT = Variação da temperatura;

Todas as vinte amostras foram testadas e seus valores de condutividade térmica são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Quadro com informações de corrente média, temperatura média 1, temperatura média 2, variação de temperatura, fluxo de calor e condutividade térmica.

| Amostra | I médio (A) | T ₁ (°C) | T ₂ (°C) | ΔT(°C) | (Φ) (W) | K (W/m°C) |
|------------|-------------|---------------------|---------------------|--------|---------|-----------|
| Amostra 1 | 0,30 | 32,3 | 23,3 | 9,00 | 6,0 | 0,358 |
| Amostra 2 | 0,40 | 42,0 | 23,6 | 18,4 | 8,0 | 0,233 |
| Amostra 3 | 0,42 | 44,7 | 22,9 | 21,8 | 8,4 | 0,207 |
| Amostra 4 | 0,41 | 43,5 | 22,9 | 20,6 | 8,2 | 0,214 |
| Amostra 5 | 0,33 | 35,8 | 20,9 | 14,9 | 6,6 | 0,238 |
| Amostra 6 | 0,31 | 34,5 | 24,1 | 10,4 | 6,2 | 0,320 |
| Amostra 7 | 0,35 | 37,3 | 21,2 | 16,1 | 7,0 | 0,233 |
| Amostra 8 | 0,34 | 35,6 | 23,3 | 12,3 | 6,8 | 0,297 |
| Amostra 9 | 0,39 | 38,4 | 25,7 | 12,7 | 7,8 | 0,330 |
| Amostra 10 | 0,42 | 39,9 | 22,6 | 17,3 | 8,4 | 0,261 |
| Amostra 11 | 0,37 | 35,7 | 24,4 | 11,3 | 7,4 | 0,352 |
| Amostra 12 | 0,37 | 38,9 | 22,6 | 16,3 | 7,4 | 0,244 |
| Amostra 13 | 0,43 | 41,6 | 23,4 | 18,2 | 8,6 | 0,254 |
| Amostra 14 | 0,46 | 41,3 | 22,5 | 18,8 | 9,2 | 0,263 |
| Amostra 15 | 0,45 | 44,3 | 22,8 | 21,5 | 9,0 | 0,225 |
| Amostra 16 | 0,47 | 44,3 | 25,2 | 19,1 | 9,4 | 0,264 |
| Amostra 17 | 0,45 | 45,0 | 23,1 | 21,9 | 9,0 | 0,221 |
| Amostra 18 | 0,43 | 45,0 | 23,1 | 21,9 | 8,6 | 0,211 |
| Amostra 19 | 0,42 | 45,7 | 22,4 | 23,3 | 8,4 | 0,194 |
| Amostra 20 | 0,43 | 44,7 | 23,5 | 21,2 | 8,6 | 0,218 |

Fonte: A Autora, 2021.

A análise dos resultados obtidos indicou que as amostras da espécie de Teca apresentam um valor médio de densidade maior, quando comparadas com a de Pinus, logo, mais tempo é necessário para o aquecimento das mesmas. Da mesma forma, os valores da corrente elétrica (i) aumentam quando correlacionados com as amostras do material de menor densidade, pois se faz necessário uma corrente elétrica com maior intensidade para que ocorra o aquecimento. Visto que existe uma relação de dependência entre condutividade térmica, massa específica e calor específico.

Se tratando de temperatura, quanto maior for o calor em que a madeira for exposta, maior será o fluxo através da mesma, com isso, os resultados alcançados em condutividade térmica, mostraram que quanto menores foram os valores da corrente elétrica e do fluxo de calor, maiores foram as resultantes da condutividade, como se vê nas amostras de Pinus. Além desses índices, a quantidade de extrativos e o teor de umidade presente em cada espécie do mesmo modo, podem modificar sua condutividade.

4.4 Análise Estatística

Com os resultados gerados, medidas de dispersão foram feitas para uma melhor análise dos dados. O desvio padrão, média e coeficiente de variação das duas diferentes amostras foram encontradas por meio do software Excel 2010 (Tabela 3).

Tabela 3- Quadro com os valores referentes a dispersão de dados.

| Espécie | Desvio Padrão | Coef. De Variação (%) | Média (<i>k</i>) |
|---------|---------------|-----------------------|--------------------|
| Pinus | 0,053206 | 19,77141 | 0,269 |
| Teca | 0,044327 | 18,13656 | 0,244 |

Fonte: A Autora, 2021.

Observando os resultados do desvio padrão das espécies, conclui-se que o trabalho apresentou um médio grau de dispersão a partir da média das amostras, com resultados de 0,053 para Pinus e 0,0443 para Teca, indicando que existe uma variabilidade dos dados em relação à média.

Quanto ao coeficiente de variação, que indica uma medida de dispersão que descreve a oscilação dos dados obtidos em relação à média da condutividade de cada espécie, os valores encontrados são considerados médios pois estão a baixo do valor de referência segundo Mohallem (et al., 2008). Indicando que os dados nas duas espécies infelizmente apontam uma média precisão nos dados do estudo, onde as peças de Pinus exibem maior variação do que as peças de Teca em relação ao valor médio final de suas condutividades térmicas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Diferente de materiais homogêneos, o fluxo de calor pela madeira varia em cada direção anatômica, devido a irregularidades estruturais, para eliminar esse fator, os corpos de prova das duas espécies possuem a mesma direção anatômica.

Os resultados dos cálculos de densidade mostraram que as peças de Teca possuem um valor maior que as peças de Pinus, 0,610 (g/cm³) e 0,510 (g/cm³) respectivamente. A exposição de calor médio que a Teca sofreu foi de 27,3° C a mais que o Pinus, com um fluxo de calor médio de 8,56 (W), sendo maior que as amostras da conífera com 7,34 (W). Tais fatores facilitariam o transporte de energia por condução nas amostras. Entretanto, nos dados obtidos esses fatores não se sobressaíram, não contribuindo, portanto, para uma melhor condutividade térmica.

Segundo França (2011) e Moreschi (2012), quanto maior o teor de extrativos e o teor de umidade presentes na madeira, maior serão os valores de condutividade térmica. As amostras permaneceram em ambiente controlado, não divergindo muito os teores de umidade entre ambas, que permaneceram entre 11 e 12%. A quantidade de extrativos presente na espécie de Pinus é o que pode explicar o valor médio da condutividade térmica, que mostraram média de 0,269 W/m°C, sendo maior que a condutividade encontrada na espécie de Teca com 0,244 W/m°C.

As resultantes deste trabalho estão em concordância com valores de condutividade térmica em madeiras apresentadas no estudo de França (2011), sobre modelagem de transferência de calor em madeira de Pinus sp., visto que os resultados apresentados pelo mesmo variam de 0,314 e 0,443 (W/ m°C). No estudo feito por Almeida (2013), que analisou o comportamento térmico de paredes de madeira, os valores médios de suas condutividades foram de 0,23 e 0,29 (W/ m°C) os quais também coincidem com os resultados do presente trabalho.

Através dessas semelhanças conclui-se que o protótipo criado de maneira rápida e barata, para a realização dos testes em visa da obtenção da condutividade térmica (k) é funcional, possibilitando o uso da mesma para

realização de outros trabalhos que visem medidas de temperaturas, de condução de calor ou até mesmo para medidas de isolamento térmico.

6. REFERÊNCIAS

ABRAF, Anuário est, artístico da ABRAF 2013. Ano base 2012.130f. Brasília, 2013. **Associação brasileira de normas técnicas (ABNT)**. NBR 15.575 – Desempenho de edificações habitacionais. Disponível em: < <https://www.abntcatalogo.com.br/curs.aspx?ID=157>> Acesso em: 22 de setembro de 2019.

Associação brasileira de normas técnicas (ABNT). **Projetos de estruturas de madeira**. Disponível em : <<https://www.google.com/search?q=abnt+nbr+7190&oq=abnt+nbr+7190&aqs=chrome..69i57j0l2j69i61l3.11644j1j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8>> Acesso em : 22 de setembro de 2019.

ALMEIDA, J.A.P.L.; Análise da do comportamento térmico de paredes de madeira. Universidade Estadual Paulista – Júlio Mesquita Filho. p. 4-62. Campus experimental de Itapeva- SP, 2013.

BARROSA, M.R.; **Princípios Fundamentais da Transferência de Calor**. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. p.1-48. São Paulo - SP, 2004.

BASTOS, L.S.; VALÉRIO, B.G.; **Estudos de Transferência de Calor em um Forno de Mufla**. Universidade de Brasília - UnB Faculdade UnB Gama – FGA. Curso de Engenharia de Energia. p. 1-100. Brasília- DF, 2016.

BORGES, F.; Cidade de MT foi a mais quente do Brasil nessa segunda com 44,6°C. Mato Grosso, 2020. **Portal de notícias G1**. Disponível em < <https://g1.globo.com/mt/mato-grosso/noticia/2020/10/06/cidade-de-mt-foi-a-mais-quente-do-brasil-nessa-segunda-feira-com-termometros-marcando-446c.ghml>> Acesso em: 21/03/2021.

CEFET- MG. **Departamento de Eletroeletrônica**. Disponível em: <<http://www.deecv.cefetmg.br/la%CC%82mpadas-incandescentes-e-fluorescentes/>> Acesso em : 22/03/2021.

EMBRAPA FLORESTA. **Sistema de Produção**, 5 ISSN 1678-8281. jun, 2014. Disponível em: <<https://www.spo.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 26 setembro, 2018. Acesso em: 26 setembro, 2018.

FRANÇA, F.J.N.; **Modelagem da transferência de calor em madeira de *Pinus sp.*** Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Engenharia Florestal. p.1-36. Jerônimo Monteiro-ES, 2011.

FONTE, A.P.N.; **Análise da qualidade da colagem lateral de painéis edge panels (egp) de *Tectona grandis* produzidos com diferentes gramaturas.** Universidade Federal do Paraná.p.1-27. Curitiba-PR. 2014.

GIGLIO, T. G.F.; **Avaliação do desempenho térmico de painéis de vedação em madeira para o clima de Londrina.** Universidade Estadual de Londrina. 2005.

GONZAGA, A.L.; **Madeira: Uso e Conservação. Caderno Técnico 6.** p. 246. Brasília -DF, 2006. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/CadTec6_MadeiraUsoEConservacao.pdf>. Acesso em: 30 de março 2021.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física.** 8. ed. LTC, vol 4; Rio de Janeiro- RJ, 2009.

IBÁ. **Indústria brasileira de árvores.** Brasília: Relatório IBÁ 2017, p.1651, 2019. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>>. Acesso em: 30 de março. 2020.

Indústrias químicas carbomafra S.A. **O *Pinus elliotii*, a goma resina e seus derivados.** Piracicaba: IPEF. Circular técnica, n. 38. 1978. 22 p. 2018. Disponível em: <<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/3656>>. Acesso em: 26 setembro, 2018.

IPT - **Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – SP,** 2020. Disponível em: <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/44-mogno.htm>Acesso em: 03/03/2020.

KLOK, U.; ANDRADE, A.S.; **Química da madeira.** Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências agrárias. **Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal.** 4ª edição, p.1-85. Curitiba- PR, 2013.

LOBÃO, M. S.; et all.; Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Revista árvore**. v. 28, n.6, p. 889-894. Viçosa- MG, 2004.

LIMA, J.P.; **Modelagem e Teste de Condutividade Térmica em Placa de Gesso e Fibra Vegetal, *Mauritia vinifera Martius*, para uso na Construção Civil**. Universidade Estadual de Campinas. p. 6-117, Campinas- SP, maio 2008.

MARQUES, C.M.A; A utilização da cortiça associada a espumas acústicas para absorção sonora. Departamento de engenharia civil. Faculdade de ciências e tecnologia. **Universidade de Coimbra**. p.1-82. Coimbra-Portugal.

MELLADO,E.C.E.R; Modelo de transferência de calor e massa na secagem de madeira serrada de *Pinus*. **Universidade Federal do Paraná**. p. 11-169, Curitiba- PR, 2007.

MELLO, R.; **Características da Madeira**. São Paulo - SP, 2007.

MOHALLEM, D.F.; et all.; **Avaliação do coeficiente de variação como medida da precisão em experimentos com frangos de corte**. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., v.60, n.2, p.449-453, Uberlândia – MG, 2008

MORESCHI J.C.; Propriedades da madeira– Ministério da educação e do desporto setor de ciências agrárias da UFPR, **Centro de ciências florestais e da madeira**. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. 4ª edição – setembro, Curitiba, PR, 2012.

MOTTA, J.P et all.; Efeito do tratamento térmico na resistência á flexão estática da madeira. **Construindo Belo Horizonte**, v. 5, n.2, jul/dez. Minas Gerais, 2013.

NETO, A. L. et all; Efeito das diferentes madeiras no isolamento acústico. Universidade Federal de Lavras- MG. **FLORESTA**. v. 38, n. 4, p. 673-682, out./dez. Curitiba- PR, 2008.

PELISSARI, A.L.; CALDEIRA, S.F.; DRESCHER, R.; Desenvolvimento Quantitativo e Qualitativo de *Tectona Grandis* L.f. em Mato Grosso.p.1-13. **Floresta e Ambiente**. Curitiba-PR, 2013.

ROCHA, H. F.; LEONRDO, F.V.S.; OLIVEIRA, A. C.; Plantios comerciais de *Tectona grandis* L.f. no Brasil (Commercial plantations of *Tectona grandis* L.f. on Brazil). Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá - Mato Grosso. Multitemas, Campo Grande, MS, n. 48, p. 9-28, jul./dez. 2015.

RODRIGUES, K. C. S; **Resina de Pinus no Sul do Brasil: Caracterização e Perspectiva. Revista da madeira**. Edição 116°. Set. 2008. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1317. Acesso em: 27 setembro.2018.

SALES, A.; PAPINI, P.C.; Condutividade térmica em madeira: método do fio quente paralelo. **XI encontro nacional de Tecnologia no ambiente Construído**. pg, 4319-4328. Florianópolis- SC, 2006.

SANGUINO, A. C.; Custos de implantação e rentabilidade econômica de povoamentos florestais com teca no estado do Pará. **Revista ciências agrárias**.n. 52, p. 61-78, jul./dez. Belém, 2009.

SANTINI, E.J.; HASELEIN, R.C.; GATTO, D.A.; Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas(Comparative analysis of physical and mechanical properties of wood from three plantation softwoods). **Ciência Florestal, Santa Maria**, v.10, n.1, p.85-93. 85 ISSN 0103-9954. Santa Maria0- RG, 2000.

SHIMOYAMA, V. R. S; Estimativas de propriedades da madeira de *pinus taeda* através do método não destrutivo emissão de ondas de tensão, visando a geração de produtos de alto valor agregado. **UFPR** pg.1-153. Curitiba, 2005.

TRAUTENMULLER, J. W; et all.; Variação longitudinal da massa específica básica da madeira de *Cordia americana* e *Alchornea triplinervia*. **Ciência Rural**. v. 44, n.5, p. 817-821, Santa Maria- RS. mai, 2014.

VALERI, S.V.; PAULA, R.C.; Síntese das principais características do gênero pinus.p.1-4. **Universidade Estadual Paulista**. Jaboticabal SP, 2009.

WHESTPHAL, F.N; et al., Laboratório de eficiência energética em edificações. Disponível em: <[http s://www.labee.ufs.br/conforto](http://www.labee.ufs.br/conforto)>. Acesso em: 27 outubro, 2018.