

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**NIZAR ALAWI ABUALI**

**VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA EM LIGAÇÕES DE MADEIRA COM PINOS  
MÉTÁLICOS DO TIPO PREGO CONFORME NBR 7190/1997**

**Alegrete-RS**

**2019**

**NIZAR ALAWI ABUALI**

**VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA EM LIGAÇÕES DE MADEIRA COM PINOS  
METÁLICOS DO TIPO PREGO CONFORME NBR 7190/1997**

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-RS**

**2019**

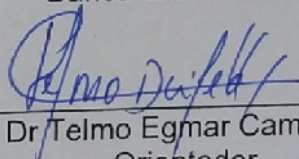
NIZAR ALAWI ABUALI

VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA EM LIGAÇÕES DE MADEIRA COM PINOS  
METÁLICOS CONFORME NBR 7190/1997

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.

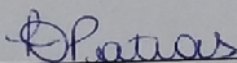
Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 27/11/2019

Banca examinadora:



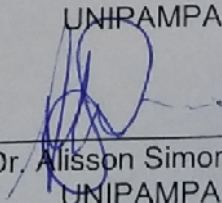
---

Prof. Dr. Telmo Egmar Camilo Deifeld  
Orientador  
UNIPAMPA



---

Engenheira. Diovana Patias Della Flora  
UNIPAMPA



---

Prof. Dr. Alisson Simonetti Milani  
UNIPAMPA

A165v Abuali, Nizar Alawi

Verificação da segurança em ligações de madeira com pinos metálicos do tipo prego conforme NBR 7190/1997 / Nizar Alawi Abuali.

57 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA CIVIL, 2019.

"Orientação: Telmo Egmar Camilo Deifeld".

1. Segurança estrutural. 2. Compressão. 3. Ligações Mecânicas. I. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente meus pais, que me deram apoio emocional e financeiro para concluir a minha graduação em uma cidade tão distante da minha, compreendo que muitas pessoas não têm esse privilégio e sou grato por isso, sem a ajuda deles nos momentos mais difíceis eu não teria conseguido chegar onde cheguei. Agradeço a minha namorada Mariana e sua família por terem me apoiado e me acompanhado nessa jornada acadêmica a mais de 800 km de distância, e ao meu amigo de infância Renan Garcia, que me matriculou na UNIPAMPA em 2014.

Sou grato também aos meus irmãos da TAN, que estiveram comigo em absolutamente todos os momentos desde o primeiro dia de aula, formamos uma família unida e forte, me ajudaram e me fizeram crescer de uma forma que eu jamais teria crescido sozinho, vocês são os melhores. Amir Al Khatib, Gustavo Carreiro, Lucas Rohde, Luis Felipe, Matheus Castro, Pedro Cupelli, Pedro Nogueira, Pedro Nizer, Thomas Pilger.

Alguns professores merecem um agradecimento especial por sua dedicação em passar o seu conhecimento de forma tão extraordinária e eficaz. Adriana Salbego, Alisson Milani, Diego Hartmann, Ederli Marangon, Simone Venquiaruto, Telmo Deifeld.

Outros colegas que tiveram um papel importante na minha formação acadêmica merecem os meus mais sinceros agradecimentos também. Aline Brandolfi, Bruna Della Flora, Bruna Machado, Carol Capato, Cibeli Scherer, Diovana Patias, Fabiano Oliveira, Guilherme Cocco, Barbara Biasi, Henrique Caetano, Karina Comparsi e Leonardo Berta.

Direciono meus últimos agradecimentos a toda comunidade acadêmica da UNIPAMPA, funcionários terceirizados, demais professores e colegas.

Se eu consegui, você também consegue

- Bill Gates

## RESUMO

É importante estudar as peculiaridades das ligações em estruturas de madeiras pois estas, em caso de ruptura, colocam em risco a durabilidade e a segurança estrutural. Desta forma, este trabalho propõe a verificação da segurança de ligações pregadas em peças de madeiras submetidas a esforços de compressão, serão estudadas as seguintes formas de ruptura: a) flexão dos pinos metálicos; b) embutimento da madeira, assim como a posição das fibras da madeira também será levado em consideração, variando entre paralelo ou perpendicular às fibras principais da madeira em estudo.

Através das prescrições da NBR 7190 (ABNT, 1997) foram dimensionados quatro tipos diferentes de ligação, onde foi variado o diâmetro e quantidade de pregos, e posição das fibras principais da madeira, para a posterior realização do ensaio de compressão de modo a determinar a carga máxima que, de fato, cada ligação pode suportar e compará-la com o resultado calculado a partir da NBR 7190 (ABNT, 1997). O dimensionamento das ligações considerando a espessura das madeiras, diâmetro, quantidade e espaçamento dos pregos foi realizado para as espécies de madeira *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*. Os resultados obtidos foram satisfatórios em quase todos os ensaios, apenas um grupo de corpos de prova obteve resultado abaixo do calculado pela norma, devido a possíveis erros na execução dos corpos de prova e execução dos diagramas de carregamento com a prensa hidráulica, os demais obtiveram resultados superiores ao esperado. Conclui-se, portanto, que a norma oferece segurança quanto ao dimensionamento das ligações mecânicas do tipo prego.

**Palavras-chave:** Segurança Estrutural, Compressão, Ligações Mecânicas, Pinos Metálicos

## ABSTRACT

It is important to study the peculiarities of the joints in timber structures as they, in the event of breakage, endanger durability and structural safety. This work proposes to verify the safety of joints nailed in pieces of wood subjected to compressive stresses, the following forms of rupture will be studied: a) bending of metal pins; b) wood inlay, as well as the position of the wood fibers will also be taken into consideration, ranging from parallel or perpendicular to the main fibers of the wood under study.

According to the requirements of NBR 7190 (ABNT, 1997) four different types of connection were dimensioned, where the diameter and number of pins, and position of the main fibers of the wood were varied, for the subsequent compression test to determine the maximum load. that, in fact, each link can support and compare it with the result calculated from NBR 7190 (ABNT, 1997). The dimensioning of the links considering the wood thickness, diameter, quantity and nail spacing was performed for *Eucalyptus grandis* and *Pinus elliottii*. The results obtained were satisfactory in almost all tests, only one group of specimens obtained results below those calculated by the norm, the others obtained better results than expected. It is concluded, therefore, that the standard offers safety regarding the sizing of nail-type mechanical connections.

**Keywords:** Structural Safety, Compression, Mechanical Connections, Metal Pins



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Eixos principais da madeira em relação à direção das fibras .....	21
Figura 2 – Propriedades internas da madeira.....	23
Figura 3 – Compressão Paralela e Perpendicular às fibras da madeira .....	24
Figura 4 – Defeitos nas Madeiras .....	25
Figura 5 – Espessura t.....	28
Figura 6 – Espaçamentos mínimos .....	34
Figura 7 – Modelo Corpo de Prova E90.....	36
Figura 8 – Modelo Corpo de Prova E0.....	37
Figura 9 – Modelo Corpo de Prova F90.....	37
Figura 10 – Modelo Corpo de Prova F0.....	38
Figura 11 – Fases do desenvolvimento do trabalho .....	39
Figura 12 – Diagrama de carregamentos e descarregamentos sucessivos para determinação da carga limite das ligações .....	42
Figura 13 – Diagrama de carregamento .....	42
Figura 14 – Execução corpos de prova .....	43
Figura 15 – Corpos de prova .....	44
Figura 16 – Prensa SHIMADZU .....	44
Figura 17 – LVDT's.....	45
Figura 18 – Execução dos Ensaios .....	45
Figura 19 – Gráfico Carregamento Compressão CP E90-2.....	48
Figura 20 – Gráfico Carregamento Compressão CP E90-3.....	48
Figura 21 – CP E90 (2,3) Após Ruptura .....	49
Figura 22 – Gráfico Carregamento Compressão CP E0-2 .....	49
Figura 23 – Gráfico Carregamento de Compressão CP E0-3.....	50
Figura 24 – CP E0 (2,3) Após Ruptura .....	50
Figura 25 – Gráfico Carregamento Compressão CP F90-2 .....	51
Figura 26 – Gráfico Carregamento Compressão CP F90-3 .....	51
Figura 27 – CP F90 (2,3) Após Ruptura .....	52
Figura 28 – CP F90 (2,3) Após Ruptura .....	52
Figura 29 – Gráfico Carregamento Compressão CP F0-2 .....	53
Figura 30 – Gráfico Carregamento Compressão CP F0-3 .....	53

Figura 31 – CP F0 (2) Após Ruptura.....	54
Figura 32 – CP F0 (2) Após Ruptura.....	54

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Valor do $K_{mod1}$ em função do tipo de carregamento e madeira utilizada na ligação.....	32
Quadro 2 – Valor do $K_{mod 2}$ em função da classe de umidade do ambiente e da madeira utilizada na ligação.....	32
Quadro 3 – Lista de quantitativo e materiais utilizados na pesquisa .....	41
Quadro 4 – Corpos de prova .....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Conversão diâmetro dos pregos .....	27
Tabela 2 - Parâmetros de resistência.....	30
Tabela 3 - Resumo das resistências eucalipto e pinus.....	33
Tabela 4 - Detalhes dos corpos de prova.....	46
Tabela 5 - Carga de ruptura calculada de acordo com a norma.....	47
Tabela 6 - Flim obtido com os CP's (1) de cada grupo.....	47
Tabela 7 - Resistências para cada CP's, por subgrupo.....	55
Tabela 8 - Comparação das resistências calculadas pela NBR 7190 e verificadas no ensaio a compressão.....	55

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BQF – Banho Quente Frio

EESC – Escola de Engenharia de São Carlos

JP – Jauge de Paris

LAMEM – Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira

LEME – Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais

LPP – Linha de Polegada Portuguesa

LVDT – *Linear Variable Differential Transformer*

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1	Contextualização do tema, problema e justificativa da pesquisa .....	17
1.2	Objetivos .....	19
1.2.1	Objetivo geral.....	19
1.2.2	Objetivos específicos.....	19
1.3	Organização do trabalho.....	19
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>20</b>
2.1	Madeira na construção civil brasileira.....	20
2.2	Madeira como material estrutural .....	20
2.3	Propriedades físicas da madeira.....	21
2.3.1	Anisotropia.....	21
2.3.2	Umidade .....	22
2.3.3	Retração e inchamento .....	22
2.3.4	Dilatação Linear Térmica .....	23
2.3.5	Deterioração.....	23
2.4	Propriedades mecânicas da madeira.....	24
2.5	Defeitos das madeiras.....	25
2.6	Ligações em madeira .....	26
2.7	Resistência dos pinos.....	27
2.7.1	Caracterização simplificada da madeira.....	30
2.7.2	Valores representativos das propriedades das madeiras .....	30
2.7.3	Coeficiente de modificação .....	31
2.7.4	Coeficiente de ponderação .....	33
2.7.5	Valores mínimos para espaçamentos e dimensões .....	33
2.7.6	Método de ensaio .....	34

<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>36</b>
<b>3.1</b>	<b>Caracterização da pesquisa .....</b>	<b>38</b>
<b>3.2</b>	<b>Procedimentos técnicos para coleta de dados .....</b>	<b>38</b>
<b>3.3</b>	<b>Estratégia para execução do experimento.....</b>	<b>39</b>
<b>3.4</b>	<b>Materiais utilizados e confecção dos corpos de prova.....</b>	<b>43</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>46</b>
<b>4.1</b>	<b>Resistências máximas das ligações, de acordo com a NBR 7190/1997</b>	<b>46</b>
<b>4.2</b>	<b>Análise comparativa dos resultados com a NBR 7190 .....</b>	<b>47</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Resultados dos ensaios dos CP's .....</b>	<b>47</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Análise comparativa entre resultados dos ensaios e valores calculados de acordo com a NBR7190 .....</b>	<b>55</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>57</b>
<b>5.1</b>	<b>ESTUDOS FUTUROS .....</b>	<b>57</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As mais antigas obras construídas pelos seres humanos foram de madeira e pedras, sendo a madeira uma matéria-prima versátil e sustentável. Nos dias atuais, edifícios construídos em madeira são realidade em países da Europa e Canadá, seja uma construção mista com concreto e aço ou inteiramente de madeira.

A madeira se tornou uma alternativa altamente competitiva e vem se destacando no cenário mundial como material estrutural para residências e edifícios de múltiplos pavimentos, há muito tempo o uso de madeira como elemento estrutural em casas do tipo *woodframe* vem sendo utilizado, principalmente dos Estados Unidos. (MOLINA; CALIL JR, 2010)

No Brasil, de acordo com Barros (1989), a utilização da madeira como material estrutural não atingiu alto nível de industrialização devido a falta de conscientização dos construtores quanto a elaboração técnica dos projetos, e a inexistência de políticas públicas para utilização adequada e racional da madeira.

Construções em madeira são consideradas ambientalmente vantajosas, uma vez que a sua utilização, acarreta um menor consumo de cimento, Carvalho (2008) refere-se a impactos ambientais em todas as fases da produção de cimento, causando poluição no ar e no terreno onde é extraído a matéria prima, emitindo gases danosos a saúde como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), entre outros.

### 1.1 Contextualização do tema, problema e justificativa da pesquisa

As peças de madeira utilizadas nas obras têm seus comprimentos limitados em função do tamanho da árvore das quais as peças são extraídas. Outros fatores como necessidade dentro do contexto da obra ou transporte são fatores que também influenciam no tamanho das peças de madeira visto que para determinadas utilidades se torna mais viável utilizar madeiras curtas ligadas umas às outras. Para atender as necessidades estruturais, alguns projetos demandam que as madeiras, ora por sua limitação natural em relação ao comprimento, ora por questões de logística, sejam ligadas umas nas outras.



Assim, utilizar dispositivos de ligações entre as peças é uma solução encontrada pelos construtores para combinar os diversos tipos de peças de madeira. Essa ligação pode ser composta por diversos dispositivos, dos quais os principais podem ser considerados os grampos, braçadeiras, pinos ou pregos, tarugos e entalhes. Dentre as ligações supracitadas, a mais utilizada comumente na indústria da construção civil são as ligações realizadas com o uso de pregos devido sua facilidade de execução e preço acessível.

A carga aplicada pela estrutura nas peças estruturais é transmitida integralmente às ligações. Portanto, as ligações são a parte mais importantes do projeto quanto ao dimensionamento estrutural, visto que são consideradas pontos frágeis da estrutura devido a essas solicitações de carga.

A não observância da utilização da NBR 7190 (ABNT, 1997) para confecção de ligações mecânicas de madeira pode causar desperdício de material, danos ao material e à estrutura, por outro lado, é importante saber se os parâmetros relacionados a resistência das ligações estabelecidos na norma também são encontrados na prática.

Assim, emerge a questão de pesquisa, a resistência das ligações de estruturas de madeira utilizando pregos correspondem aos valores calculados pelo método de dimensionamento da NBR 7190/1997.

Portanto, realizar um estudo para verificar se o procedimento de ligação mecânica de madeira com pinos metálicos, do tipo prego, através de um experimento verificando a carga de ruptura de corpos de prova confeccionados conforme a norma técnica justifica-se na medida em que serão comparados os resultados do experimento com os parâmetros de segurança prescritos na norma e dessa forma verificar o nível de segurança da ligação dimensionada segundo os critérios da mesma.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Verificar experimentalmente se existe conformidade entre os valores obtidos através dos procedimentos de cálculo de resistências das ligações pregadas prescritos na norma técnica e os valores de carga de ruptura obtidos em ensaios.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Dimensionar as ligações de peças em madeira, utilizando pregos, alterando o número e a disposição dos elementos de ligação, e dimensões das peças, assim como variar a direção das fibras principais da madeira, de modo a obter diferentes as formas de rupturas previstas na NBR 7190/1997;
- Determinar as resistências de ruptura de cada uma das ligações dimensionadas, de acordo com a NBR 7190/1997;
- Ensaiar em laboratório as amostras dimensionadas, obtendo o valor máximo de carga resistido por cada uma das ligações;
- Comparar os valores de resistência calculados de acordo com a NBR 7190/1997 com valores obtidos nos ensaios experimentais;

## **1.3 Organização do trabalho**

Além da introdução, o Capítulo 1 é apresentada uma contextualização acerca da problemática, dos objetivos bem como a justificativa. O Capítulo 2, apresenta a fundamentação teórica bem como os pressupostos teóricos que deram suporte aos argumentos da pesquisa. No 3º Capítulo, será apresentada a aplicação da metodologia do estudo sobre verificação da segurança em ligações mecânicas de madeira com pinos metálicos do tipo prego. A análise dos resultados e discussões sobre o assunto estão apresentados no Capítulo 4 e, por fim, no Capítulo 5 estão apresentadas as considerações finais e oportunidades para estudos futuros.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 Madeira na construção civil brasileira**

Segundo Zenid (2011), No Brasil, madeira é amplamente utilizada na construção civil, nas estruturas de concreto armado sua principal utilização é como escoras e formas de pilares e vigas. É utilizada como material definitivo em esquadrias, estruturas de cobertura, pisos e forros.

De acordo com Calil Junior, Lahr e Dias (2003), a antiga tradição em construir sistemas estruturais em madeira, e sua relativa facilidade de execução, faz esse sistema ser provavelmente mais utilizado que qualquer outro em treliças de telhados. Segundo a FAO (2004), a produção de madeira serrada varia entre 19 e 22 milhões de metros cúbicos por ano, um terço dessas madeiras são provenientes de florestas plantadas.

Ainda de acordo com Calil Junior, Lahr e Dias (2003) a principal função estrutural das treliças em telhados é receber a carga das terças e transferir aos apoios, de modo que sua construção seja a mais econômica, ou seja, utilizando menos material possível, otimizando os materiais e atendendo as solicitações de projeto. Observa-se também a utilização

Segundo BALEN (2016), o uso de sistemas construtivos diferenciados, que buscam alinhar sustentabilidade com rapidez de execução, vem ganhando espaço no mercado brasileiro, atualmente, os setores técnicos, comerciais e industriais têm incentivado esforços para implantação desse tipo de sistema no país.

### **2.2 Madeira como material estrutural**

Segundo Pfeil e Pfeil (1985), a madeira apresenta uma relação resistência/massa específica excelente, se comparada com outros materiais estruturais como o aço e o concreto. Ainda de acordo com os autores, apesar de apresentar vantagens como facilidade de fabricação e um bom isolamento térmico, a madeira apresenta algumas desvantagens como sua possível degradação por ataques biológicos de fungos e insetos. Por ser um material natural, ela apresenta

uma composição heterogênea, significa que no seu interior pode existir presença de nós e fendas, causando pontos frágeis na estrutura interna da madeira,

Destacam-se duas categorias principais desse material de construção, as madeiras duras e as macias, as duras são provenientes das dicotiledôneas, as árvores têm crescimento lento e apresentam melhor qualidade, sendo chamadas de madeira de lei, enquanto as madeiras macias são provenientes das coníferas, tem crescimento rápido e são menos resistentes. As duas categorias são utilizadas tanto como peças estruturais, quanto decorativas.

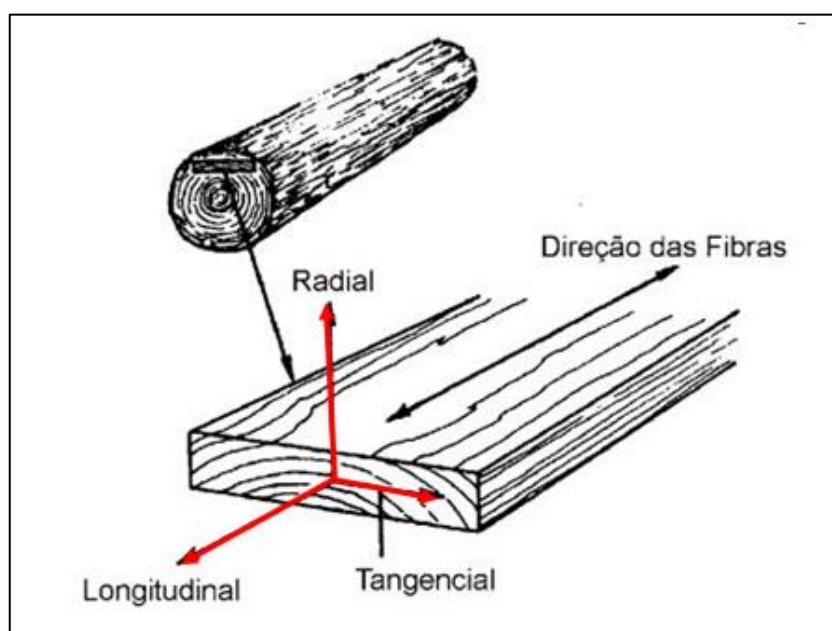
### 2.3 Propriedades físicas da madeira

A seguir estão apresentadas algumas propriedades como anisotropia, umidade, retração e inchamento, dilatação linear térmica, deterioração,

#### 2.3.1 Anisotropia

Segundo Pfeil (1985), devido a natureza das madeiras, ela apresenta três direções principais, e sua resistência assume valores diferentes para cada uma destas direções, conforme observado na Figura 1.

Figura 1– Eixos principais da madeira em relação à direção das fibras



Fonte: Adaptado de Timber Bridges Apud Calil (2003).

Na prática, as madeiras apresentam pouca diferença nas propriedades estruturais nas direções radial e tangencial, no entanto, as propriedades nas direções das fibras principais (longitudinal) apresentam significativas diferenças físicas e mecânicas. Na Figura 1 é possível perceber os eixos de referência baseados na disposição das fibras da madeira.

### **2.3.2 Umidade**

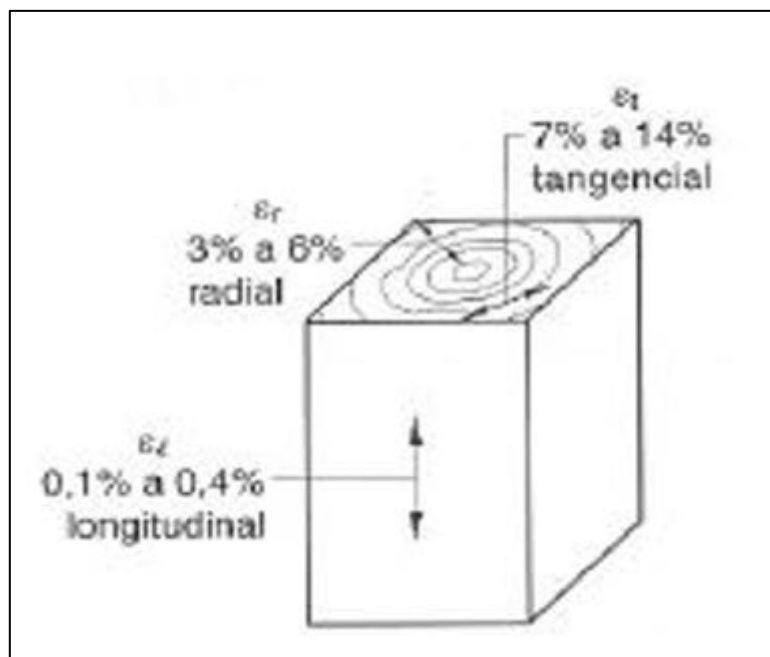
Segundo Zenid (2011) grau de umidade é o peso de água interna na madeira, e é expresso em porcentagem da massa da madeira seca em estufa até a estabilização da sua massa. A umidade está presente em duas formas na madeira, no interior de suas fibras ocas e nas suas paredes.

Após efetuado o corte das árvores, a madeira é posta para secar, a água contida nas fibras ocas evapora, até atingir o ponto de saturação das fibras, no entanto as paredes das fibras ainda estão saturadas, este ponto corresponde ao grau de umidade de cerca de 30%, nesse estado a madeira é denominada como meio seca. Continuando o processo de secagem, a madeira atinge o estado seca ao ar, e seu grau de umidade agora depende da umidade local, variando de 10 a 20%, no Brasil e nos EUA, adota-se o grau de umidade padrão de 12% (CALIL JUNIOR; LAHR; DIAS, 2003)

### **2.3.3 Retração e inchamento**

As madeiras sofrem inchamento ou retração de acordo com a variação de umidade. Esses fenômenos são mais acentuados na direção tangencial, podendo chegar a 5% a 10%, na direção longitudinal seu efeito é menos pronunciado, apenas 0,1% a 0,3%. (PFEL; PFEIL, 1985). O sentido das fibras e suas respectivas propriedades físicas são mostrados na Figura 2.

Figura 2 – Propriedades internas da madeira



Fonte: Pfeil (1985, pg 39)

### 2.3.4 Dilatação Linear Térmica

O coeficiente de dilatação linear das madeiras na direção longitudinal varia de  $0,30 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$  a  $0,45 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ . Nas direções tangenciais ou radiais o coeficiente varia de acordo com a espécie de madeira em estudo, sendo na ordem de  $4,5 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}^{\circ}$  para as dicotiledôneas e  $8,0 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$  para as coníferas (CALIL JUNIOR; LAHR e DIAS, 2003).

### 2.3.5 Deterioração

A madeira pode sofrer diversos tipos de deteriorações, sendo os principais os ataques biológicos. Exemplos de ataques biológicos são os ataques de cupins e fungos que se instalam na madeira para se alimentar e procurar abrigo, de acordo com Gonçalves (2013), o conhecimento da resistência da madeira em relação aos ataques de animais xilófagos é um requisito importante para a correta utilização deste material estrutural.

Por meio de tratamentos químicos, pode-se aumentar a durabilidade e resistência das madeiras aos ataques biológicos, segundo Geraldo (2002), madeiras tratadas da forma correta podem apresentar vida útil superior às madeiras de lei,

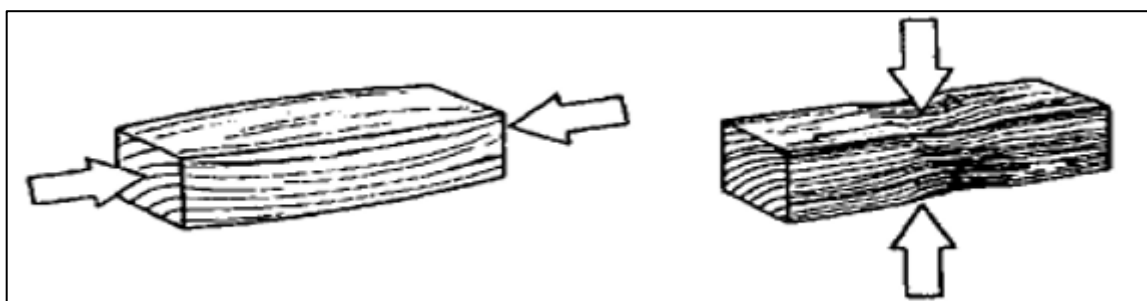
como exemplo de tratamentos pode-se citar os métodos de transpiração radial (TR) e banho quente frio (BQF).

Por ser um material combustível, a madeira é considerada erroneamente como um material de pequena resistência ao fogo, no entanto, quando adequadamente projetadas elas apresentam um excelente desempenho sob ação do fogo. Uma vez que apresentam baixa condutividade de calor, elas se oxidam lentamente, guardando o núcleo de peças robustas de forma íntegra, com suas propriedades mecânicas inalteradas (ZENID, 2011).

## 2.4 Propriedades mecânicas da madeira

Segundo Calil (2003), as propriedades de resistência das peças de madeira são influenciadas pela sua disposição dos elementos construtivos, ou seja, a posição das fibras em relação ao sentido de aplicação das cargas, conforme observa-se na Figura 3.

Figura 3 – Compressão Paralela e Perpendicular às fibras da madeira



Fonte: Adaptado de Calil (2003).

Analisando a Figura 3 é possível observar que a compressão perpendicular tende a aproximar as fibras da madeira, enquanto a compressão paralela tende a separar as fibras.

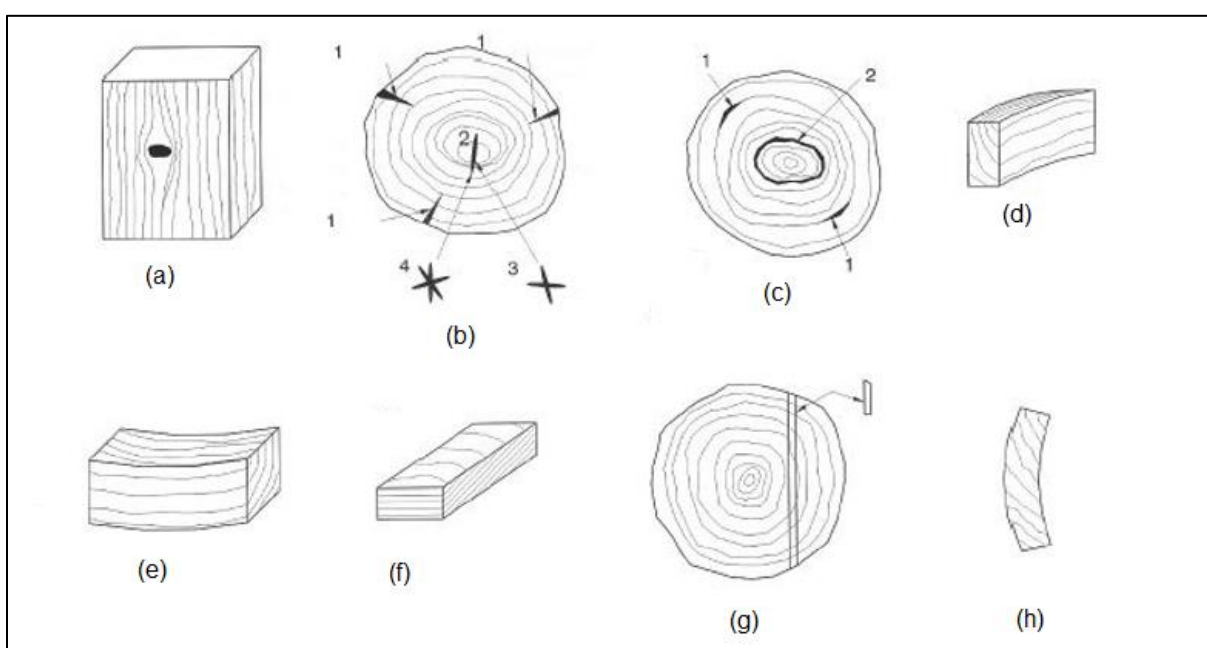
O sentido axial (longitudinal) das peças é denominado de direção paralela as fibras, uma vez que é coincidente com a orientação destas. Não é possível diferenciar as direções radiais e tangenciais, elas são chamadas de direção ortogonais as fibras, os valores de resistência e rigidez são próximos para esses dois sentidos, mas muito inferiores aos valores da direção paralela as fibras.

O sentido paralelo às fibras é caracterizado pelo índice "0", enquanto o sentido ortogonal recebe o índice "90", essa nomenclatura foi adotada pelo fato de os sentido das aplicações da carga fazerem os respectivos ângulos com as fibras principais da madeira, NBR 7190 (ABNT, 1997).

## 2.5 Defeitos das madeiras

De acordo com Pfeil e Pfeil (1985), as madeiras apresentam defeitos resultantes de causas naturais durante o crescimento da árvore e de estocagem da madeira serrada, e esse é um dos seus principais inconvenientes construtivos, uma vez que os defeitos, dos quais alguns estão apresentados na Figura 4, resultam em pontos frágeis suscetíveis às rupturas.

Figura 4 – Defeitos nas Madeiras



Fonte: Adaptado de Pfeil (1985).

Os principais defeitos são apresentados na Figura 4.é possível perceber: (a) nós, (b) fendas, (c) gretas,(d) abaulamento, (e) arqueadura, (f) fibras reversas, (g) esmoado e (h) empenamento.



## 2.6 Ligações em madeira

Segundo Pfeil e Pfeil (1985) existe no mercado diversos dispositivos e métodos para unir as peças de madeiras. Os principais dispositivos de ligações são: pregos, grampos, braçadeiras, parafusos, conectores metálicos, tarugos e entalhes.

Segundo Calil Junior, Lahr, Dias (2003), as ligações são consideradas os pontos mais importantes no quesito segurança das estruturas em madeiras, visto que a falha de uma conexão pode resultar no colapso de toda estrutura.

As ligações em madeira são divididas em duas vertentes, as ligações por contato direto entre as peças, chamadas de entalhes (ou encaixes) e as ligações por elementos externos, como adesivos, ou dispositivos metálicos.

Como dispositivos metálicos, tem-se disponível no mercado os anéis metálicos, parafusos e pregos, sendo os pregos o material de ligação abordado neste trabalho. Nesse tipo de ligação, as forças são transmitidas para uma área pequena, em função das dimensões do prego, isso resulta numa concentração de tensões para um ponto específico das peças de madeira.

A nomenclatura convencional dos pregos disponibilizada no mercado é em JP x LPP, sendo esses valores as dimensões do diâmetro e comprimento, respectivamente. A GERDAU é a maior fornecedora de pregos do Brasil, e fornece, no catálogo, as tabelas e equivalências para conversões de unidades.

O valor do diâmetro (JP) deve ser encontrado na tabela 1 enquanto, o valor do comprimento (LPP) é em função da equivalência de 2,3mm.

Tabela 1- Conversão diâmetro dos pregos

Tabela Jauge de Paris			
JP	mm	JP	mm
1	0,6	16	2,7
2	0,7	<b>17</b>	<b>3,0</b>
3	0,8	18	3,4
4	0,9	19	3,9
5	1,0	20	4,4
6	1,1	<b>21</b>	<b>4,9</b>
7	1,2	22	5,4
8	1,3	23	5,9
9	1,4	24	6,4
10	1,5	25	7,0
11	1,6	26	7,6
12	1,8	27	8,2
13	2,0	28	8,8
14	2,2	29	9,4
15	2,4	30	10,0

Fonte: do autor

O prego de nomenclatura 17 x 27 por exemplo, apresenta 3,0 mm de diâmetro (valor encontrado na Tabela 1), e 6,21 cm de comprimento (27 multiplicado por 2,3).

## 2.7 Resistência dos pinos

As seguintes propriedades são consideradas no cálculo das resistências das ligações mecânicas.

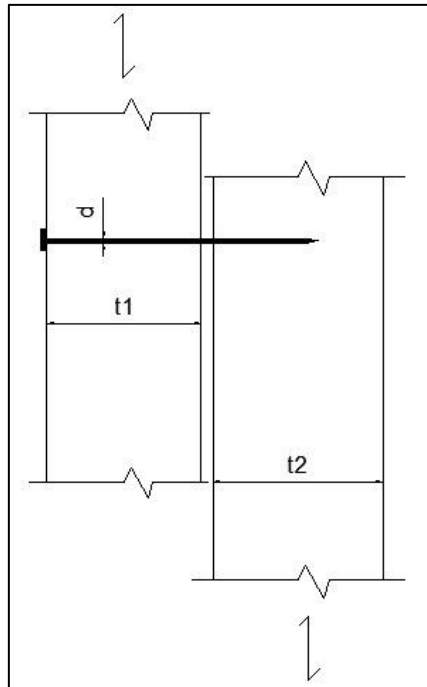
### Madeira

- Resistência ao embutimento das peças interligadas;
- Espessura ( $t$ ), de acordo com a Figura 5.

### Pino metálico

- Resistência ao escoamento do aço.
- Diâmetro do prego ( $d$ ).

Figura 5 – Espessura t



Fonte: Adaptado de NBR 7190 (ABNT, 1997).

Onde  $t$  é o menor valor entre  $t_1$  e  $t_2$ . Na ruptura da ligação, duas falhas podem ocorrer, uma delas é o embutimento da madeira, outra é a flexão do pino, o que determina qual das duas falhas ocorrerá para cada tipo de ligação é o coeficiente  $\beta_{lim}$  determinado pela equação (1).

$$\beta_{lim} = 1,25 * \sqrt{\frac{f_{y,d}}{f_{e0,d}}} \quad (1)$$

Onde:

$f_{y,d}$  é o valor de cálculo da tensão de escoamento do pino metálico;

$f_{e0,d}$  é o valor de cálculo da resistência ao embutimento da madeira

A resistência de cálculo do aço do pino é obtida por através da equação (2)

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (2)$$

Onde:

$f_{yk}$  = valor característico da resistência de escoamento

$\gamma_s$  = fator ponderação

Após determinar o valor de  $\beta_{lim}$ , o próximo passo é obter a relação entre a espessura da peça mais delgada da ligação e o diâmetro do pino metálico, dada pela expressão  $\beta$  como expresso na equação (3).

$$\beta = \frac{t}{d} \quad (3)$$

Onde:

$t$  = espessura da peça mais delgada da madeira;

$d$  = diâmetro do pino.

Comparando os valores de  $\beta_{lim}$  e  $\beta$  determina-se a resistência para um plano de corte de um pino, utilizando a equação 4 para o caso de embutimento da madeira, se  $\beta \leq \beta_{lim}$ , e a equação 5 para a flexão do pino se  $\beta > \beta_{lim}$ .

$$R_{vd,1} = 0,4 * \frac{t^2}{\beta} * f_{e0,d} \quad (4)$$

$$R_{vd,1} = 0,625 * \frac{d^2}{\beta_{lim}} * f_{yd} \quad (5)$$

A norma brasileira define como  $R_{vd,1}$  o valor da resistência de um plano de corte, para obter a resistência total da ligação é necessário multiplicar este valor pela quantidade de planos de corte existente na ligação.

### 2.7.1 Caracterização simplificada da madeira

Para as espécies usuais de madeira serrada, a norma permite que se faça a caracterização de forma simplificada a partir dos dados obtidos nos ensaios de compressão paralela às fibras, adotando as seguintes relações para os valores característicos das resistências, na tabela 2 são apresentados esses valores.

Tabela 2- Parâmetros de resistência

Relação de parâmetros	Valor
$f_{c0,k} / f_{t0,k}$	0,77
$f_{tm,k} / f_{t0,k}$	1,00
$f_{c90,k} / f_{c0,k}$	0,25
$f_{e0,k} / f_{c0,k}$	1,00
$f_{e90,k} / f_{c0,k}$	0,25
Para coníferas:	
$f_{v0,k} / f_{c0,k}$	0,15
Para dicotiledôneas:	
$f_{v0,k} / f_{c0,k}$	0,12

Fonte: Adaptado de NBR 7190 (1997)

Onde, as resistências com o sufixo “c”, “t”, “e” e “v” significam respectivamente, compressão, tração, embutimento e cisalhamento.

### 2.7.2 Valores representativos das propriedades das madeiras

Para utilizar os valores dessas propriedades em cálculos estruturais de madeira, os valores médios devem ser transformados em valores característicos ( $X_k$ ), posteriormente esses valores serão transformados em valores de cálculo ( $X_d$ ).

A obtenção dos valores característicos para as resistências de madeiras já estudadas pelos Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras (LaMEM) e da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo é feita a partir dos valores médios dos ensaios pela seguinte equação (6):

$$X_k = 0,7 * X_m \quad (6)$$

Onde:

$X_k$  = valor da resistência característica;

$X_m$  = valor da resistência média obtido na NBR 7190 (ABNT, 1997).

Os valores de cálculo  $X_d$  devem ser obtidos a partir dos valores característicos de acordo com a equação (7):

$$X_d = K_{mod} * \frac{X_k}{\gamma_w} \quad (7)$$

Onde:

$K_{mod}$  = coeficiente de modificação da madeira;

$X_k$  = valor da resistência característica;

$\gamma_w$  = coeficiente gama de minoração

### 2.7.3 Coeficiente de modificação

O coeficiente de modificação  $K_{mod}$  minora o valor da resistência de cálculo em função de três fatores, a classe de carregamento da estrutura, a classe de umidade do local e da qualidade estrutural da madeira utilizada, é determinado, portanto, da seguinte forma:

$$K_{mod} = K_{mod1} * K_{mod2} * K_{mod3} \quad (8)$$

$K_{mod1}$  leva em conta a classe de carregamento a qual a estrutura estará sujeita durante seu tempo de vida útil e do tipo do material empregado, conforme quadro 1.

Quadro 1 – Valor do  $K_{mod\ 1}$  em função do tipo de carregamento e madeira utilizada na ligação.

Classes de Carregamento	Tipos de Madeira	
	Madeira Serrada, Madeira Laminada Colada, Madeira Compensada	Madeira Recompоста
Permanente	0,60	0,30
Longa Duração	0,70	0,45
Média Duração	0,80	0,65
Curta Duração	0,90	0,90
Instantânea	1,10	1,10

Fonte: Adaptado NBR 7190 (1997)

Para determinação do  $K_{mod2}$ , leva-se em conta a classe de umidade e o tipo de material empregado, é dado pelo quadro 2.

Quadro 2 – Valor do  $K_{mod\ 2}$  em função da classe de umidade do ambiente e da madeira utilizada na ligação.

Classes de Umidade	Madeira Serrada, Madeira Laminada Colada, Madeira Compensada	Madeira Recompоста
(1) e (2)	1,0	1,0
(3) e (4)	0,8	0,9

Fonte: NBR 7190 (1997)

O último coeficiente leva em conta a categoria da madeira utilizada. Para madeira que passou por classificação visual para garantir a ausência de defeitos e por classificação mecânica para garantir a homogeneidade da rigidez, o valor do  $K_{mod3}$  é 1,0. Caso contrário, a madeira é considerada como de segunda categoria e o valor de  $K_{mod}$  é 0,8.

Para as coníferas, existe a possibilidade de haver nós não visíveis a olho nu, neste caso o coeficiente utilizado deve ser 0,8.

### 2.7.4 Coeficiente de ponderação

A norma brasileira especifica os valores dos coeficientes de ponderação, de acordo com a solicitação:

- Compressão paralela às fibras:  $\gamma_{wc} = 1,4$ ;
- Tração paralela às fibras:  $\gamma_{wt} = 1,8$ ;
- Cisalhamento paralelo às fibras:  $\gamma_{wv} = 1,8$ ;
- Para estados limites de utilização, adota-se o valor básico de  $\gamma_w = 1,0$ .

Na tabela 3 é apresentado um resumo das resistências das duas madeiras utilizadas neste trabalho.

Tabela 3 – Resumo das resistências eucalipto e pinus

Madeira	Grupo	Valores médios (tabela norma)						
		$f_{c0m}$ (Mpa)	$f_{t0m}$ (Mpa)	$f_{t90m}$ (Mpa)	$f_{vm}$ (Mpa)	$E_{c0m}$ (Mpa)	$f_{e0,k}$	$f_{e90,k}$ (Mpa)
Eucalipto	dicotiledônea	40,30	70,20	2,60	7,00	12813,00	-	-
Pinus	conífera	40,40	66,00	2,50	7,40	11889,00	-	-

Fonte: Adaptado NBR 7190 (ABNT, 1997)

Madeira	Grupo	Valores característicos						
		$f_{c0k}$ (Mpa)	$f_{t0k}$ (Mpa)	$f_{t90k}$ (Mpa)	$f_{vk}$ (Mpa)	$E_{c0k}$ (Mpa)	$f_{e0,k}$	$f_{e90,k}$ (Mpa)
Eucalipto	dicotiledônea	28,21	49,14	1,82	3,78	11275,44	28,21	17,63
Pinus	conífera	28,28	46,2	1,75	3,99	10462,32	28,28	17,68

Madeira	Grupo	Valores de cálculo						
		$f_{c0d}$ (Mpa)	$f_{t0d}$ (Mpa)	$f_{t90d}$ (Mpa)	$f_{vd}$ (Mpa)	$E_{c0d}$ (Mpa)	$f_{e0,d}$ (Mpa)	$f_{e90,d}$ (Mpa)
Eucalipto	dicotiledônea	24,82	43,24	1,60	3,33	-	24,82	15,52
Pinus	conífera	24,89	40,66	1,54	3,52	-	24,89	15,55

Fonte: Do autor

Na tabela 3 é possível observar a conversão dos valores, de médios (m) para característicos (k), e posteriormente para valores de cálculo (d).

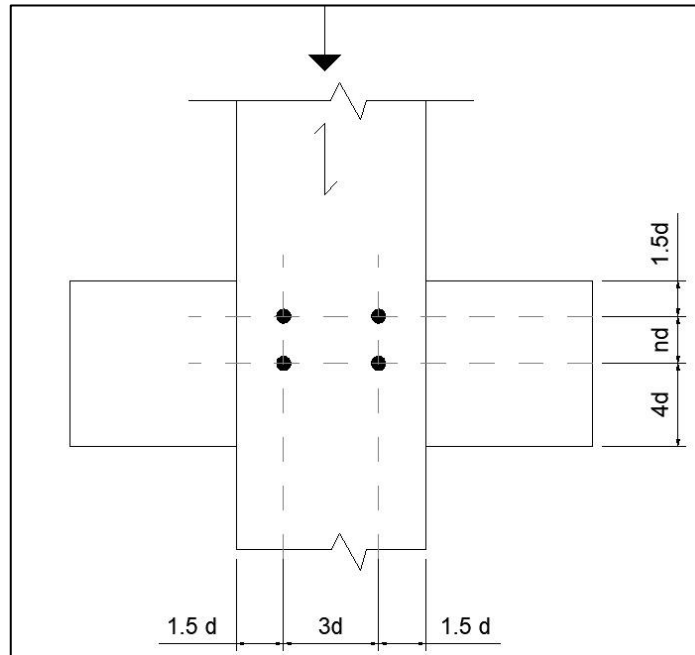
### 2.7.5 Valores mínimos para espaçamentos e dimensões

De acordo com NBR 7190 (ABNT, 1997) são estipulados espaçamentos e dimensões mínimas para as ligações pregadas, como pode-se observar na Figura 6. Além disso, a norma deixa claro que a dimensão mínima para o diâmetro de um



prego é de 3 mm, além do mais, a área mínima para uma peça estrutural é de 18cm<sup>2</sup>.

Figura 6 – Espaçamentos mínimos



Fonte: Adaptado de NBR 7190 (1997).

Com o auxílio do *software* computacional Revit, foi elaborado um modelo com os corpos de prova e suas medidas reais, a fim de evitar imprevistos durante a confecção dos CP's, garantido as distâncias mínimas recomendadas pela norma.

### 2.7.6 Método de ensaio

De acordo com o Anexo C da NBR 7190 (ABNT, 1997) para a caracterização simplificada da resistência de uma ligação, cada amostra deve ter pelo menos dois corpos de prova. A madeira deve ser extraída de regiões afastadas das extremidades das peças de pelo menos cinco vezes a menor dimensão da sua seção transversal, mas nunca menos de 30cm.

A resistência de uma ligação é determinada, convencionalmente pela força aplicada a um corpo-de-prova (CP) padronizado que provoca na ligação uma deformação específica residual de 5%.

Os pregos devem ser cravados na madeira com pré-furação feita por broca com diâmetro mínimo de acordo com as especificações da NBR 7190 (ABNT, 1997).

- coníferas:  $0,85 d_{ef}$ ;
- dicotiledôneas:  $0,98 d_{ef}$ .

Onde:  $d_{ef}$  é o diâmetro efetivo medido nos pregos a serem utilizados.

A pré furação é necessária pois, sem ela, a cravação dos pinos metálicos pode separar as fibras da madeira. Na montagem dos corpos-de-prova, a metade dos pinos deve ser instalada a partir de uma de suas faces do corpo-de-prova e a outra metade a partir da face oposta, evitando assim, excentricidades no carregamento, as medidas dos lados dos corpos-de-prova devem ser feitas com precisão de 0,1mm.

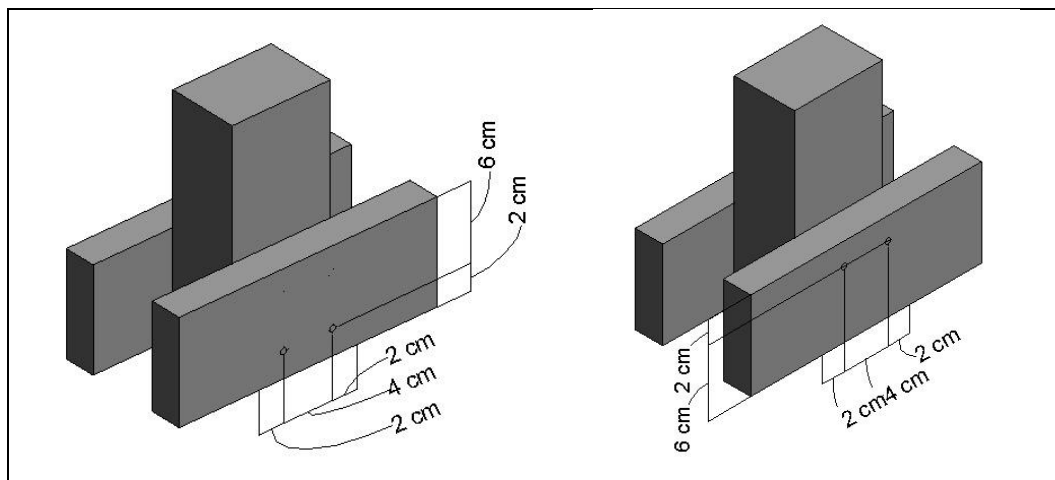
### 3 METODOLOGIA

Esta seção apresentará os métodos e materiais utilizados para a realização da pesquisa. Inicialmente, são apresentadas informações em relação a caracterização da pesquisa e suas fases. Em um segundo momento é apresentado o processo utilizado no experimento de verificação da carga de ruptura da ligação mecânica de madeira com pinos metálicos do tipo prego.

Os corpos de prova com o prefixo E e F são referentes ao tipo de ruptura, embutimento ou flexão, respectivamente, enquanto os sufixos “90” e “0” são em relação a posição das fibras, perpendicular ou paralelo.

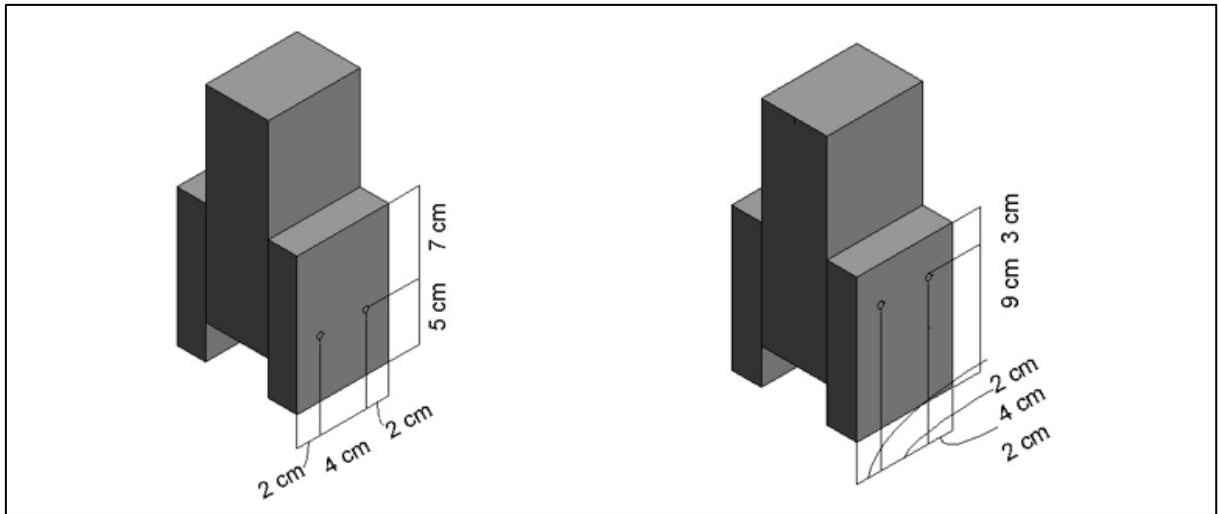
Os modelos elaborados no software REVIT são apresentados a seguir, onde as figuras 7, 8, 9 e 10 representam respectivamente os subgrupos E90, E0, F90 e F0.

Figura 7 – Modelo Corpo de Prova E90



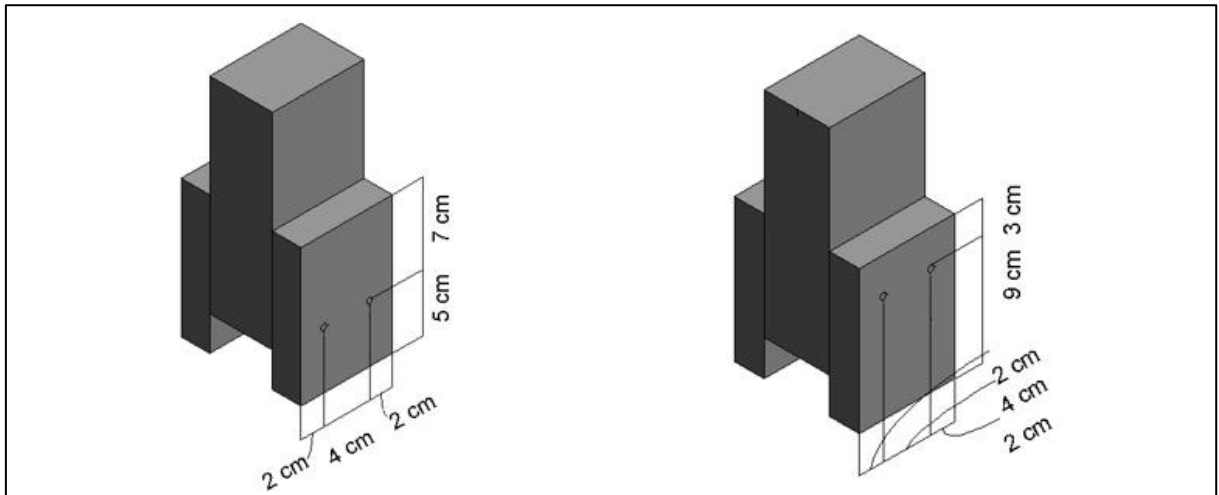
Fonte: do autor

Figura 8 – Modelo Corpo de Prova E0



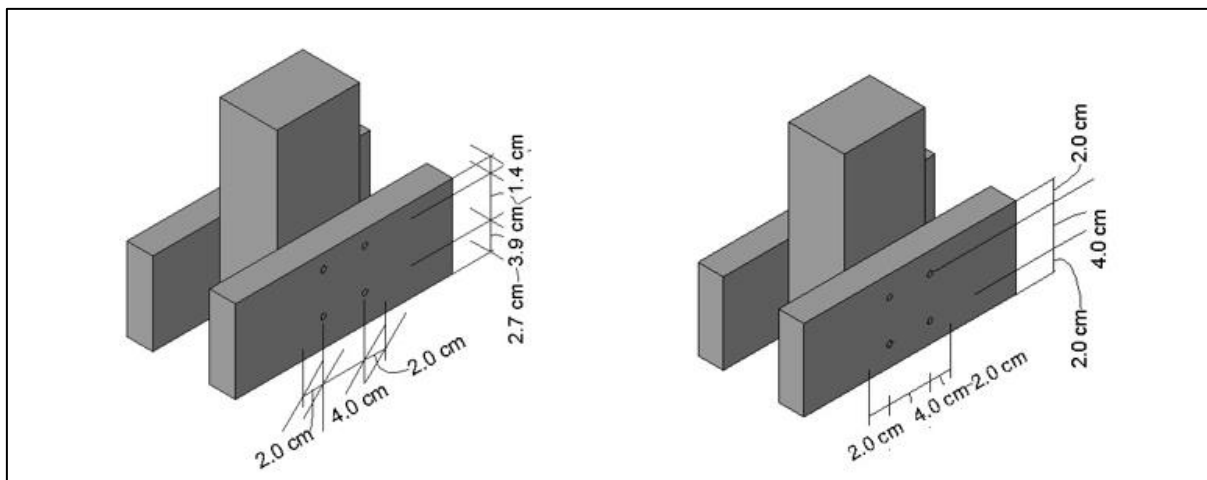
Fonte: do autor

Figura 9 – Modelo Corpo de Prova F90



Fonte: do autor

Figura 10 – Modelo Corpo de Prova F0



Fonte: do autor

### 3.1 Caracterização da pesquisa

Sobre a descrição metodológica da pesquisa, a mesma é classificada como de natureza básica, pois visa a utilização de um método para analisar características necessárias para a segurança em ligações mecânicas e peças de madeira com pinos metálicos.

Em relação a abordagem do problema, a pesquisa apresenta aspectos tanto quantitativos com os valores obtidos no experimento, como qualitativos com a análise das condições dos materiais após a ruptura.

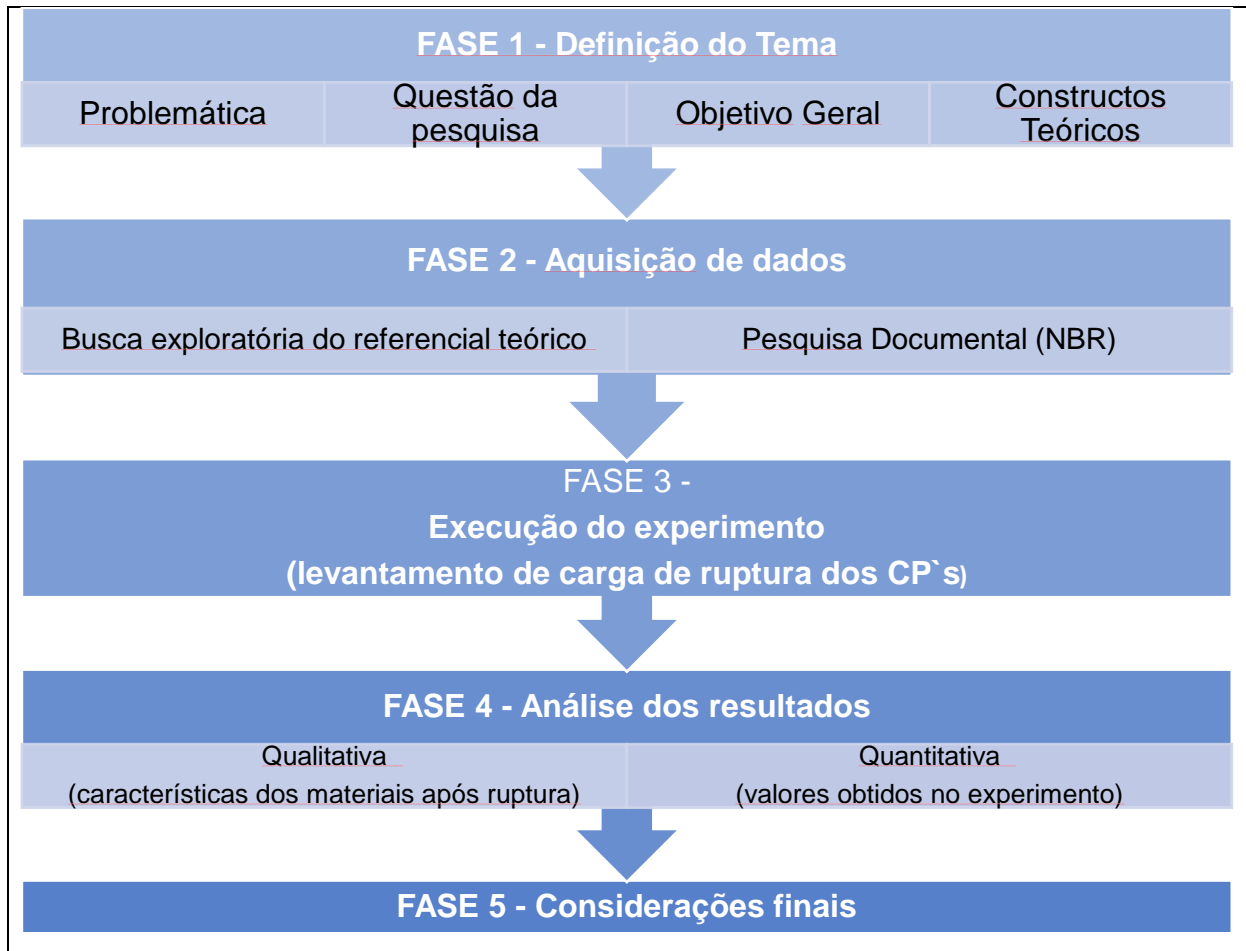
Em relação aos procedimentos técnicos: é realizada uma pesquisa bibliográfica exploratória para discutir os assuntos relacionados com a propriedade física dos materiais utilizados no estudo, além disto, é realizado o experimento em ambiente e condições controladas para verificar a carga de ruptura das ligações mecânicas construídas para o presente trabalho.

### 3.2 Procedimentos técnicos para coleta de dados

Para o presente artigo foram utilizados autores referência sobre a temática do estudo. Foram selecionados como autores base por suas publicações de referência sobre o material construtivo, madeira. Para a coleta de dados dos CP's, foi utilizada a prensa computadorizada da marca SHIMADZU, modelo UH2000kN.

A figura 11 representa as fases da elaboração da pesquisa.

Figura 11 – Fases do desenvolvimento do trabalho



Fonte: do autor

### 3.3 Estratégia para execução do experimento

Para cada tipo de ruptura, foi ensaiado 1 corpo de prova para obtenção do  $F_{lim}$  e 2 corpos de prova para obtenção da carga de ruptura.

Os materiais e equipamentos utilizados no experimento seguem conforme quadro 3.

Quadro 3 – Lista de quantitativo e materiais utilizados na pesquisa

Material	Descrição	Quantidade	Finalidade
Tábua de pinus	<i>Pinus Elliotti</i> 2,5x8x12 (cm)	12	Peças Laterais
	<i>Pinus Elliotti</i> 2,5x8x21 (cm)	12	
Caibros de eucalipto	<i>Eucalyptus Grandis</i> 5x8x17 (cm)	6	Peças Centrais
	<i>Eucalyptus Grandis</i> 5,5x8x17 (cm)	6	
Pinos Metálicos	Prego Gerdau 17 x 27	48	Conectores metálicos
	Prego Gerdau 21 x 45	24	
Máquina para ensaios	Modelo EMIC 23-200, marca INSTRON/EMIC, capacidade de carga de 200kN	1	Análise da Compressão mecânica
Instrumento medidor de deformação	LVDT (Linear Variable Differential Transformer)	2	Acompanhamento da deformação
Instrumento Transmissor de Carga	Suporte Metálico com deformação considerada desprezível	1	Execução do ensaio

Fonte: do autor

A escolha das espécies diferentes para a realização do presente estudo se justifica da seguinte forma, as peças em que deseja-se obter ruptura são as peças laterais, logo, sua resistência e/ou dimensões devem ser inferiores à da peça central, garantindo assim, que a ruptura do corpo de prova fique localizada exclusivamente na peça lateral.

Para determinar a disposição dos pregos, quantidades e diâmetros, assim como as medidas das peças de madeira, foi desenvolvido um dimensionamento com a intenção de obter em cada ensaio um dos tipos de ruptura previstos, isto é, embutimento da madeira e flexão do pino metálico.

Para efetuar os cálculos, é preciso determinar os coeficientes do  $k_{mod}$ . A madeira ensaiada é do tipo serrada e considerada de segunda categoria, o carregamento é classificado como instantâneo, a classe de umidade é considerada do tipo 2, logo:  $K_{mod1} = 1,1$  ;  $K_{mod2} = 1,0$  ;  $K_{mod3} = 0,8$  e  $K_{mod} = 0,88$ .

Foram confeccionados 12 corpos de prova de ligação mecânica de madeira com pinos metálicos por um carpinteiro experiente. Estes 12 corpos de prova, foram segregados em dois grupos de acordo com o tipo de ruptura: embutimento da madeira e flexão do pino. Estes dois grupos foram subdivididos em dois subgrupos

de acordo com a posição das fibras da madeira na ligação mecânica, sendo perpendicular ou paralelo. Para facilitar o entendimento durante o estudo a nomenclatura dos corpos de prova seguem conforme quadro 4.

Quadro 4 – Corpos de prova

Grupo	Subgrupo	Corpo de Prova
Embutimento da madeira	Paralelo	E0-1
		E0-2
		E0-3
	Perpendicular	E90-1
		E90-2
		E90-3
Flexão do pino	Paralelo	F0-1
		F0-2
		F0-3
	Perpendicular	F90-1
		F90-2
		F90-3

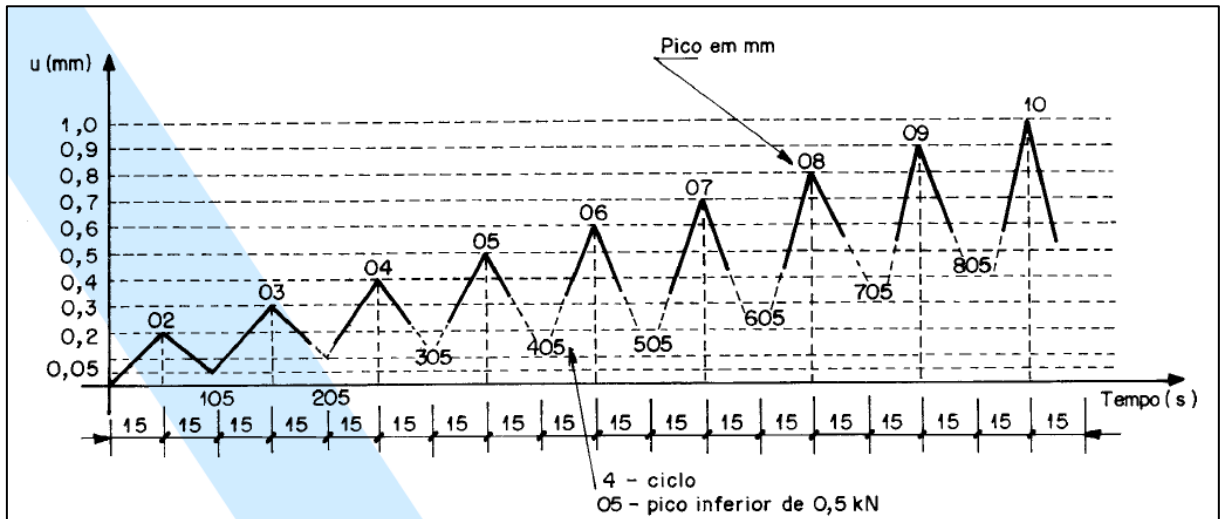
Fonte: do autor

Entre os corpos de prova confeccionados para este estudo, todos os com sufixo “1” foram utilizados para determinar a carga limite de ruptura da ligação, que de acordo com a norma é denominada “ $F_{lim}$ ”, conforme Figura 12. Os outros dois Corpos de Prova de cada subgrupo, foi carregado conforme Figura 13 seguindo o que rege o anexo “C” da NBR 9170/97 (ABNT, 1997).

Para este processo, foi necessário inicialmente a instalação de dois dispositivos LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) para acompanhar a deformação da ligação quando é exercida a pressão sob o corpo de prova é utilizada a média aritmética dos dois LVDT para informar a deformação. Já o processo de aquisição do “ $F_{lim}$ ”, foi obtido através do uso de ciclos de carga e descarga iniciando em 0,2mm e descarregando até 0,5 kN, onde foi incrementado 0,1mm por ciclo até ser atingida a deformação residual de 5%, conforme Figura 12.



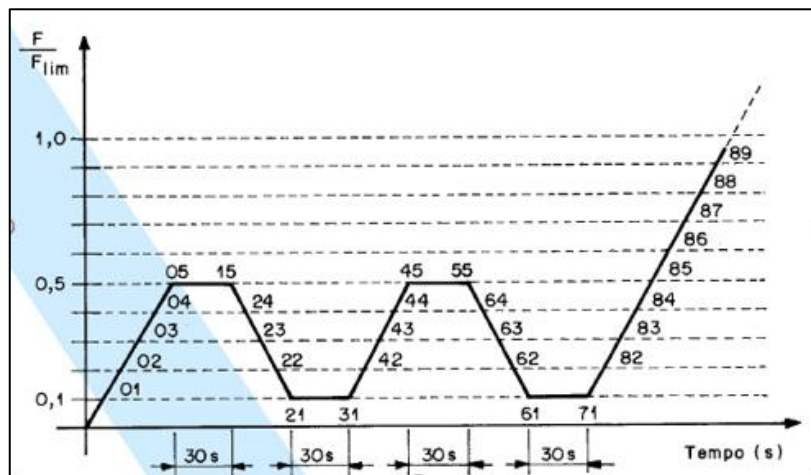
Figura 12 – Diagrama de carregamentos e descarregamentos sucessivos para determinação da carga limite das ligações



Fonte: NBR 7190 (1997)

Com o limite de carga de ruptura verificado, foram realizados os ensaios de ruptura com os outros dois corpos de prova de cada subgrupo, de acordo com o mesmo anexo supracitado, onde o objetivo foi verificar se a carga limite atingida era compatível com os valores estabelecidos na norma para cada tipo de ligação mecânica do quadro 4. O diagrama de carregamento em função do tempo realizado no restante dos CP's segue o mesmo padrão observado na Figura 13.

Figura 13 – Diagrama de carregamento



Fonte: NBR 7190 (1997)

### 3.4 Materiais utilizados e confecção dos corpos de prova

Neste capítulo estão contidas as informações sobre os materiais utilizados para a confecção dos corpos de prova, bem como seus processos de fabricação. O tamanho das amostras e os critérios de extração da madeira dos CP's foram os mesmos estabelecidos no item C.2 da NBR 7190 (ABNT,1997).

Antes dos pregos serem cravados nas madeiras, foi executado um pré furo com diâmetro ligeiramente inferior ao diâmetro do prego, sendo esse valor aproximadamente igual a  $0,85 \cdot d_{ef}$  para os pinus e  $0,98 \cdot d_{ef}$  para o eucalipto, conforme o anexo C da NBR 7190 (ABNT, 1997), onde  $d_{ef}$  é o diâmetro efetivo do prego.

No espaçamento entre os eixos dos pinos e as bordas das peças de madeira respeitou-se o item 8.6 da NBR 7190 (ABNT,1997), conforme Figura 6. Os corpos de prova fabricados são simétricos, ou seja, a metade dos pinos foi inserida em uma face da amostra e a outra metade na face oposta.

Como base de medida para o cálculo da deformação específica da ligação utilizou-se o comprimento total da amostra acrescido do comprimento total de um suporte metálico de deformação considerada desprezível. Este suporte foi necessário, pois o sensor do LVDT não possui altura compatível com a altura do corpo de prova.

Figura 14 – Execução corpos de prova



Fonte: do autor

Figura 15 – Corpos de prova



Fonte: do autor

Além dos materiais utilizados para a confecção dos corpos de prova, utilizaram-se também na realização dos ensaios, os seguintes equipamentos: prensa SHIMADZU apresentada na figura 16; e o LVTD conforme a Figura 17. Os experimentos foram executados no laboratório LEME (Laboratório de Ensaios de Modelos Estruturais) com o auxílio do técnico responsável pelo laboratório.

Figura 16 – Prensa SHIMADZU



Fonte: do autor

Figura 17 – LVDT's



Fonte: do autor

A utilização de dois LVDT's serve para ter uma precisão maior da medida do deslocamento do corpo de prova, como deformação real foi utilizada a média simples dos dois valores

Na figura 18, observa-se a execução dos ensaios de compressão, o posicionamento dos LVDT's e do suporte metálico.

Figura 18 – Execução dos Ensaio



Fonte: do autor

## 4 RESULTADOS

O presente capítulo apresenta os resultados do estudo, para isto, ele foi dividido em 2 subtópicos: resistências máximas de acordo com a NBR 7190 (ABNT,1997); e, por fim, a análise comparativa dos resultados com a NBR 7190 (ABNT,1997), visando verificar se os valores verificados nos ensaios são compatíveis com os calculados na norma.

### 4.1 Resistências máximas das ligações, de acordo com a NBR 7190/1997

Neste capítulo, estão apresentadas as resistências máximas obtidas através dos parâmetros estabelecidos nas NBR 7190 (ABNT,1997).

Para calcular a resistência da ligação utilizou-se como parâmetros: a espessura da madeira (2,5cm); a resistência ao embutimento da madeira (15,55 MPa para E90- 24,89 MPa para E0), que são os valores obtidos na madeira do tipo pinus com ligação perpendicular e paralela, respectivamente; e limite do escoamento do aço (600 MPa), é o valor relativo ao material aço comercializado.

Em relação ao  $B_{lim}$ , utilizando a equação 1, obteve-se o valor de 7,40 para E90 e 5,85 para E0, por utilizar a resistência ao embutimento da madeira e o limite de escoamento do aço, que são constantes nos materiais utilizados no estudo.

Na tabela 4, encontra-se o detalhamento das peças utilizadas em cada CP, e na tabela 5, os valores de carga de ruptura, calculada pelas equações 4 e 5 para embutimento na madeira e flexão no pino, respectivamente.

Tabela 4- Detalhes dos corpos de prova

Detalhes das Ligações				
Descrição	E90	E0	F90	F0
Espessura Peça Lateral	2,5 cm	2,5 cm	2,5 cm	2,5 cm
Espessura Peça Central	5,5 cm	5,5 cm	5 cm	5 cm
Dímetro dos Pinos	0,49 cm	0,49 cm	0,3 cm	0,3 cm
Largura das Peças	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm
Quantidade de pregos	4	4	8	8

Fonte: do autor

Tabela 5- Carga de ruptura calculada de acordo com a norma

Descrição	E90	E0	F90	F0
Carga de ruptura (kN) calculada conforme NBR 7190	6,10	9,76	3,32	4,19

Fonte: do autor

Calculados os parâmetros de referência conforme os materiais e valores constantes na NBR 7190 (ABNT, 1997) no capítulo seguinte serão apresentados os resultados dos ensaios realizados com a prensa computadorizada SHIMADZU, modelo UH2000 kN.

#### 4.2 Análise comparativa dos resultados com a NBR 7190

Após a realização dos cálculos, foram realizados os ensaios de resistência da ligação mecânica de madeira por pinos metálicos do tipo prego, dos quais os resultados constam no item 4.3.1.

##### 4.2.1 Resultados dos ensaios dos CP's

Em relação aos resultados dos ensaios realizados com os CP's, inicialmente foi realizada a aferição do  $F_{lim}$ , onde foram obtidos os valores constantes na tabela 6.

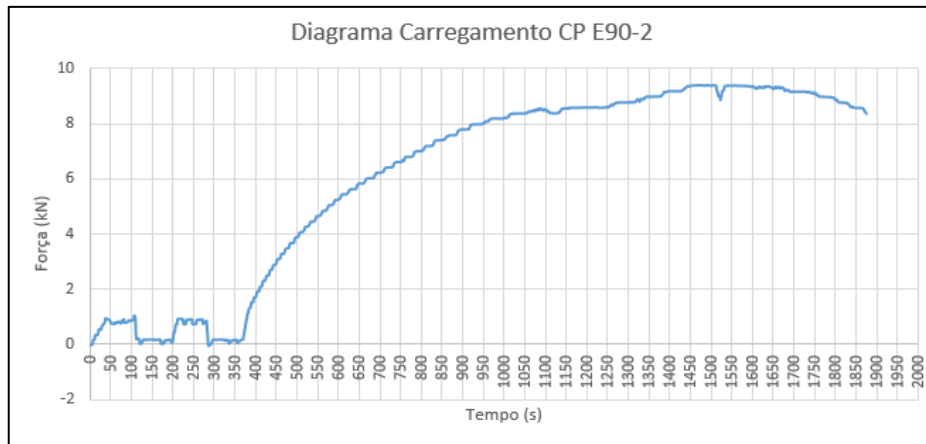
Tabela 6-  $F_{lim}$  obtido com os CP's (1) de cada grupo

Resultados	E90-1	E0 – 1	F90 – 1	F0 – 1
$F_{lim}$ (kN)	1,62	3,67	2,95	3,22

Fonte: do autor

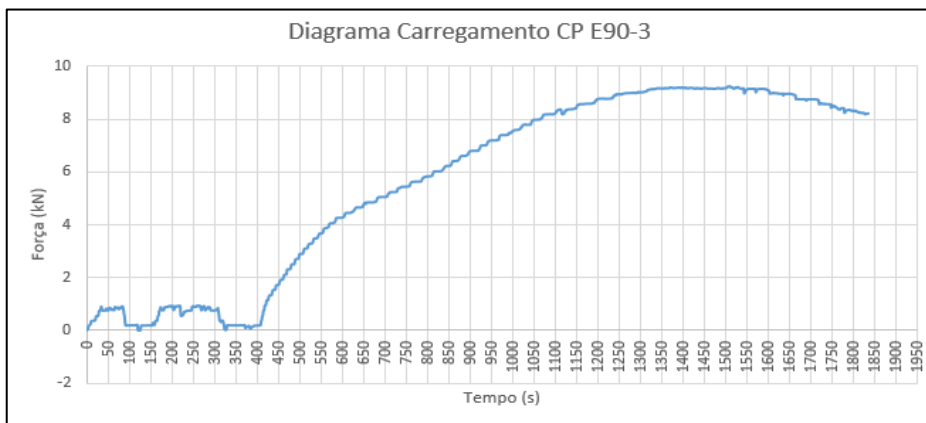
O gráfico de carregamento dos CP's E90-2 e E90-3 são mostrados nas figuras 19 e 20, no eixo vertical encontra-se o valor da Força aplicada (kN) e no eixo horizontal o tempo transcorrido no ensaio (s)

Figura 19 – Gráfico Carregamento Compressão CP E90-2



Fonte: do autor

Figura 20 – Gráfico Carregamento Compressão CP E90-3



Fonte: do autor

O valor da carga de ruptura obtido no ensaio corpo de prova E90-2 foi de 9,39kN e no CP E90-3 foi de 9,25kN. Esses resultados foram obtidos através das planilhas excel geradas pela prensa. Os valores são considerados aceitáveis uma vez que ultrapassaram o valor calculado de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997), em virtude dos seus fatores de segurança.

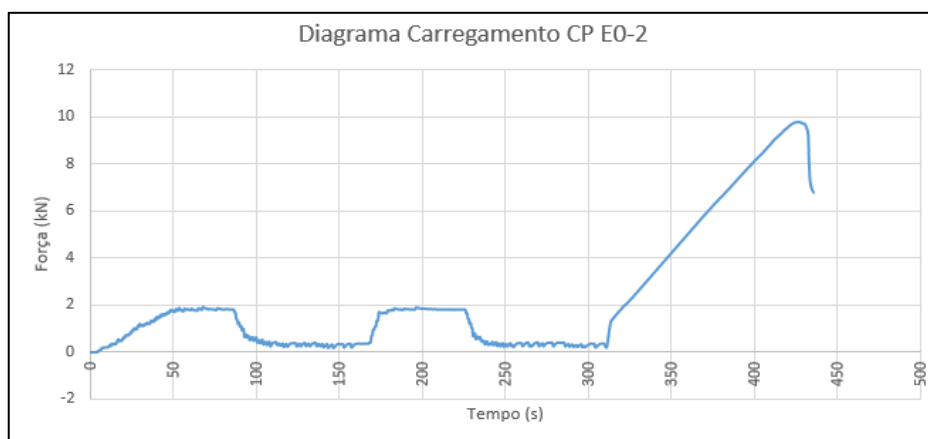
Figura 21 – CP E90 (2,3) Após Ruptura



Fonte: Do Autor

Os pregos não flexionaram, a madeira teve efeito de embutimento, como previsto por Calil (2003), o ensaio correu de forma normal, no entanto, devido a limitação de tamanho do LVDT, não foi possível prosseguir com o carregamento por mais tempo, a fim de aumentar o tamanho do embutimento.

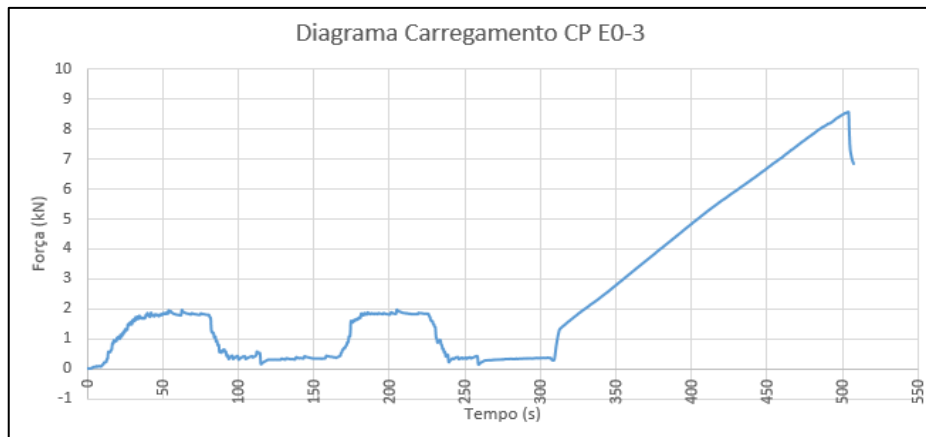
Figura 22 – Gráfico Carregamento Compressão CP E0-2



Fonte: do autor



Figura 23 – Gráfico Carregamento de Compressão CP E0-3



Fonte: do autor

O valor da carga de ruptura obtido no ensaio corpo de prova E0-2 foi de 9,77kN e e no CP E0-3 foi de 8,59kN.

A curva de carregamento do ensaio teve um comportamento retilíneo, conforme esperado, em virtude do tipo de ensaio realizado.

Figura 24 – CP E0 (2,3) Após Ruptura



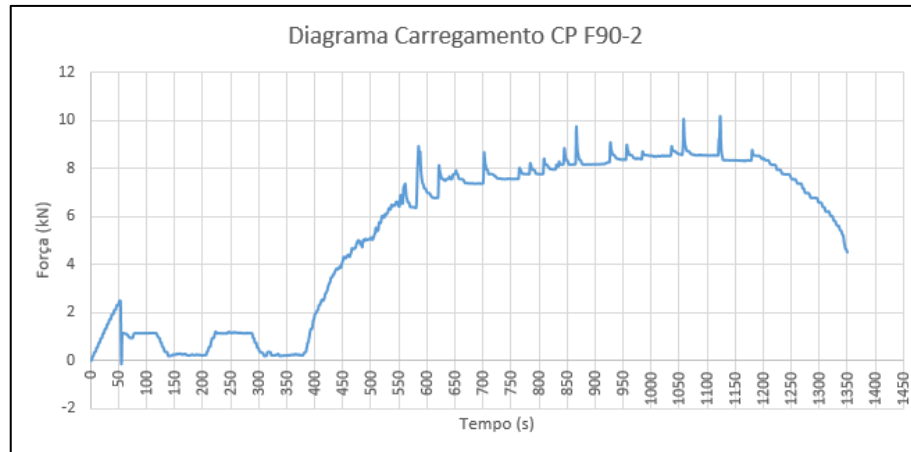
Fonte: Do Autor

Na figura 24 observa-se claramente o efeito do embutimento na madeira do tipo pinus, enquanto os pregos com diâmetro elevado apresentaram pouca

deformação aparente, é possível observar o corte feito pelos pinos ao longo da madeira mais frágil, o pinus.

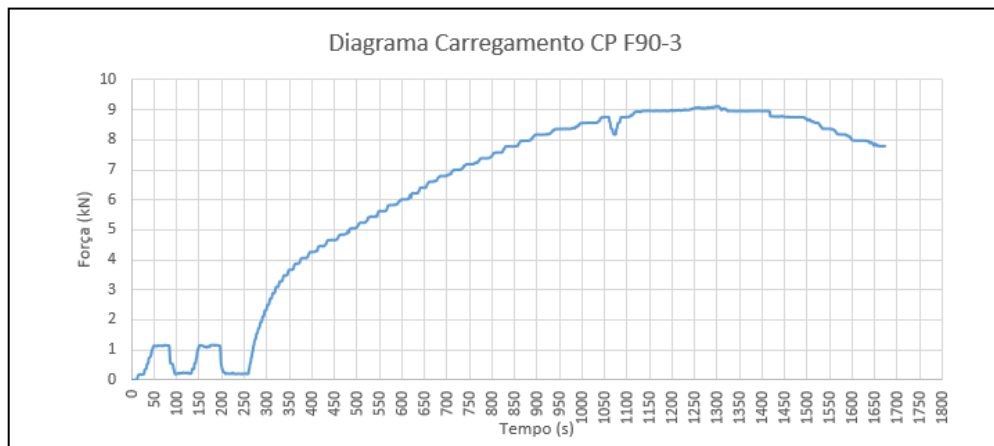
Nas figuras 25 e 26 são apresentados os gráficos de carregamentos dos CP's F90-2 e F90-3, respectivamente.

Figura 25 – Gráfico Carregamento Compressão CP F90-2



Fonte: do autor

Figura 26 – Gráfico Carregamento Compressão CP F90-3



Fonte: do autor

Durante a execução do ensaio do corpo de prova F90-2, ocorreu um imprevisto, conforme observado na figura 25, uma outra máquina foi ligada no laboratório do LEME, causando certos picos de energia na prensa hidráulica, o ensaio não foi comprometido, apesar das partes distorcidas no gráfico, o comportamento parabólico das duas curvas foi observado com clareza nos gráficos,

assim como o pico de ruptura em torno de 8,5kN para o CP F90-2 e de 9,12kN para o CP F90-3 através das planilhas excel.

Nas figuras 27 e 28 observa-se os CP's do grupo F90 após realizado os ensaios de compressão perpendicular as fibras.

Figura 27 – CP F90 (2,3) Após Ruptura



Fonte: Do Autor

Figura 28 – CP F90 (2,3) Após Ruptura



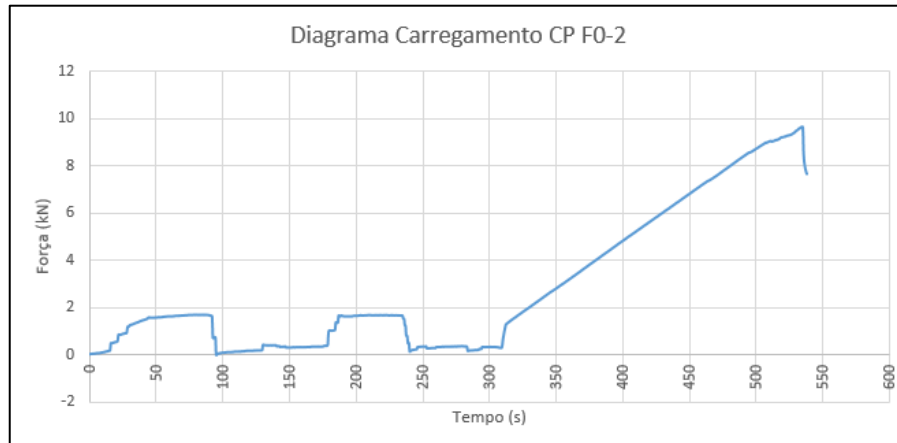
Fonte: Do Autor

Na figura 27 percebe-se o deslocamento da peça central em relação as peças laterais, assim como os pregos entortados para baixo na figura 28. Neste

ensaio em particular, foi observado um deslocamento horizontal da peça central em relação as peças laterais.

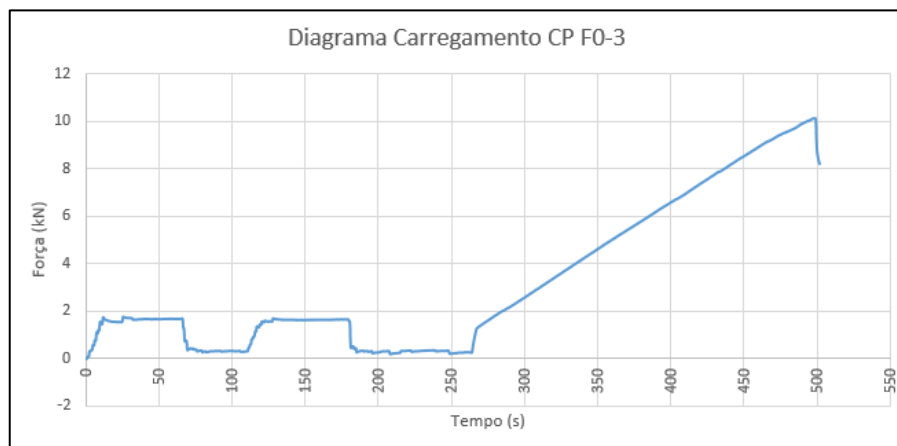
As figuras 29 e 30 apresentam os gráficos de carregamentos do CP's F0-2 e F0-3, respectivamente.

Figura 29 – Gráfico Carregamento Compressão CP F0-2



Fonte: do autor

Figura 30 – Gráfico Carregamento Compressão CP F0-3



Fonte: do autor

O valor da carga de ruptura obtido no ensaio corpo de prova F0-2 foi de 9,68kN e no CP F0-3 foi de 10,13kN. Esses valores eram esperados, uma vez que a norma oferece fatores de segurança elevados em função das fibras das madeiras

O ensaio ocorreu normalmente, obedecendo os patamares de carga e descarga conforme estabelece a norma, foi observado um comportamento linear no

gráfico de carregamento dos corpos de prova com a madeira em paralelo, esse tipo de comportamento do gráfico era o esperado, segundo Oliveira (2001)

As figuras 31 e 32 apresentam o CP F0-2 após realizado o ensaio de carregamento e a desunião manual das peças de madeira.

Figura 31 – CP F0 (2) Após Ruptura



Fonte: Do Autor

Figura 32 – CP F0 (2) Após Ruptura



Fonte: Do Autor

No CP F0-2 pode ser verificada as flexões dos pinos conforme descritas por Calil (1993) onde o pino metálico, prego, é flexionado sem que haja danos significativos na madeira. Neste tipo de ruptura, pode-se dizer que a falha ocorreu nos pinos, e não na madeira, visto que esta não foi observado danos significativos.

A tabela 7 apresenta os valores de resistências, em kN para cada corpo de prova ensaiado

Tabela 7- Resistências para cada CP's, por subgrupo

Identificação da amostra	E90-2	E90-3	E0-2	E0-3	F90-2	F90-3	F0-2	F0-3
Carga de Ruptura (kN)	9,39	9,25	9,77	8,59	8,20	9,12	9,68	10,13

Fonte: do autor

#### 4.2.2 Análise comparativa entre resultados dos ensaios e valores calculados de acordo com a NBR7190

As cargas de ruptura dos corpos de prova calculados na norma e obtidos nos ensaios realizados no laboratório UFRGS podem ser verificadas na tabela 8.

Tabela 8- Comparação das resistências calculadas pela NBR 7190 e verificadas no ensaio a compressão

	E90	E0	F90	F0
Carga de ruptura (kN) calculada conforme NBR 7190	6,10	9,76	3,32	4,19
Carga de ruptura (kN) média ensaios	9,32	9,18	8,66	9,90
Diferença entre Resistência Real e Resistência Calculada (kN)	3,22	-0,58	5,34	5,71
Relação entre a Resistência Real e Resistência Calculada	1,52	0,94	2,60	2,36

Fonte: do autor

Em relação ao grupo E90 verificou-se que o ensaio atingiu o valor da norma em decorrência das peças laterais de madeira terem seu embutimento atingido em uma carga superior ao que a norma assegura, isto confirma que os procedimentos para este tipo de ligação são seguros.

Sobre os corpos de prova E0, observou-se que o ensaio não atingiu o valor previsto, embora tenha atingido 94% do valor calculado. Esta observação não conclui que a norma não está segura quanto a esse tipo de ligação, mas sim, que durante a execução dos ensaios possa ter ocorrido algum deslize por falta de prática dos realizadores do ensaio, como por exemplo mau uso da prensa SHIMADZU para realizar os patamares de carregamento. Assim como há a possibilidade de haver defeitos internos nas peças de madeira solicitadas, defeitos não visíveis pela análise visual após a ruptura dos corpos de prova.

Em relação F90 verificou-se que o ensaio ultrapassou 5,34kN o valor da norma, isto confirma que os procedimentos para este tipo de ligação são eficazes, desde que seja respeitado os espaçamentos entre os dois planos de penetração dos pinos, tomando cuidado para que não haja contato entre as laterais deles.

Sobre o grupo F0 verificou-se que o ensaio superou o valor da norma em decorrência dos pinos terem flexionado em uma carga superior ao que a norma delimita. A carga de ruptura real do grupo F0 é 2,36 maior do que o esperado

Diante dos resultados deste capítulo, verificou-se que os valores de carga de ruptura calculados com base nos procedimentos de ligação mecânica de madeira com pinos metálicos baseado na NBR7190/1997 está em conformidade com os valores obtidos nos ensaios de ruptura dos corpos de prova realizados em laboratório. Demonstrando dessa forma que os parâmetros estabelecidos na norma correspondem na prática aos limites de segurança para ruptura das ligações, desde que seja obedecido todos os parâmetros da norma, como por exemplo o espaçamento limite entre eixo dos pinos, e a pré furação recomendada.

Com exceção dos ensaios do grupo E0, onde admite-se um possível erro de execução na cravação dos pregos, ou ainda, defeitos internos não visíveis a olho nu, todos os outros ensaios obtiveram uma carga de ruptura real superior ao estabelecido pela NBR supracitada.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A questão de pesquisa buscou investigar a segurança dos parâmetros da NBR 7190(ABNT, 1997) que trata das ligações mecânicas de madeira com pinos metálicos, para isto, o objetivo principal foi verificar a conformidade entre o procedimento de ligação calculados de acordo com a norma técnica e os parâmetros de carga de ruptura obtidos em ensaios de ruptura de corpo de prova.

Verificou-se que a norma está em conformidade com os valores de ruptura obtidos nos ensaios de corpo de prova, pois quase todos os ensaios dos corpos de prova confeccionados conforme a norma, obtiveram valores de carga de ruptura superiores aos mínimos de segurança estabelecidos na norma.

Assim, de acordo com os resultados constantes no capítulo 4, especificamente no subtítulo 4.3.2, onde foi realizada uma análise comparativa entre os resultados de carga de ruptura dos ensaios e os valores calculados de acordo com a NBR 7190 (ABNT,1997), é possível afirmar que existe uma conformidade entre os valores obtidos e os calculados, demonstrando dessa forma que a norma técnica está refletindo com a realidade. Pode-se afirmar também que os procedimentos de ligação mecânica de madeira por pinos metálicos do tipo prego descritos na NBR 7190 (ABNT,1997) garantem a segurança de estruturas utilizando este procedimento.

### **5.1 ESTUDOS FUTUROS**

Para estudos futuros, sugere-se que seja realizado o estudo da resistência de ligações mecânicas com pinos do tipo parafuso, de preferência com o uso de uma prensa elétrica, visto que a prensa elétrica é capaz de obedecer fielmente aos patamares de carga e descarga conforme a norma.

Sugere-se também a realização da caracterização previa da madeira, a fim de obter com exatidão as resistências da madeira para aquele lote específico, visto que a origem de extração da madeira interfere na sua resistência final.

Outra sugestão é pensar numa forma de desunir as peças de madeira após a realização dos ensaios, visto que retirar as madeiras laterais sem danificar os pregos ou a própria madeira foi uma tarefa difícil.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Projeto de Estruturas de Madeira - NBR 7190:1997. ABNT, Rio de Janeiro, 1997.

BALEN, Elisa; PANSERA, Rafael Douglas; LEMOS, R. WOOD FRAME–BUSCA POR SUSTENTABILIDADE. 2016, 2016.

CALIL JUNIOR, Carlito; LAHR, Francisco Antonio Rocco; DIAS, Antonio Alves. **Dimensionamento de elementos estruturais de madeira**. 2003.

CARVALHO, M. B. M. **Impactos e Conflitos da Produção de cimento no Distrito Federal**. Brasília, 2008. 162 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michele. **Estruturas de madeira**. Rio de Janeiro: Livros, 1985.

GERDAU. Catálogo Pregos Gerdau. Disponível em: <<https://www.gerdau.com/br/pt/productsservices/products/Document%20Gallery/catalogo-pregos-gerdau.pdf>>. Acesso em: 31 de maio de 2019.

MOLINA, J.C.; CALIL Jr., C. Sistema construtivo em “wood frame” para casas de madeira. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 31, n.2,p. 143, 2010.

FAO. **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS**. Yearbook of Forest Products 2002. No. 179. Rome, Italy. 2004. 340p.

GERALDO, F.C. Aspectos tecnológicos e econômicos da preservação de madeiras In: II congresso Ibero-Americano de Pesquisa e Desenvolvimento de Produtos Florestais, 2002. Curitiba. **Anais...Curitiba: 2002**

GONÇALVES, Fabricio Gomes et al. Durabilidade natural de espécies florestais madeireiras ao ataque de cupim de madeira seca. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 1, p. 110-116, 2013.

OLIVEIRA, Marcos Antonio Melo. **Ligações com pinos metálicos em estruturas de madeira**. 2001. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BARROS JR, O.; HELLMEISTER, J.C. (1989). Industrialização de estruturas de madeira para coberturas. In : ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3, São Carlos, 1989. **Anais**. São Carlos, EESCUSP/IBRAMEN. v.4.

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