

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**JHULIANNI LUÍSA BOURSCHEID**

**VERIFICAÇÃO EXPERIMENTAL DA FLUÊNCIA NA MADEIRA: *PINUS ELLIOTTII***

**Alegrete**

**2023**

**JHULIANNI LUÍSA BOURSCHEID**

**VERIFICAÇÃO EXPERIMENTAL DA FLUÊNCIA NA MADEIRA: *PINUS  
ELLIOTTII***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Telmo Egmar Camilo Deifeld

**Alegrete  
2023**

**JHULIANNI LUISA BOURSCHIED**

**VERIFICAÇÃO EXPERIMENTAL DA FLUÊNCIA NA MADEIRA: *PINUS ELLIOTTII***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 05 de dezembro de 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. TELMO EGMAR CAMILO DEIFELD - UNIPAMPA - Orientador

Prof. Dr. ALISSON SIMONETTI MILANI - UNIPAMPA

Prof. Dr. LUIS ERNESTO ROCA BRUNO - UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **TELMO EGMAR CAMILO DEIFELD, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/12/2023, às 10:23, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **ALISSON SIMONETTI MILANI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/12/2023, às 11:32, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **LUIS ERNESTO ROCA BRUNO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/12/2023, às 15:21, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1333254** e o código CRC **60CD7E87**.

Dedico este trabalho à minha filha Soffia.

## RESUMO

A madeira tem grande relevância na construção civil, por se tratar de um material renovável e que demanda pouca energia na produção em comparação com outros materiais. Além disso, ela possui comportamento interessante em relação ao fogo e propriedades higroscópicas. Para sua utilização, é necessário ter conhecimento de suas propriedades, em especial a resistência. A resistência pode variar ao longo do tempo, característica denominada fluência, pouco abordada na NBR7190 (2022) mas que deve ser considerada. Foi realizado um ensaio de flexão em 4 pontos por 6 semanas, para observar os efeitos da fluência na peça. Com os resultados do ensaio foram elaboradas planilhas e um gráfico do deslocamento ao longo do tempo. Concluiu-se que o deslocamento calculado com o coeficiente de fluência é relativamente próximo dos valores encontrados para o ensaio e o gráfico apresentado é similar ao encontrado na literatura. Apesar disso, por se tratar de um material anisotrópico, podem ocorrer variações nas propriedades, inclusive na resistência.

Palavras-Chave: madeira, fluência, resistência.

## **ABSTRACT**

Wood has great relevance in civil construction, as it is a renewable material that requires little energy in production compared to other materials. Furthermore, it has interesting behavior in relation to fire and hygroscopic properties. To use it, it is necessary to have knowledge of its properties, especially strength. Strength can vary over time, a characteristic called creep, which is rarely addressed in NBR7190 (2022) but must be considered. A 4-point bending test was carried out for 6 weeks to observe the effects of creep on the piece. Spreadsheets and a graph of displacement over time were created with the results of the test. It was concluded that the displacement calculated with the creep coefficient is relatively close to the values found for the test and the graph presented is similar to that found in the literature. Despite this, as it is an anisotropic material, variations in properties, including resistance, may occur.

Keywords: wood, creep, strength.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Direções da madeira segundo as fibras .....	09
Figura 2 – Direções tangencial e radial .....	09
Figura 3 – Deformação por fluência .....	11
Figura 4 – Componentes de deformação .....	12
Figura 5 – Defeitos: (a) nó; (b) fendas; (c) gretas; (d) abaulamentos; (e) arqueamento; (f) fibras reversas; (g) esmoado; (h) empenamento .....	16
Figura 6 – Seção transversal do corpo de prova.....	18
Figura 7 – Vista isométrica do corpo de prova .....	19
Figura 8 – Fluxograma da metodologia.....	19
Figura 9 – Montagem do ensaio de flexão .....	20
Figura 10 – Ensaio de flexão.....	20
Figura 11 – Diagrama de esforço cortante no ensaio de flexão .....	20
Figura 12 – Diagrama de momento fletor no ensaio de flexão .....	21
Figura 13 – Base para os corpos de prova .....	25
Figura 14 – Fios de nylon .....	26
Figura 15 – Corpos de prova identificados.....	26
Figura 16 – Gancho para a aplicação da carga.....	27
Figura 17 – Ganchos posicionados no corpo de prova .....	27
Figura 18 – Relógio Comparador .....	28
Figura 19 – Deslocamentos.....	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades de materiais de construção civil .....	06
Tabela 2 – Energia consumida na produção de materiais de construção civil .....	07
Tabela 3 – Classes de umidade .....	10
Tabela 4 – Coeficiente de fluência .....	10
Tabela 5 – Propriedades das madeiras <i>Pinus elliottii</i> e <i>Eucalipto-grandis</i> .....	14
Tabela 6 – Classificação visual da madeira <i>Pinus SPP</i> .....	17
Tabela 7 – Definição de classes de carregamento e valores de $k_{mod1}$ .....	23
Tabela 8 – Valores de $k_{mod2}$ .....	23
Tabela 9 – Propriedades das classes para <i>Pinus ssp</i> .....	24
Tabela 10 – Leituras do relógio comparador.....	28
Tabela 11 – Deslocamentos.....	29
Tabela 12 – Comparativos dos deslocamentos experimentais com os teóricos ....	30

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classes de carregamento .....	12
--	----

## LISTA DE ABREVIATURAS

*et al.* – e outros

p. – página

## **LISTA DE SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

NBR – Norma Técnica

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	3
1.1 OBJETIVOS .....	4
1.2 JUSTIFICATIVA .....	4
<b>2. CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	6
2.3 MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	6
2.4 TIPOS DE MADEIRA .....	8
2.5 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA.....	8
2.5.1 Anisotropia .....	8
2.5.2 Umidade .....	9
2.5.3 Fluência .....	10
2.6 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA .....	13
2.7 DEFEITOS .....	15
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	18
<b>4 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	22
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	31
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	32

## 1. INTRODUÇÃO

A madeira pode ser utilizada de forma a resolver problemas em coberturas, escoras, armazenamento, obras portuárias, pontes e viadutos, entre outros usos. Seu uso ainda é cercado de preconceitos causados pela falta de informações sobre o comportamento do material em diferentes condições de serviço e a falta de projetos profissionais. As marcenarias com mão de obra não especializada e equipamentos ultrapassados e a associação ao desmatamento dificultam sua utilização (CALIL JUNIOR; LAHR; DIAS, 2003).

Um fator que torna o uso da madeira interessante para a construção civil é seu comportamento em incêndios. Apesar da inflamabilidade já conhecida, a parte que é atingida pelo fogo forma uma barreira para que a parte interna não seja atingida e continue a manter-se em serviço em altas temperaturas. Além disso, não apresenta a distorção que é vista no aço, por exemplo, o que é positivo para que a estrutura não entre em colapso (CALIL JUNIOR; LAHR; DIAS, 2003).

Outro aspecto de grande relevância na madeira é a capacidade de troca higroscópica da madeira. Takeshita (2011) cita que a higroscopicidade é a capacidade de trocar umidade com o ambiente, retirando ou devolvendo conforme as condições do ambiente. Essa propriedade pode ser relevante para o uso da madeira no Rio Grande do Sul, onde as estações são bem definidas e a troca de umidade com o ambiente seria vantajosa.

De acordo com Zenid *et al.* (2009), os usos da madeira podem ser reunidos em construção civil pesada externa e interna, construção civil leve externa e interna estrutural, construção civil leve interna decorativa, construção civil leve interna de utilidade geral, construção civil leve em esquadrias e construção civil de assoalhos domésticos.

De acordo com Calil Junior, Lahr e Dias (2003, p. 141), a durabilidade pode ser definida como “capacidade de um produto manter seu desempenho acima de valores mínimos preestabelecidos, em consonância com os usuários, em condições previstas de uso”. Para assegurar a durabilidade, são necessárias inspeção e manutenção periódicas.

Um processo que pode causar alteração com prejuízo a propriedades importantes da madeira é a deterioração. Entre as principais características da deterioração estão

os fungos, a corrosão, as fissuras, a degradação química e os deslocamentos. Esses deslocamentos podem ser causados por carregamento além do dimensionado ou por fluência, no caso de longo tempo de utilização da peça. Nessa situação, pode representar problemas estruturais ou ser aceitável (CALIL JUNIOR; LAHR; DIAS, 2003).

A fluência deve ser analisada em elementos de madeira pois um carregamento constante de menor módulo atuando em um período de tempo pode causar deformações excessivas ou levar à ruptura do material. Se forem realizados apenas ensaios de curta duração, pode ser observada uma resistência maior, mas que pode não suportar as solicitações por toda a vida útil da construção (SANTOS, 2004).

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é estudar o comportamento da madeira submetida a um carregamento constante ao longo do tempo.

### **Objetivos específicos**

O trabalho tem os seguintes objetivos específicos:

- Realizar revisão bibliográfica sobre a fluência na madeira;
- Realizar ensaio de flexão em 4 pontos em vigas de madeira simplesmente apoiadas;
- Construir gráficos que descrevam o comportamento da resistência à flexão da madeira em função do tempo;
- Comparar com trabalhos encontrados na revisão da literatura.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A NBR 7190-1 (2022) define as classes de carregamento em instantânea, de curta, média e longa duração, e de duração permanente. Apesar de descrito em norma, não conseguimos encontrar muita literatura disponível sobre a análise de carregamentos em diferentes classes.

Além disso, a fluência ainda é um tema pouco abordado, mas de grande importância para a utilização de diversos materiais, incluindo a madeira. Portanto, torna-se importante revisar o assunto e estudar sua aplicação no material citado.

Cada espécie de madeira possui características específicas, que devem ser analisadas e descritas para sua melhor utilização. Assim, torna-se possível construir um acervo do comportamento como um todo para servir de referência para que a madeira seja melhor aproveitada.

## 2. CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

### 2.3 MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Na construção civil, há uma grande variedade de materiais para os diferentes usos. A madeira é um deles, utilizada há muito tempo por causa de sua facilidade de obtenção e manuseio. Entre suas vantagens está o bom isolamento térmico e a boa relação resistência/peso, como mostra a Tabela 1. Apesar disso, está sujeita à ação do fogo e degradação biológica, além de apresentar defeitos esperados por ser um material natural (PFEIL; PFEIL, 2003).

Tabela 1 – Propriedades de materiais de construção civil

<b>Material</b>	<b>Massa específica <math>\rho</math> (t/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Resistência característica f (Mpa)</b>	<b>f/<math>\rho</math></b>
<b>Madeira à tração</b>	0,5-1,2	30-110	60-90
<b>Madeira à compressão</b>	0,5-1,2	30-60	50-60
<b>Aço à tração</b>	7,85	250	32
<b>Concreto à compressão</b>	2,5	40	16

Fonte: adaptado de Pfeil e Pfeil (2003, p. 1)

Uma grande vantagem da madeira é que, durante seu crescimento, ela colabora com a minimização do efeito estufa, pois retira da atmosfera o principal gás causador do fenômeno. Segundo Santos (2007, p. 1), “por cada m<sup>3</sup> de madeira aplicada estima-se uma fixação de 250 kg de carbono, o que equivale mais ou menos a 1 tonelada de dióxido de carbono retido”.

Além disso, a madeira apresenta boa trabalhabilidade, bom comportamento térmico e acústico e é o único material de construção renovável. O pinus, mais utilizado em estruturas de *woodframe* no Brasil, apresenta bons resultados quanto ao tratamento para evitar ataques de organismos xilófagos (MOLINA; CALIL, 2010).

Em comparação ao concreto e ao aço, a madeira ainda apresenta menor energia consumida durante o processo de produção, como pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2 – Energia consumida na produção de materiais de construção civil

Material	Concreto	Aço	Madeira conífera	Madeira folhosas
Energia consumida na produção (MJ/m <sup>3</sup> )	1920	234000	600	630

Fonte: adaptado de Calil Junior, Lahr e Dias (2003, p. 7)

No século XX, ocorreu uma diminuição no uso da madeira, decorrente do preço mais competitivo de outros materiais, que também apresentavam propriedades mais homogêneas e, portanto, mais fáceis de trabalhar. Esta preferência não analisava o impacto ambiental destes outros materiais em comparação com a madeira (SANTOS, 2007).

Segundo avaliação feita por Bissoli-Dalvie *et al.* (2017), a madeira apresenta alto índice de sustentabilidade, mas ainda necessita maior foco na madeira utilizada na construção civil, além do conceito de material renovável. Apesar das vantagens, a madeira exige tratamento e manutenções, além de não possuir elementos reciclados, o que faz com que seu índice de sustentabilidade não seja o elevado.

De acordo com Moliterno (2009, p. 13), pode-se contornar algumas características indesejáveis da madeira criando um produto industrializado e com controle de qualidade. Segundo o autor, “Peças laminadas em tábuas de 2 a 4 cm de espessura, coladas de modo a formar perfis, em que todas as fibras sejam paralelas, sem dúvida representam a tendência futura de estruturas de madeira”.

Um uso bastante comum da madeira na construção civil é na fabricação de telhados. Para este fim, as principais características que devem ser observadas são a dureza e o peso específico, que deve ser entre 0,5 e 1,2 g/cm<sup>3</sup> (MOLITERNO, 2009).

Outro uso da madeira na construção civil é em casas pré-fabricadas, com o método chamado de *woodframe*, onde a estrutura interna de paredes e pisos é feita de madeira. Segundo Molina e Calil (2010), além de possuir a vantagem de ser um sistema industrializado, o *woodframe* também apresenta benefícios como conforto térmico e acústico, durabilidade e proteção contra o fogo. Suas qualidades são tão convenientes, que nos Estados Unidos o *woodframe* é o método mais difundido de construção, com utilização em 95% das residências.

O *Pinus elliottii*, utilizado nos ensaios deste trabalho, tem como principais usos na construção civil as ripas, partes secundárias em estruturas, acabamentos (como

rodapés e lambris) e estruturas temporárias (como fôrmas e andaimes). Outro uso que vem crescendo atualmente é em estruturas de *woodframe*. Sua trabalhabilidade, facilidade de secagem e facilidade de tratamento contribuem para sua ampla utilização (IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2022).

## 2.4 TIPOS DE MADEIRA

Há dois tipos principais de madeiras: as madeiras duras e as madeiras macias. As madeiras duras são provenientes de árvores de crescimento lento, frondosas e que perdem as folhas no outono, entre as quais estão as madeiras de lei. Já as madeiras macias são encontradas em árvores de crescimento rápido, geralmente coníferas, que possuem folhas verdes o ano todo (PFEIL; PFEIL, 2003).

## 2.5 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA

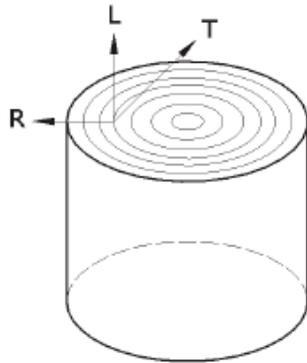
De acordo com Calil Junior, Lahr e Dias (2003), os fatores que tem influência nas propriedades da madeira podem ser divididos em três grupos: anatômicos, ambientais e de utilização. Os fatores anatômicos são a densidade, a inclinação das fibras e os defeitos naturais. Os fatores ambientais e de utilização são a umidade, os defeitos por ataques biológicos, de secagem e de processamento.

### 2.5.1 Anisotropia

Uma propriedade de grande importância na madeira é a anisotropia. De acordo com as direções longitudinal, radial e tangencial (Figura 1), as propriedades variam, sendo as duas últimas com uma variação menor. Podemos então diferenciar as propriedades na direção longitudinal e na direção perpendicular em relação às fibras (PFEIL; PFEIL, 2003).

No *Pinus elliottii*, os padrões encontrados na direção tangencial e na direção radial se apresentam conforme a Figura 2:

Figura 1 – Direções da madeira segundo as fibras



Fonte: Pfeil e Pfeil (2003, p. 4)

Figura 2 – Direções tangencial e radial



Fonte: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2022)

### 2.5.2 Umidade

Outra propriedade importante é a umidade, que varia entre 10% para madeiras macias e 30% para madeiras duras, além de variar de acordo com o dia ou a estação do ano. O grau de umidade (U) é descrito em porcentagem e calculado conforme a equação 1.

$$U(\%) = \frac{P_i - P_s}{P_s} * 100 \quad \dots(1)$$

Onde  $P_i$  é o peso inicial e  $P_s$  o peso após secagem na estufa (PFEIL; PFEIL, 2003).

No que diz respeito à umidade na madeira, tem-se duas situações distintas. A água pode estar contida no interior das fibras ou absorvida pelas paredes destas (PFEIL; PFEIL, 2003).

A umidade pode ser dividida em classes, segundo a NBR 7190-1 (ABNT, 2022). As classes vão de 1 a 4, que correspondem a 12% até acima de 25%, respectivamente, conforme pode ser visto na Tabela 3. O objetivo dessa classificação é ajustar a resistência e a rigidez de acordo com as condições do ambiente e para a escolha de métodos de conservação da estrutura da madeira.

Tabela 3 – Classes de umidade

<b>Classes de umidade</b>	<b>Umidade relativa do ambiente - Uamb</b>	<b>Umidade de equilíbrio máxima da madeira - Ueq</b>
<b>1</b>	$U_{amb} \leq 65\%$	12%
<b>2</b>	$65\% < U_{amb} \leq 75\%$	15%
<b>3</b>	$75\% < U_{amb} \leq 85\%$	18%
<b>4</b>	$U_{amb} > 85\%$ durante longos períodos	$\geq 25\%$

Fonte: adaptado de ABNT (2022, p. 10)

Além disso, pode-se adotar uma medida chamada grau de umidade-padrão de referência, adotada como 12% para o Brasil e os Estados Unidos, referente a classe 1 da NBR 7190 (PFEIL; PFEIL, 2003).

### 2.5.3 Fluência

A NBR 7190-1 (2022) cita brevemente a fluência como deformação ao longo do tempo, que exerce considerável atuação se tratando de madeira. Para considerá-la, a norma recomenda valores de coeficiente de fluência, que podem ser vistos na Tabela 4.

Tabela 4 – Coeficiente de fluência ( $\emptyset$ )

<b>Material</b>	<b>Classes de umidade</b>		
	1	2 e 3	4
<b>Madeira serrada, MLC, MLCC, LVL e roliça</b>	0,60	0,80	2,00
<b>Compensado estrutural</b>	0,80	1,00	2,50
<b>OSB estrutural</b>	1,50	2,25	-

Fonte: adaptado de ABNT (2022, p. 66)

Esses coeficientes são utilizados no cálculo das flechas finais, através da combinação quase permanente, conforme demonstra a equação 2.

$$\delta_{fin} = \sum_{i=1}^m \delta_{fin,Gi,k} + \sum_{j=1}^n \delta_{fin,Qj,k} \quad \dots(2)$$

Em que o primeiro termo é calculado a partir da equação 3, e se refere à ação permanente atuando na peça.

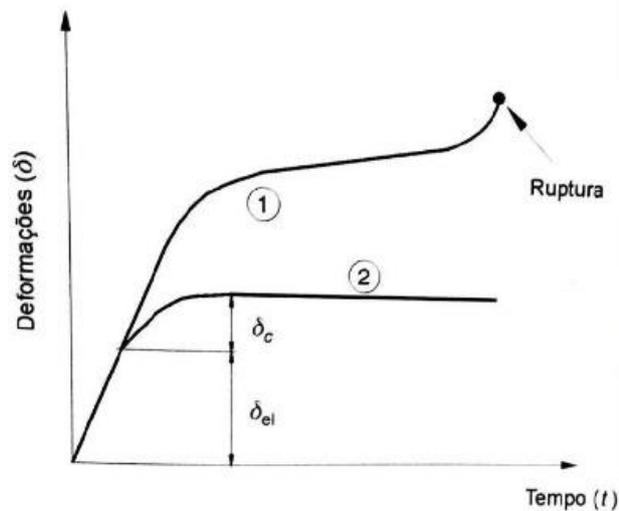
$$\delta_{fin,G,k} = \delta_{inst,G,k} * (1 + \emptyset) \quad \dots(3)$$

E o segundo termo é relativo à ação variável, e pode ser calculado a partir da equação 4.

$$\delta_{fin,Qj,k} = \delta_{inst,Qj,k} * \psi_2 * (1 + \phi) \quad \dots(4)$$

De acordo com Santos (2007, p. 95), a fluência pode ser definida como "fenômeno da deformação dependente do tempo, numa situação em que a intensidade de uma carga aplicada se mantém constante no tempo". A deformação pode aumentar até um valor constante ou pode aumentar gradativamente até a ruptura do material, o que é conhecido como ruptura tardia, e pode ser observado na Figura 3.

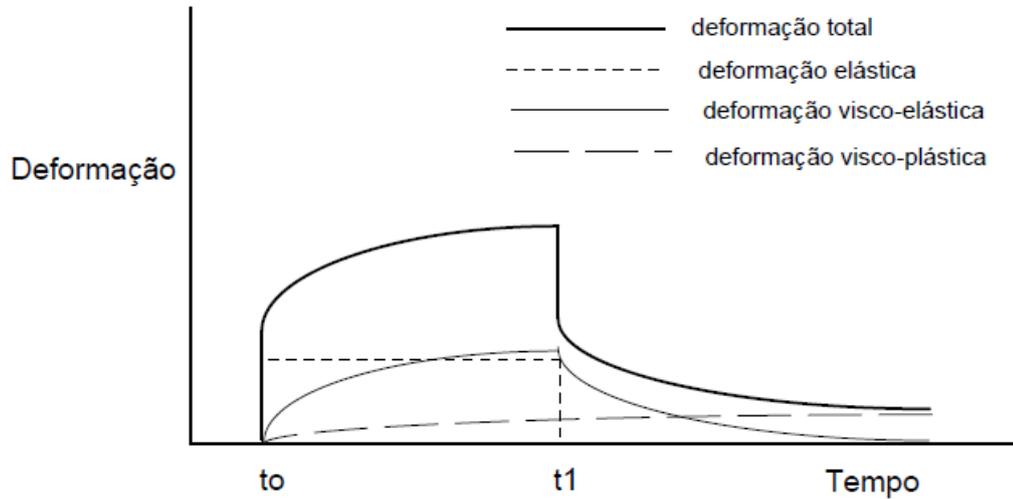
Figura 3 – Deformação por fluência



Fonte: PFEIL (2003)

A deformação pode ser dividida em deformação elástica, deformação visco-elástica e deformação visco-plástica, cuja soma resulta na deformação total. Estas parcelas da deformação podem ser vistas separadamente no gráfico da Figura 4. Em Santos (2007), é constatado como um ensaio de curta duração pode levar a resultados equivocados, pois com tensões menores em um intervalo de tempo maior, pode haver ruptura.

Figura 4 – Componentes de deformação



Fonte: BONIG (1982) apud SANTOS (2007, p. 97)

Entre os fatores que podem interferir nesta propriedade, está a presença de água na madeira, que favorece a fluência. Portanto, quanto maior a umidade ou a variação contínua da umidade, maior o coeficiente de fluência (SANTOS, 2007).

A NBR 7190-1 (ABNT, 2022) apresenta 5 classes de carregamento, que fazem a divisão de acordo com o tempo de aplicação na estrutura, a partir de aplicação instantânea até aplicação por mais de 10 anos, considerada permanente. Todas as classes podem ser observadas no Quadro 1, apresentada a seguir. Essa foi uma das alterações feitas na norma, que considerava anteriormente o carregamento permanente quando era aplicado por toda a vida útil da estrutura.

Quadro 1 – Classes de carregamento

Classes de carregamento	Ação variável principal da combinação	
	Duração acumulada	Ordem de grandeza da duração acumulada da ação característica
Permanente	Permanente	Mais de dez anos
Longa duração	Longa duração	Seis meses a dez anos
Média duração	Média duração	Uma semana a seis meses
Curta duração	Curta duração	Menos de uma semana
Instantânea	Instantânea	Muito curta

Fonte: adaptado de ABNT (2022, p. 14)

Lagana, Babiak e Krakovsky (2008) determinou os quatro parâmetros do modelo de Burger para uma espécie de madeira em altas temperaturas, e concluiu que a temperatura ambiente exerce influência sobre todos eles. O Modelo de Burger é uma das formas de verificar a fluência em um material, que foi observado se adaptar às características da madeira. Os parâmetros analisados foram o módulo de elasticidade, o módulo de viscoelasticidade, e os coeficientes de viscoelasticidade e de plasticidade. Torna-se importante, então, o controle da temperatura durante ensaios para que os resultados sejam coerentes.

## 2.6 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

A NBR 7190-1 (ABNT, 2022) define que as propriedades da madeira devem ser subdivididas para cada classe de umidade, em tração e compressão, e em paralelo ou perpendicular às fibras.

Segundo Molina e Calil (2010), as madeiras mais utilizadas para estruturas de *woodframe* no Brasil são Pinus e Eucalipto, cujas propriedades mecânicas podem ser vistas na Tabela 5.

Tabela 5 – Propriedades das madeiras *Pinus elliottii* e *Eucalipto-grandis*

<b>Propriedades Mecânicas</b>	<b><i>Pinus elliottii</i></b>	<b><i>Eucalipto-grandis</i></b>
<b>Flexão</b>		
Resistência – madeira verde	48,0 MPa	111,8 MPa
Resistência – madeira 15% de umidade	69,6 MPa	121,4 MPa
Limite de proporcionalidade - Madeira verde	19,7 MPa	47,2 MPa
Módulo de elasticidade – madeira verde	6463 MPa	13337 MPa
<b>Compressão paralela às fibras</b>		
Resistência – madeira verde	18,5 MPa	51,1 MPa
Resistência – madeira 15% de umidade	31,5 MPa	62,8 MPa
Coeficiente de influência de umidade	6,7%	4,7 %
Limite de proporcionalidade - Madeira verde	13,7 MPa	33,7 MPa
Módulo de elasticidade - Madeira verde	8846 Mpa	15867 MPa
<b>Outras propriedades</b>		
Resistência ao impacto na flexão - Madeira a 15% (choque)	14,5	45,3
Cisalhamento - Madeira verde	5,8 MPa	16,3 MPa
Dureza janka paralela - Madeira verde	19,32 N	8757 N
Tração normal às fibras - Madeira verde	3,0 MPa	10,1 MPa
Fendilhamento - Madeira verde	0,4 MPa	1,2 MPa

Fonte: adaptado de IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2022)

De acordo com a NBR 7190-1 (2022, p. 9), a resistência pode ser descrita como “aptidão de a matéria suportar tensões”. Para sua determinação é necessário que sejam aplicadas tensões até que a peça ensaiada apresente ruptura ou deformação excessiva.

É importante ressaltar que as propriedades de resistência física e mecânica podem ser distintas das apresentadas na NBR 7190, em razão da umidade e da heterogeneidade da madeira. Na região de Alegrete – RS, os valores encontrados por Andrioni (2019), apresentaram-se inferiores ao descrito na norma.

## 2.7 DEFEITOS

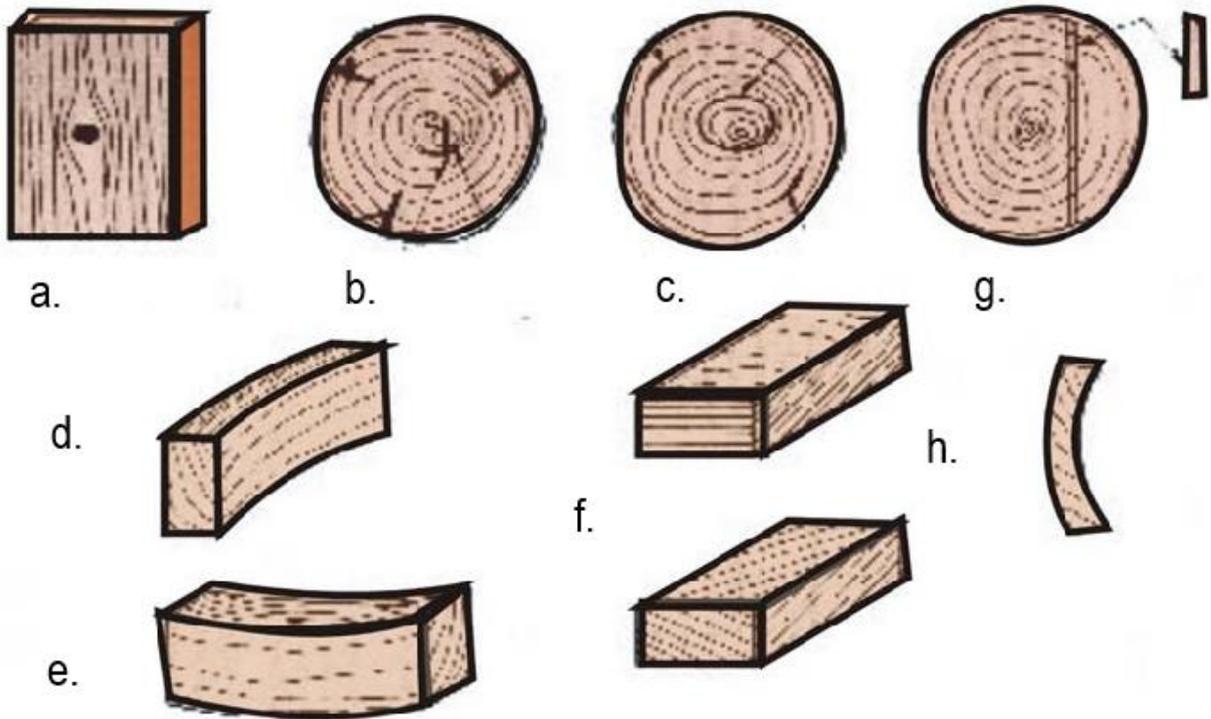
Os defeitos encontrados nas madeiras podem ser decorrentes das características da própria árvore ou da preparação da madeira para sua utilização, e podem prejudicar seu uso, pois interferem na resistência, na durabilidade e na estética da peça. Podemos citar nós, fendas, gretas, abaulamento, arqueadura, fibras reversas e esmoada (PFEIL; PFEIL, 2003).

De acordo com Santos (2007), podemos definir nós como “resultado da presença de antigos ramos que foram englobados na massa do lenho durante o crescimento deste”, e o termo em inglês relacionado a este defeito é "*knots*". Podem ter formatos diversos e suas características diferem do restante do tronco. Os nós não são desejáveis para peças estruturais, pois podem ocasionar problemas durante o processo de preparo da peça, como deterioração de equipamentos e erros no corte.

A NBR 7190-2 (ABNT, 2022) recomenda que peças com nós soltos sejam inutilizadas, e orienta a avaliação dos nós firmes. Os nós firmes analisados são os que se encontram nas faces e nas bordas, descartando os que se encontram no topo da peça. A avaliação é feita em função do diâmetro do nó ou de um conjunto de nós.

As fendas são aberturas na parte externa das peças, atravessando os anéis de crescimento, quando a secagem nesses locais ocorre de maneira mais rápida que no interior da peça. As gretas podem ser descritas como vazios entre os anéis de crescimento. O abaulamento e a arqueadura são encurvamentos na peça em diferentes direções. Enquanto o primeiro se refere a deformações na largura da peça, o segundo se refere a deformações no comprimento da peça. Descreve-se como fibras reversas quando as fibras não se encontram paralelas ao eixo da peça, ocasionando perda de resistência da madeira. Pode-se citar também as quinas mortas, ou esmoadas, que são cantos arredondados decorrentes da curvatura do tronco, como mostra a Figura 5 (PFEIL; PFEIL, 2003).

Figura 5 - Defeitos: (a) nó; (b) fendas; (c) gretas; (d) abaulamento; (e) arqueamento; (f) fibras reversas; (g) esmoado; (h) empenamento.



Fonte: adaptado de Laroca (2022)

A NBR 7190-2 (ABNT, 2022) apresenta a divisão da madeira *Pinus spp* em classes conforme as dimensões dos defeitos que a peça apresenta. As classes são do número 1 ao 3 e podem ser vistas na Tabela 6.

Tabela 6 – Classificação visual da madeira *Pinus spp*

<b>Defeito</b>	<b>Classe 1</b>	<b>Classe 2</b>	<b>Classe 3</b>
<b>Medula</b>	Não se admite		
<b>Nós na face</b>	$\leq 1/4$	$\leq 1/3$	$\leq 1/2$
<b>Nós na borda</b>	$\leq 1/5$	$\leq 1/4$	$\leq 1/3$
<b>Inclinação das fibras (mm/mm)</b>	$\leq 1:9$	$\leq 1:6$	$\leq 1:3$
<b>Fissuras não passantes (m)</b>	O comprimento das fissuras não pode ser maior que 1,0 m e nem $\frac{1}{4}$ do comprimento da peça		
<b>Fissuras passantes (m)</b>	Somente são permitidas fissuras passantes nos extremos e o comprimento não pode ser maior do que a largura da peça		
<b>Encurvamento (mm)</b>	Menor que 8 mm para cada 3 m de comprimento		
<b>Arqueamento (mm)</b>	Menor que 3 mm para cada 2 m de comprimento		
<b>Torcimento (mm/m)</b>	Menor que 5 mm para cada 1 m de comprimento		
<b>Encanoamento (mm)</b>	Sem restrições		
<b>Esmoadado (mm/mm)</b>	Transversalmente menor que $\frac{1}{4}$ da espessura ou largura da peça Sem restrições para o comprimento		
<b>Ataques biológicos</b>	Não se admitem zonas atacadas por fungos causadores de podridão  Admitem-se zonas atacadas por fungos cromógenos Admitem-se orifícios causados por insetos com diâmetro inferior a 2 mm		
<b>Outros</b>	Danos mecânicos, presença de bolsa de resina e outros defeitos se limitam por analogia com alguma característica similar		

Fonte: adaptado de NBR 7190-2, ABNT (2022, p. 18)

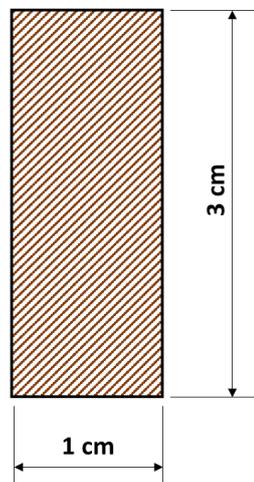
### 3 METODOLOGIA

Este item apresenta os materiais e métodos utilizados para que os parâmetros objetivados sejam encontrados, com informações e detalhamento considerados importantes para sua realização.

A madeira utilizada é da espécie *Pinus elliottii*, por se tratar de uma espécie fácil de encontrar e com ampla utilização na região. Os valores de Resistência Característica à Flexão e Módulo de Elasticidade Médio foram utilizados de acordo com os valores apresentados na NBR 7190-2 (2022).

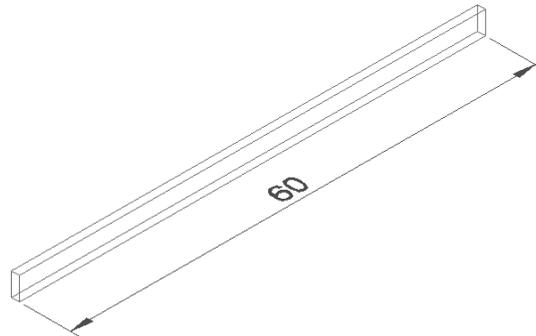
Os corpos de prova utilizados têm seção transversal quadrada de 1 cm x 3 cm e comprimento de 60 cm, com vão entre os apoios de 54 cm, conforme mostrado na Figura 6 e na Figura 7. As dimensões foram definidas considerando as propriedades conhecidas da madeira e as limitações de um ensaio em laboratório. Os corpos de prova utilizados podem possuir defeitos com dimensões dentro dos limites aceitos pela NBR 7190-2 (2022) e com comprimento paralelo às fibras.

Figura 6 – Seção transversal do corpo de prova



Fonte: elaboração própria

Figura 7 – Vista isométrica do corpo de prova



Medidas em cm

Fonte: elaboração própria

Os métodos utilizados no ensaio foram realizados conforme o fluxograma mostrado na Figura 8 e descritos a seguir.

Figura 8 – Fluxograma da metodologia

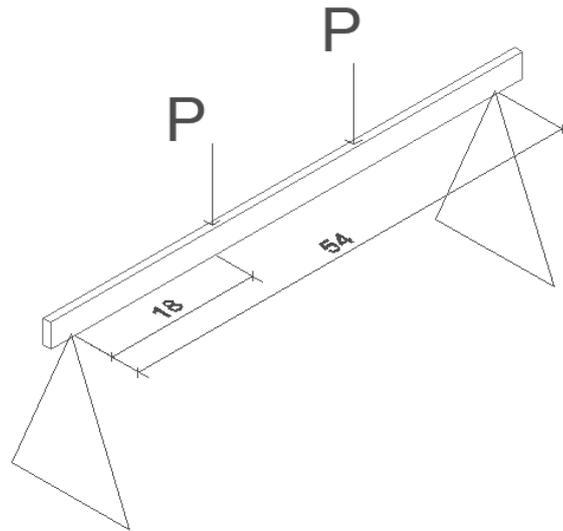


Fonte: elaboração própria

A metodologia utilizada tem como base os ensaios realizados por Scaliante *et al.* (2011), porém as classes de carregamento foram de instantânea, curta e média duração, já que foram aplicadas ao longo de 6 semanas. O artigo citado utiliza a classe de curta duração. O ensaio utilizou corpos de prova com umidade de 12%, com 7 exemplares. Isso foi necessário para que se encontre um valor médio e possa ser descartado medições com valores absurdos.

Os corpos de prova foram apoiados sobre cavaletes (apoios móveis), com o carregamento de 12,8 kg para cada corpo de prova sendo aplicado à 1/3 e 2/3 do apoio, ou seja, 18 cm e 36 cm, conforme pode ser visto na Figura 9.

Figura 9 – Montagem do ensaio de flexão



medidas em cm

Fonte: elaboração própria

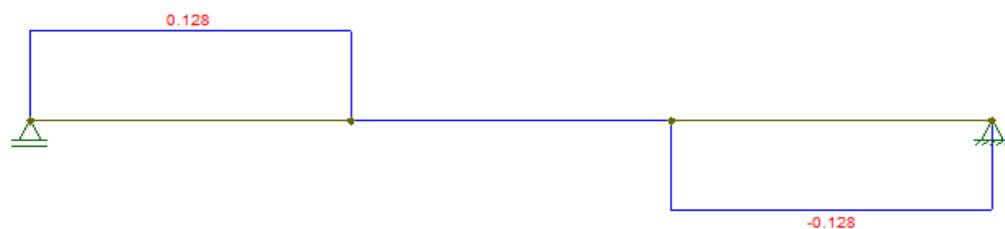
Dessa forma, foi realizado um ensaio de flexão em 4 pontos, caracterizado por uma parcela central onde apenas o momento fletor atua, sem interferência da força cortante, e proporciona mais locais onde pode ocorrer a ruptura por flexão, conforme pode ser observado na Figura 10, Figura 11 e Figura 12.

Figura 10 – Ensaio de flexão



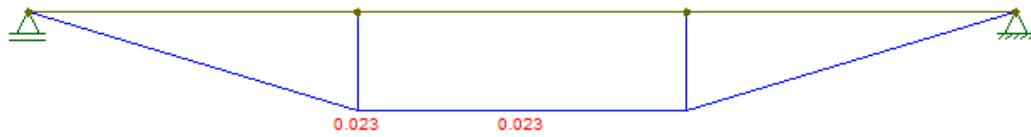
Fonte: elaboração própria

Figura 11 – Diagrama de esforço cortante no ensaio de flexão



Fonte: elaboração própria

Figura 12 – Diagrama de momento fletor no ensaio de flexão



Fonte: elaboração própria

A medição foi realizada no meio do vão, com frequência diária, e posteriormente semanal, com relógio comparador. Para que se tenha uma referência, foi soldada uma barra no meio do vão, abaixo dos corpos de prova, na qual foi apoiado o relógio comparador.

#### 4 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Primeiramente, foram definidas as dimensões dos corpos de prova, através de tentativa e erro até chegar em um peso possível de ser utilizado em laboratório. De acordo com a NBR 7190-1 (2022), no item 6.2.6, o valor de cálculo da resistência pode ser calculado a partir da equação 5.

$$f_{wd} = k_{mod} * \frac{f_{wk}}{\gamma_w} \quad \dots(5)$$

O termo  $k_{mod}$  da equação 5 se refere ao coeficiente de modificação, dado pela multiplicação do  $k_{mod1}$  e  $k_{mod2}$ , como mostra a equação 6.

$$k_{mod} = k_{mod1} * k_{mod2} \quad \dots(6)$$

O coeficiente de modificação  $k_{mod1}$  se refere ao material utilizado, nesse caso madeira serrada, e à classe de carregamento, aqui utilizado de média duração, e através da Tabela 7, pode ser definido com o valor de 0,80.

Tabela 7 – Definição de classes de carregamento e valores de kmod1

	Ação variável principal da combinação		Tipos de madeira	
	Duração acumulada	Ordem de grandeza da duração acumulada da ação característica	Madeira serrada Madeira roliça Madeira lamelada colada (MLC) Madeira lamelada colada cruzada (MLCC) Madeira laminada colada (LVL)	Madeira recomposta
Classes de carregamento	Permanente	Mais de dez anos	0,60	0,30
	Longa duração	Seis meses a dez anos	0,70	0,45
	Média duração	Uma semana a seis meses	0,80	0,65
	Curta duração	Menos de uma semana	0,90	0,90
	Instantânea	Muito curta	1,10	1,10

Fonte: adaptado de NBR 7190-1, ABNT (2022, p. 14)

O coeficiente de modificação Kmod2 é definido a partir da classe de umidade e tipo de material, definido para a Classe de umidade 1 e madeira serrada como 1,00, a partir da Tabela 8.

Tabela 8 – Valores de kmod2

Classes de umidade	Madeira serrada	Madeira recomposta
	Madeira roliça Madeira lamelada colada (MLC) Madeira lamelada colada cruzada (MLCC) Madeira laminada colada (LVL)	
1	1,00	1,00
2	0,90	0,95
3	0,80	0,93
4	0,70	0,90

Fonte: adaptado de NBR 7190-1, ABNT (2022, p. 15)

A partir da Tabela 6 é possível realizar a classificação visual da madeira utilizada, de acordo com os defeitos encontrados dentro dos limites aceitos pela NBR 7190 (ABNT, 2022). No ensaio, foram utilizados corpos de prova de Classe 2. As propriedades para Pinus estão descritas na Tabela 9.

Tabela 9 – Propriedades das classes para *Pinus ssp*

Propriedades	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Densidade $\rho_{12}$ (kg/m <sup>3</sup> )	500	400	350
Módulo de elasticidade médio Emed (MPa)	11000	8000	5000
Resistência característica à flexão $f_{m,k}$ (MPa)	35	27	14
Resistência característica à compressão paralela $f_{c0,k}$ (MPa)	22	18	14
Resistência característica ao cisalhamento $f_{v,k}$ (MPa)	6	3,5	2,5

Fonte: adaptado de NBR 7190-2, ABNT (2022, p. 13)

De acordo com a Tabela 9, a madeira Pinus de Classe 2 tem como Resistência Característica à Flexão 27 MPa e como Módulo de Elasticidade Médio 8000 MPa. O Coeficiente de minoração  $\gamma_w$  da resistência às tensões normais, como no caso do ensaio, é de 1,4, e a equação 5 resulta em:

$$f_{wd} = 0,80 * 1,00 * \frac{27}{1,4} = 15,43 \text{ MPa} = 1,543 \frac{kN}{cm^2} \quad \dots(7)$$

Além disso, é necessário calcular o Momento de Inércia para a seção transversal do corpo de prova, de forma retangular, como pode ser visto na equação 8.

$$I = \frac{b * h^3}{12} = \frac{1,00 * 3,00^3}{12} = 2,25 \text{ cm}^4 \quad \dots(8)$$

Com esses valores conhecidos, é possível, a partir da equação 9, substituir a Resistência Característica à Flexão e encontrar o momento máximo suportado pelo corpo de prova, como mostra a equação 10.

$$\sigma = \frac{M}{I} * y \quad \dots(9)$$

$$1,543 \frac{kN}{cm^2} = \frac{M}{2,25 cm^4} * \left(\frac{3}{2}\right) cm \quad \dots(10)$$

Resolvendo a equação 10, encontra-se o valor de 3,31 kN\*cm para o momento fletor máximo, que leva a uma carga de 0,128 kN, equivalente a 12,8 kg. Como definido anteriormente, duas cargas iguais serão aplicadas nos corpos de prova, cada uma a 18 cm do apoio.

Para a realização dos ensaios foi soldada uma base (cavalete) para servir de apoio dos corpos de prova, conforme a Figura 13. Nela foi fixada uma barra para definir a referência a partir da qual foram medidos os deslocamentos. Nessa base, foram colocados fios de nylon para garantir a estabilidade lateral, como recomenda a NBR 7190-4 (2022) no item 8.2, e pode ser observado na Figura 14.

Os corpos de prova foram cortados com seção transversal de 1 cm x 3 cm e 60 cm de comprimento, e identificados com as letras TA (temperatura ambiente), de 1 à 7, conforme mostra a Figura 15.

Figura 13 – Base para os corpos de prova



Fonte: elaboração própria

Figura 14 – Fios de nylon



Fonte: elaboração própria

Figura 15 – Corpos de prova identificados



Fonte: elaboração própria

As cargas foram divididas com 12,8 kg cada, e os ganchos para a aplicação foram posicionados a 18 cm e 36 cm dos apoios. Os ganchos foram feitos de forma a distribuir a carga em uma pequena área, podendo ser simplificada como uma carga pontual, e são mostrados na Figura 16 e na Figura 17.

Figura 16 – Gancho para a aplicação da carga



Fonte: elaboração própria

Figura 17 – Ganchos posicionados no corpo de prova



Fonte: elaboração própria

Antes da aplicação da carga, foi medido  $t_0$ , que corresponde a distância inicial entre o corpo de prova e a referência. As medidas foram aferidas com o auxílio do relógio comparador, visto na Figura 18.

Figura 18 – Relógio comparador



Fonte: elaboração própria

Posteriormente, foram colocadas as cargas e medidos os deslocamentos instantâneo, após 1 dia, 2 dias, 5 dias, 6 dias, 7 dias, 1 semana, 2 semanas, 3 semanas, 4 semanas, 5 semanas e 6 semanas, como pode ser visto na Tabela 10. A tabela apresenta resultados obtidos até o rompimento dos corpos de prova, com exceção dos corpos de prova 5TA e 6TA, que não romperam até o fim das medições.

Tabela 10 – Leituras do relógio comparador

	Leituras (polegadas*0.001)										
	T0	Tinst	2 dias	5 dias	6 dias	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias	34 dias	42 dias
<b>1TA</b>	0,34										
<b>2TA</b>	0,00	2,42	3,25	3,42	3,91	3,67					
<b>3TA</b>	0,09	2,09	2,93	2,98	3,41	3,22	3,06	3,22	3,22	3,51	
<b>4TA</b>	1,17	1,39	5,12								
<b>5TA</b>	1,23	2,76	3,04	3,07	3,22	3,19	3,02	3,14	3,16	3,14	2,97
<b>6TA</b>	0,83	2,50	3,07	3,22	3,06	3,17	3,21	3,45	3,41	3,45	3,39
<b>7TA</b>	0,69										

Fonte: elaboração própria

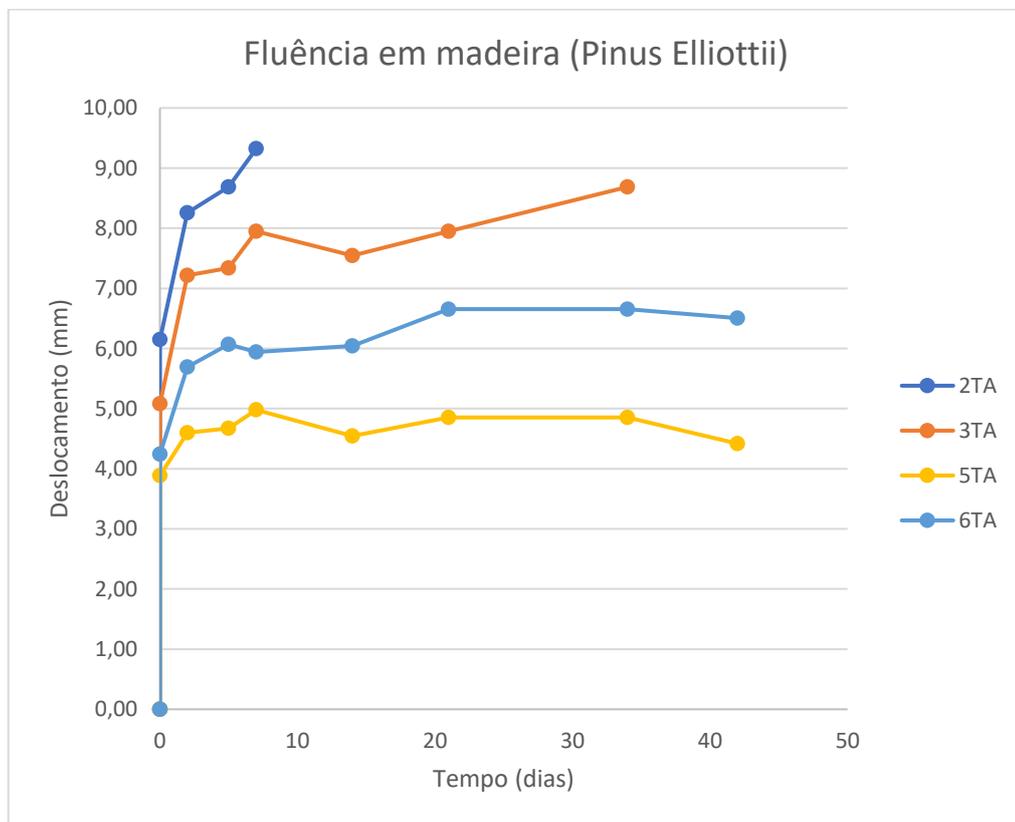
Com os valores das leituras, pôde-se calcular os deslocamentos e traçar o gráfico, descartando valores absurdos. Os deslocamentos, descartando valores absurdos, encontram-se na Tabela 11, seguida da Figura 19, que mostra o gráfico construído a partir dos valores calculados.

Tabela 11 – Deslocamentos

	Deslocamentos (mm)							
	Tinst	2 dias	5 dias	7 dias	14 dias	21 dias	34 dias	42 dias
<b>1TA</b>								
<b>2TA</b>	6,15	8,26	8,69	9,32				
<b>3TA</b>	5,08	7,21	7,34	7,95	7,54	7,95	8,69	
<b>4TA</b>	0,56	10,03						
<b>5TA</b>	3,89	4,60	4,67	4,98	4,55	4,85	4,85	4,42
<b>6TA</b>	4,24	5,69	6,07	5,94	6,05	6,65	6,65	6,50
<b>7TA</b>								

Fonte: elaboração própria

Figura 19 – Deslocamentos



Fonte: elaboração própria

Para que seja possível comparar o resultado com alguma referência, foi calculado o deslocamento de acordo com o recomendado na norma. Para determinar o deslocamento, utilizou-se a equação 11, como indicado por Pinheiro, Catoia e Catoia (2011).

$$W_{m\acute{a}x} = \frac{23 Pl^3}{648 EI} = \frac{23 (0,128 \text{ kN})(54\text{cm})^3}{648 \left(\frac{800\text{kN}}{\text{cm}^2}\right)(2,25 \text{ cm}^4)} = 0,39744\text{cm} = 3,9744\text{mm} \quad \dots(11)$$

Assim, encontramos o deslocamento instantâneo. Para considerar a fluência, a NBR 7190-1 (2022) apresenta um coeficiente, já citado anteriormente, que considera a classe de umidade e o tipo de madeira. A equação 12 considera a ação permanente atuando na peça e o coeficiente de fluência.

$$\delta_{fin,G,k} = \delta_{inst,G,k} * (1 + \phi) = 0,39744 * (1 + 0,60) = 0,635904 \text{ cm} = 6,35904 \text{ mm} \quad \dots(12)$$

A Tabela 12 apresenta uma comparação em porcentagem dos valores obtidos no ensaio em relação aos valores calculados, tanto para a deformação instantânea quanto para deformação com carregamento de média duração.

Tabela 12 – Comparativos dos deslocamentos experimentais com os teóricos

	Deslocamentos (mm)							
	Tinst	2 dias	5 dias	7 dias	14 dias	21 dias	34 dias	42 dias
Teórico	3.9744	6.35904						
<b>1TA</b>								
<b>2TA</b>	6.15	8.26	8.69	9.32				
	155%	130%	137%	147%				
<b>3TA</b>	5.08	7.21	7.34	7.95	7.54	7.95	8.69	
	128%	113%	115%	125%	119%	125%	137%	
<b>4TA</b>	0.56	10.03						
	14%	158%						
<b>5TA</b>	3.89	4.6	4.67	4.98	4.55	4.85	4.85	4.42
	98%	72%	73%	78%	72%	76%	76%	70%
<b>6TA</b>	4.24	5.69	6.07	5.94	6.05	6.65	6.65	6.5
	107%	89%	95%	93%	95%	105%	105%	102%
<b>7TA</b>								

Fonte: elaboração própria

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pôde-se verificar que a fluência tem papel importante na deformação da madeira, não podendo ser ignorada no dimensionamento de estruturas do material. A norma apresenta formas eficazes de considerar esse efeito, a partir do coeficiente de fluência, que apresentou resultado próximo ao encontrado a partir de ensaios experimentais.

O ensaio trouxe respostas para a elaboração do gráfico de deformação da madeira, apresentando crescimento rápido nas primeiras horas, e posteriormente um crescimento lento ao longo dos dias, se estabilizando ao longo do tempo. A partir das referências citadas, é possível afirmar que o ensaio levou a um gráfico similar ao que foi encontrado em bibliografias.

Alguns corpos de prova romperam antes do tempo esperado, confirmando assim que a fluência e propriedades anisotrópicas do material têm interferência em sua resistência. Por se tratar de um material natural, que possui variações, essa interferência pode acontecer.

## REFERÊNCIAS

ANDRIONI, Camila Natália. **ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DA MADEIRA PINUS ELLIOTTII**. 2019. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190-1**: Projeto de estruturas de madeira Parte 1: Critérios de dimensionamento. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2022. 81 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190-2**: Projeto de estruturas de madeira Parte 2: Métodos de ensaio para classificação visual e mecânica de peças estruturais de madeira. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2022. 15 p.

BISSOLI-DALVI, Márcia; FERRES, Soyana Corrêa; ALVAREZ, Cristina Engel de; FUICA, Gerardo Erich Saelzer. **Avaliação da Sustentabilidade da Madeira por Meio da Ferramenta ISMAS**. Floresta e Ambiente, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 1-7, 16 out. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.077214>.

BODIG, Jozsef; A JAYNE, Benjamin. **Mechanics of wood and wood composites**. Malabar, Florida: Krieger Publishing Company, 1982. 712 p.

CALIL JÚNIOR, Carlito; LAHR, Francisco Antonio Rocco; DIAS, Antonio Alves. **Dimensionamento de elementos estruturais de madeira**. Barueri, Sp: Manole, 2003. 152 p.

GERALDO JOSÉ ZENID. **Madeira**: uso sustentável na construção civil. 2. ed. São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A., 2009.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (São Paulo). **Informações sobre madeiras**. Disponível em: [https://www.ipt.br/informacoes\\_madeiras3.php?madeira=7](https://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=7)>. Acesso em: 10 maio 2022.

LAGANA, Rastislav; BABIAK, Marian; KRAKOVSKY, Alexander. Creep parameters of spruce wood in high temperature environment. **Maderas**: Ciencia y tecnología, Bío-Bío - Chi, v. 10, n. 1, p. 19-24, abr. 2008.

LAROCA, Christine. **DEFEITOS DA MADEIRA**. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/figure/FIGURA-13-DEFEITOS-DA-MADEIRA-a-no-provocando-inclinacao-das-fibras-b-fendas\\_fig1\\_26976803](https://www.researchgate.net/figure/FIGURA-13-DEFEITOS-DA-MADEIRA-a-no-provocando-inclinacao-das-fibras-b-fendas_fig1_26976803)>. Acesso em: 16 ago. 2022.

MOLINA, Julio Cesar; CALIL JUNIOR, Carlito. **Sistema construtivo em wood frame para casas de madeira**: wood frame systems for wood homes. In: CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS, 2., 2010, Londrina. Anais [...] . Londrina: 2010. v. 31, p. 143-156.

MOLITERNO, Antonio. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2009. 268 p.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de Madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2011. 224 p.

PINHEIRO, Libânio Miranda; CAIOTA, Bruna; CAIOTA, Thiago. **Tabelas de vigas: Deslocamentos e Momentos de Engastamento Perfeito**. Departamento de Engenharia de Estruturas, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, São Carlos, 2010

SANTOS, José António dos. **Estudo de modelos e caracterização do comportamento mecânico da madeira**. 2007. 299 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Minho, Guimarães, 2007.

SCALIANTE, Ricardo de Mello et al. **Ensaio de fluência e de compressão paralela às fibras para situações da madeira à umidade de equilíbrio e saturada**. Madeira: Arquitetura e Engenharia, [S. L.], v. 12, n. 21, p. 1-13, jul. 2011.

TAKESHITA, Saly. **Redução na higroscopicidade e na movimentação dimensional da madeira de folhosas submetida a tratamentos térmicos**. 2011. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.