



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

MURILO AUGUSTO VERÍSSIMO LEITE

**ANÁLISE DO MÉTODO PROPOSTO PELA  
ABNT NBR 7190:1997 PARA DETERMINAÇÃO  
DO VALOR CARACTERÍSTICO DE  
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NORMAL ÀS  
FIBRAS PARA MADEIRAS DE  
REFLORESTAMENTO DA REGIÃO DE  
ITAPEVA**

Itapeva - SP

2018



MURILO AUGUSTO VERÍSSIMO LEITE

**ANÁLISE DO MÉTODO PROPOSTO PELA ABNT NBR  
7190:1997 PARA DETERMINAÇÃO DO VALOR  
CARACTERÍSTICO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO  
NORMAL ÀS FIBRAS PARA MADEIRAS DE  
REFLORESTAMENTO DA REGIÃO DE ITAPEVA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus Experimental de Itapeva, como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira

Orientador: Prof. Dr Julio Cesar Molina

Itapeva - SP

2018

L533a	<p>Leite, Murilo Augusto Veríssimo</p> <p>Análise do método proposto pela ABNT NBR 7190:1997 para determinação do valor característico de resistência à tração normal às fibras para madeiras de reflorestamento da região de Itapeva / Murilo Augusto Veríssimo Leite. -- Itapeva, 2018</p> <p>58 f. : il., tabs.</p> <p>Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Câmpus Experimental de Itapeva, Itapeva</p> <p>Orientador: Julio Cesar Molina</p> <p>1. Madeira-Teste. 2. Resistência à tração. 3. Eucalipto. 4. Pinus elliottii. I.</p> <p>Título.</p>
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Câmpus Experimental de Itapeva. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**MURILO AUGUSTO VERÍSSIMO LEITE**

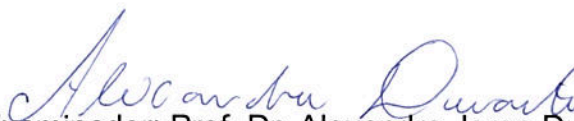
**ANÁLISE DO MÉTODO PROPOSTO PELA ABNT NBR 7190:1997  
PARA DETERMINAÇÃO DO VALOR CARACTERÍSTICO DE  
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NORMAL ÀS FIBRAS**

Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Industrial Madeireira, da Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.

**BANCA EXAMINADORA**



Orientador: Prof. Dr. Julio Cesar Molina  
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.



2º Examinador: Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza  
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.



3º Examinador: Prof. Dr. Renato Baldan  
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.

Itapeva, 26 de novembro de 2018.



*Este trabalho é dedicado à minha família e aos meus amigos*



# Agradecimentos

Primeiramente queria começar agradecendo a ninguém, sim , a ninguém que não contribuiu para essa aventura, que duvidou e contestou da minha capacidade e da minha determinação. Para quem acreditou em minha desistência e eminente fracasso durante essa aventura, infelizmente lhes escrevo que realmente dificuldades não faltaram, motivos para desistir e fracassar também, mas sou uma pessoa que não sabe perder e principalmente desistir, quando começo algo, me comprometo a finalizá-lo. Lhes deixou um conselho que aprendi durante esses 5 anos, que não precisa ser fácil, precisa ser POSSÍVEL.

Bom agora sim posso começar a agradecer, primeiramente queria agradecer a Deus pela vida e oportunidade, pelas dificuldades, pelas lágrimas, pelos sorrisos, aprendizagem e amizades proporcionadas durante esse período.

A minha família meu pai José Valdinei Leite , minha mãe Edvana Cecilia Veríssimo Ramos e meu irmão Jeferson Henrique Veríssimo Leite, por sempre estarem ao meu lado, me apoiando e acreditando em mim, nas melhores e piores situações possíveis.

Aos meus amigos (as) que fiz durante esse 5 anos, não pretendo citar nenhum deles (as), por precaução, não quero esquecer de ninguém, seria algo muito injusto. Agradeço pelas brincadeiras, pelas risadas e pelas lágrimas, além do aprendizado. Agradeço principalmente por me aguentarem, sei que sou em raras situações insuportável, chato e sistemático, mesmo assim sempre estiveram ao meu lado, com muita paciência ou quase nenhuma, sempre me apoiando ou brigando de forma "injusta" com minha pessoa.

Aos meus eternos professores por compreenderem a minha situação, de serem pacientes aos meus inúmeros atrasos, tanto em dias normais de aula, em prova e em apresentações. Obrigado pelo aprendizado dentro e fora da sala de aula, vocês sempre vão ter minha admiração e respeito.

A minha banca por aceitarem avaliar esse inútil que lhes escreve, obrigado ao professor Julio pela amizade, pela orientação, pela enorme paciência. Agradeço ao professor Alexandre pela amizade e pelos ensinamento e correções durante esse período, sempre tentando me incentivar para busca cada vez mais conhecimento e nunca desanimar dos inúmeros problemas que surgiram. Por fim agradeço ao último membro da minha banca ao professor Renato pela amizade, pelos conselhos, conversas e principalmente por aquele conselho, que para mim foi a coisa mais importante que aprendi durante esses 5 anos e realmente o "Bom é inimigo do ótimo".



*“O bom é inimigo do ótimo.”*

John Mason



# Resumo

A aplicação do valor característico no setor civil, vem proporcionando resultados promissores em relação aos conceitos de segurança nos projetos, principalmente no dimensionamento. O valor característico é obtido por meio do método probabilístico e pelo método do estimador centrado, descrito na norma de madeira ABNT NBR 7190 (1997). A condição para a utilização desses métodos consiste na suposição do conjunto de amostras com uma distribuição normal de probabilidade. Este trabalho teve como objetivo analisar a normalidade dos dados nos resultados obtidos a partir de ensaio mecânicos de tração normal às fibras, como também verificar o tamanho de amostra mínimo para atender os requisitos de normalidade, além da comparação do valor característico pelo método probabilístico e estimador centrado e do coeficiente de excentricidade da equação do estimador centrado. Para a realização desse trabalho foram utilizadas madeiras de reflorestamento na região de Itapeva-SP, (*Eucalipto Grandis* e *Pinus Elliottii*). Foram confeccionados corpos de prova de tração normal às fibras e realizado os ensaios mecânicos conforme as recomendações. Tendo os valores de resistência, foi realizada uma simulação pelo método Bootstrap com auxílio do software R, para verificação da normalidade dos dados, com o teste de Shapiro Wilk. Para o eucalipto a partir de 30 amostras se obteve uma distribuição normal de probabilidade e para o pinus 42 amostras. O coeficiente de excentricidade que mais se ajustou para a espécie de eucalipto foi 1,00 e para a espécie de pinus 1,10.

**Palavras-chave:** Madeira-Testes; Resistência à tração; Eucalipto; Pinus elliottii.



# Abstract

The application of the characteristic value in the civil sector has been providing promising results in relation to safety concepts in projects, especially in the sizing. The characteristic value is obtained through the probabilistic method and by the centered estimator method, described in ABNT NBR 7190 (1997). The condition for using these methods is to assume of samples with a normal probability distribution. This work had analyze the normality of the data in the results obtained from mechanical tests of normal traction to the fibers, as well as to verify the size of sample to meet the requirements of normality, in addition to comparing the characteristic value by the probabilistic method and centered estimator and the coefficient of eccentricity of the centered estimator equation. To carry out this work reforested wood was used in the region of Itapeva-SP (*Eucalyptus Grandis* and *Pinus E lliottii*). Test specimens of normal traction were made to the fibers mechanical tests as recommended. resistance, a simulation was performed by the Bootstrap method with the aid of the software R, to verify the normality of the data, with the Shapiro Wilk test. To eucalyptus from 30 samples, a normal probability distribution was obtained and for the pinus 42 samples. The coefficient of eccentricity that best fit for the species of eucalyptus was 1,00 and for pine species 1,10

**Keywords:** Wood-testing; Tension resistance; Eucalyptus; Pinus elliottii.



# Lista de ilustrações

Figura 1 – Distribuição normal . . . . .	27
Figura 2 – Lote de madeira . . . . .	35
Figura 3 – Viga de eucalipto seccionada . . . . .	36
Figura 4 – Corpo de prova de tração normal às fibras . . . . .	36
Figura 5 – Corpos de prova confeccionados . . . . .	37
Figura 6 – Corpo de prova para a determinação da umidade da madeira . . . . .	37
Figura 7 – Amostra extraída para determinação do teor de umidade . . . . .	38
Figura 8 – Ensaio de tração normal às fibras . . . . .	39
Figura 9 – Corpo de prova rompido . . . . .	39



# Lista de tabelas

Tabela 1 – Valores do coeficiente de modificação $k_{mod_1}$ . . . . .	28
Tabela 2 – Valores do coeficiente de modificação $k_{mod_2}$ . . . . .	29
Tabela 3 – Valores do coeficiente de modificação $k_{mod_3}$ . . . . .	29
Tabela 4 – Valores do coeficiente de minoração $\gamma_w$ . . . . .	29
Tabela 5 – Classes de resistência das dicotiledôneas (folhosas) na condição padrão de referência a 12% de umidade. . . . .	30
Tabela 6 – Classes de resistência das coníferas na condição padrão de referência a 12% de umidade. . . . .	30
Tabela 7 – Valores de resistência à tração normal às fibras dos corpos de prova de eucalipto. . . . .	43
Tabela 8 – Valores de resistência à tração normal às fibras dos corpos de prova de pinus. . . . .	43
Tabela 9 – Massa dos corpos prova para determinação do teor de umidade da espécie de eucalipto. . . . .	44
Tabela 10 – Análise estatística dos corpos de teor de umidade das espécies de eucalipto e pinus. . . . .	44
Tabela 11 – Valores de resistência à tração normal às fibras dos corpos de prova de eucalipto corrigidos para o teor de umidade de 12%. . . . .	45
Tabela 12 – Valores de resistência à tração normal às fibras dos corpos de prova de pinus corrigidos para o teor de umidade de 12%. . . . .	45
Tabela 13 – Valores de resistência à tração normal às fibras dos corpos de prova de eucalipto ordenados (U=12%). . . . .	46
Tabela 14 – Valores de resistência à tração normal às fibras dos corpos de prova de pinus ordenados (U=12%). . . . .	46
Tabela 15 – Análise estatística das amostras de eucalipto. . . . .	47
Tabela 16 – Análise estatística das amostras de pinus. . . . .	47
Tabela 17 – Comparação dos estimadores para as amostras de eucalipto e pinus. . . . .	48
Tabela 18 – Comparação dos estimadores para as amostras de eucalipto. . . . .	49
Tabela 19 – Comparação dos estimadores para as amostras de pinus. . . . .	49
Tabela 20 – Análise da normalidade das amostras de eucalipto e pinus pelo método Bootstrap. . . . .	50
Tabela 21 – Análise dos valores característicos pelo método probabilístico e pelo método do estimador centrado das amostras de eucalipto pelo método Bootstrap. . . . .	51

Tabela 22 – Análise dos valores característicos pelo método probabilístico e pelo método do estimador centrado das amostras de pinus pelo método Bootstrap. . . . .	51
---	----

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>23</b>
2.1	Objetivo geral	23
2.2	Objetivos específicos	23
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>25</b>
3.1	Inferência estatística	25
3.2	Estimadores	25
3.2.1	Método Bootstrap	26
3.3	Valor característico da madeira	27
3.3.1	Definição do valor característico	27
3.3.2	Aplicação do valor característico da madeira	27
3.4	Métodos para determinação do valor característico	30
3.4.1	Método probabilístico	30
3.4.2	Método do estimador centrado	31
3.4.3	Método dos percentis para dados agrupados	33
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>35</b>
4.1	Materiais	35
4.2	Métodos	35
4.2.1	Confecção dos corpos de prova	35
4.2.2	Teor de umidade dos corpos de prova	37
4.2.3	Ensaio de tração normal às fibras	39
4.2.4	Análise estatística	40
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>43</b>
5.1	Valores de resistência obtidos no ensaio mecânico	43
5.2	Análise estatística	46
5.2.1	Comparação do valor característico pelo método probabilístico e pelo método do estimador centrado	48
5.2.2	Análise do coeficiente de excentricidade pelo método do estimador centrado	48
5.2.3	Análise da normalidade dos dados pelo método Bootstrap	50
5.2.4	Comparação do valor característico pelo método Bootstrap	50

<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>53</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>55</b>

# 1 Introdução

Desde dos início dos tempos até os dias atuais, a humanidade vem se aproveitando dos benefícios da madeira em diversos setores da sociedade, tanto no setor de papel e celulose, no setor moveleiro, no setor de instrumentos musicais e no setor da construção civil.

Nesse último setor a madeira vem sendo destaque, por simplesmente ser uma alternativa para os tradicionais materiais da construção civil (concreto e aço), principalmente por ser uma material sustentável e apresentar propriedades físicas-mecânicas satisfatórias para sua aplicação, como boa resistência mecânica à compressão e à tração (STAMATO, 2002) .

No setor da construção civil a madeira consiste como elemento estrutural, que se pode ser aplica em coberturas, pontes, residências e galpões (SANTOS, 2016). Essas estruturas são comum em diversos países que adotaram a madeira como alternativa no setor civil, mas no Brasil ainda a utilização da madeira no setor civil é pouco difundida, principalmente por falta de informações e incentivos (STAMATO, 2002) .

Para a utilização da madeira como elemento estrutural existe condições a serem atendidas, como desempenho e segurança estrutural, na qual a estrutura deve apresentar uma resistência que possa suportar as diversas solicitações previstas no dimensionamento durante toda sua vida útil (ESPINOSA et al., 2013).

Uma maneira se analisar essa condição, consiste em verificar o valor característico da madeira, que vem proporcionando resultados promissores em relação aos conceitos de segurança nos projetos, principalmente no dimensionamento.

Este valor é obtido a partir de dados experimentais, determinado por meio de expressões fornecidas pela norma brasileira de madeiras ABNT NBR 7190 (1997), fazendo-se uso de métodos probabilísticos.

Alguns autores contestam esses métodos proposto pela norma na determinação do valor característico. Segundo Espinosa e Junior (2014), o método proposto pela ABNT NBR 7190 (1997) fornece valores relativamente baixos inclusive menores que o mínimo valor do conjunto de dados, e isso se deve a consideração de uma distribuição simétrica de probabilidade para os dados.

Este trabalho teve por objetivo realizar um estudo comparativo a partir dos métodos utilizados para determinação do valor característico proposto pela norma ABNT NBR 7190 (1997).



## 2 Objetivos

### 2.1 Objetivo geral

Estudo do presente trabalho o comparativo do método proposto pela norma ABNT NBR 7190 (1997) para determinação do valor característico de resistência à tração normal às fibras da madeira considerando diferentes coeficientes para a equação do estimador centrado. Comparação dos resultados de resistência obtidos pelos estimadores da equação estimador centrado com a equação do método probabilístico ajustada.

### 2.2 Objetivos específicos

- Obtenção dos valores experimentais de resistência à tração normal às fibras, a partir de um lote de madeira de *Eucalipto Grandis* e *Pinus Elliottii* da região de Itapeva-SP;
- Verificação da normalidade e da simetria dos dados de resistência obtidos a partir de software de análise estatística R;
- Avaliação da influência do tamanho das amostras na normalidade dos dados;
- Avaliação da equação do estimador centrado com diferentes coeficientes variando entre 0,95; 1,0, 1,05 e 1,10 para determinação do valor característico de resistência a tração normal considerando os dados originais (não normais se for o caso);
- Comparação dos resultados obtidos entre as equações do método probabilístico e estimador centrado.



## 3 Revisão de Literatura

### 3.1 Inferência estatística

Quando é necessária a avaliação de um determinado grupo de indivíduos, que por seu número de repetições inviabiliza ou impossibilita esse procedimento, recorre-se a um método que analisa esse determinado grupo a partir de uma parcela extraída, para a obtenção de todas as informações necessárias.

Esse método é chamado de inferência estatística, na qual obtém-se todas as informações necessárias a partir de uma determinada parcela (amostra) do grupo (população) em análise Morettin e Bussab (2004).

Para Morettin e Bussab (2004, p.258) a inferência estatística tem como objetivo "produzir afirmação sobre dada característica da população de interesse a partir de informações colhidas de uma parte da população". Normalmente essas informações são parâmetros obtidos e analisados para determinada população.

Para Magalhães e Lima (2010, p.224) "As quantidades da população, em geral desconhecidas, sobre as quais temos interesse, são denominadas parâmetros e, usualmente, representadas por letras gregas tais como  $\theta$ ,  $\mu$  e  $\sigma$ , entre outras".

Esses parâmetros exercem funções de descrever características da população a partir das amostras obtidas, média aritmética, variância, proporção, desvio padrão e mediana. Normalmente são utilizados em casos em que não se conhece a distribuição de probabilidade da população. A partir das amostras, estima-se os parâmetros da população que auxiliam na análise do comportamento da distribuição de probabilidade (MAGALHÃES; LIMA, 2010).

### 3.2 Estimadores

Quando se utiliza o estimador, deseja-se obter um valor representativo e aproximado para determinado parâmetro populacional, facilitando a análise do comportamento da população, a partir das amostras extraídas.

De acordo com Magalhães e Lima (2010, p.224) "À combinação dos elementos da amostra, construída com a finalidade de representar, ou estimar, um parâmetro de interesse na população, denominamos estimador".

Quando se estima um parâmetro populacional e se obtém um único valor representativo, o mesmo é considerado uma estimativa pontual, ou seja, um valor que

seja representativo do valor real.

A utilização do estimador pontual fornece apenas um único valor a estimativa, no qual se espera que esteja próximo do valor verdadeiro do parâmetro, mas o método do estimador pontual não fornecendo qualquer precisão ou nível de confiabilidade em seu valor, não permitindo analisar o erro contido nesse valor (GOUVÊA, 2006).

Uma maneira para ter um maior nível de confiança no valor do parâmetro consiste em realizar uma estimativa por intervalo de confiança, no qual se estabelece intervalos de valores, na qual se pressupõem que o verdadeiro valor esteja contido nesse intervalo estabelecido.

### 3.2.1 Método Bootstrap

O método Bootstrap é um método computacional criado por Bradley Efron em 1979 para auxiliar na análise dos dados em situações onde os métodos mais convencionais de análise estatísticos não são aplicados pois não são capazes de auxiliar na análise e interpretação dos dados (GOUVÊA, 2006).

O método Bootstrap é considerado uma excelente alternativa para análise e interpretação de dados, em aplicações estatísticas consistente na aplicação na inferência estatística, principalmente em relação à amostragem realizada de uma determinada população (OLIVEIRA, 2007).

Considerando a análise de uma amostra extraída de forma aleatória de uma população cuja distribuição de probabilidade é desconhecida, deseja-se analisar determinado parâmetro a partir da amostra. Obtém-se uma estimativa, ou seja, um valor para o parâmetro analisado, mas essa estimativa é seguida de um erro, que pode gerar contestação no valor adquirido (NUNES; SEBASTIÃO, 2003).

Considerando esse erro, o método Bootstrap consiste basicamente em realizar diversas vezes reamostragem da amostra original, do mesmo tamanho para gerar um novo conjunto de dados, construindo uma distribuição de probabilidade empírica, na qual se pode analisar os dados e averiguar os parâmetros necessários (OLIVEIRA, 2007).

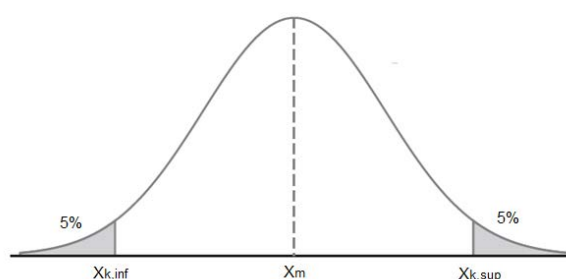
Existem duas maneiras simples de se aplicar o método Bootstrap para analisar os dados, sendo os mesmos paramétricos, onde normalmente se possui informações sobre a sua distribuição, na qual realiza a reamostragem a partir da distribuição dos dados originais. Se os dados não forem paramétricos na qual não se possui nenhuma informação sobre a distribuição e se realiza a reamostragem com reposição dos dados (GOUVÊA, 2006).

## 3.3 Valor característico da madeira

### 3.3.1 Definição do valor característico

A definição do valor característico é baseado em uma análise de uma distribuição normal, conforme a Figura 1, relacionando valores médios ( $X_m$ ), valor característico superior ( $X_{k,sup}$ ) e valor característico inferior ( $X_{k,inf}$ ). Conforme a norma ABNT NBR 7190 (1997) o valor característico inferior ( $X_{k,inf}$ ) corresponde à probabilidade 5% do valor não ser atingido e o valor característico superior ( $X_{k,sup}$ ) corresponde à probabilidade 5% do valor ser superado em um determinado lote.

Figura 1 – Distribuição normal



Fonte: Autor

O valor característico inferior é considerado o valor característico pela norma ABNT NBR 7190 (1997). O valor característico é valor que possuem apenas 5% de probabilidade de não ser atingido em um determinado lote.

De acordo Cheung, Martinez e Junior (2013) "O valor característico é um valor que corresponde ao percentil de 5% da distribuição de probabilidade que melhor se ajustar aos valores obtidos nos ensaios realizados sobre condições específicas".

### 3.3.2 Aplicação do valor característico da madeira

A atual norma brasileira em vigência para projetos de estruturas de madeira ABNT NBR 7190 (1997), especifica para qualquer projeto estrutural, um dimensionamento dos elementos compostos, a fim de assegurar maior segurança no projeto. Esse dimensionamento é realizado com base ao método de estado limite, que são condições nas quais se ultrapassadas podem comprometer a estrutura.

O dimensionamento é realizado em virtude das propriedades físicos-mecânicas da espécie de madeira, principalmente em relação as propriedades mecânicas, no qual se necessita conhecer os valores de resistência e rigidez em determinadas condições. Normalmente esses dados são conhecidos por estarem catalogados na norma ABNT

NBR 7190 (1997) no anexo E, apresentando valores médios de resistência e rigidez de algumas espécies nativas e reflorestadas.

A partir de ensaios experimentais esses valores também são obtidos, tanto para as espécies de madeira catalogadas quanto para aquelas que são poucos conhecidas.

Essa necessidade de se conhecer os valores de resistência e rigidez de determinadas espécies de madeira, para o dimensionamento do projeto, é indispensável em virtude das verificações de seguranças exigidas pela norma, que relacionam com o valor de cálculo (equação 3.1)

$$f_{wd} = k_{mod} * \frac{f_{wk}}{\gamma_w} \quad (3.1)$$

Onde:

$f_{wd}$  é o valor de cálculo;

$k_{mod}$  é o coeficiente de modificação;

$\gamma_w$  é o coeficiente de minoração;

$f_{wk}$  é valor característico.

O coeficiente de modificação é obtido a partir do produto de outros 3 coeficientes de modificação (equação 3.2), que são tabelados pela norma, conforme as condições do projeto.

$$k_{mod} = k_{mod_1} * k_{mod_2} * k_{mod_3} \quad (3.2)$$

O coeficiente de modificação  $k_{mod_1}$  está relacionado com o tipo de madeira e a classe de carregamento, descrito na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores do coeficiente de modificação  $k_{mod_1}$ .

Classes de carregamento	Tipos de madeira	
	Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada	Madeira recomposta
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:ABNT NBR 7190 (1997)

O coeficiente de modificação  $k_{mod_2}$  está relacionado com as classes de umidade e o tipo de material utilizado no projeto, descrito na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores do coeficiente de modificação  $k_{mod2}$ .

Classes de umidade	Madeira serrada	Madeira recomposta
	Madeira laminada colada Madeira compensada	
(1) e (2)	1,0	1,0
(3) e (4)	0,8	0,9

Fonte:ABNT NBR 7190 (1997)

O coeficiente de modificação  $k_{mod3}$  está relacionado com a classificação da madeira de primeira ou de segunda categoria, conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores do coeficiente de modificação  $k_{mod3}$ .

Classificação da madeira	$k_{mod3}$
1º categoria	1,0
2º categoria	0,8

Fonte:ABNT NBR 7190 (1997)

Para cada tipo de solicitação presente no projeto, a norma ABNT NBR 7190 (1997), apresenta diferentes coeficientes de minoração.

Tanto para compressão paralelas às fibras, tração paralelas às fibras e para cisalhamento paralelo às fibras, descrito na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores do coeficiente de minoração  $\gamma_w$ .

Solicitação	Coeficiente de minoração
Compressão paralela às fibras	1,4
Tração paralela às fibras	1,8
Cisalhamento paralela às fibras	1,8

Fonte:ABNT NBR 7190 (1997)

O valor característico é apresentado pela norma para diferentes classes de carregamento, tanto para dicotiledôneas (Tabela 5) como também para coníferas (Tabela 6).

Além das classes de carregamento a norma apresenta em conjunto valores de resistência de compressão paralelas às fibras, cisalhamento paralelo às fibras, módulo de elasticidade e densidade básica e aparente para cada classe de carregamento das respectivas espécies. Na qual podem ser consultados e estabelecidos no dimensionamento conforme a espécie e a classe de carregamento.

A determinação do valor característico também pode ser obtido a partir de ensaios experimentais, utilizando métodos fornecidos pela norma ABNT NBR 7190 (1997) que estabelece para cada método critérios mínimos para a determinação do valor característico.

Tabela 5 – Classes de resistência das dicotiledôneas (folhosas) na condição padrão de referência a 12% de umidade.

Dicotiledôneas					
Classes	$f_{c0k}$ (MPa)	$f_{vk}$ (MPa)	$E_{c0m}$ (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_{aparente,m}$ (Kg/m <sup>3</sup> )
C20	20	4	9500	500	650
C30	30	5	14500	650	800
C40	40	6	19500	750	950
C60	60	8	24500	800	1000

Fonte:ABNT NBR 7190 (1997)

Tabela 6 – Classes de resistência das coníferas na condição padrão de referência a 12% de umidade.

Coníferas					
Classes	$f_{c0k}$ (MPa)	$f_{vk}$ (MPa)	$E_{c0m}$ (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_{aparente,m}$ (Kg/m <sup>3</sup> )
C20	20	4	3500	400	500
C25	30	5	8500	450	550
C30	40	6	14500	500	600

Fonte:ABNT NBR 7190 (1997)

Onde:

 $f_{c0k}$ : Valor de resistência característica à compressão paralelas às fibras; $f_{vk}$ : Valor de resistência característica à cisalhamento paralelo às fibras; $E_{c0m}$ : Valor médio do modulo de elasticidade médio à compressão paralela; $\rho_{bas,m}$ : Valor médio de densidade básica; $\rho_{aparente,m}$ : Valor médio de densidade aparente.

### 3.4 Métodos para determinação do valor característico

#### 3.4.1 Método probabilístico

Para a obtenção do valor característico a norma ABNT NBR 7190 (1997) apresenta uma equação geral (equação 3.3), supondo que os dados obtidos apresentem um perfil de uma distribuição normal de probabilidade, para um lote que apresente um valor superior a 30 amostras para a realização do procedimento .

$$f_{wk} = \bar{Y} - 1,64 * s \quad (3.3)$$

Onde:

 $f_{wk}$  é o valor característico de resistência;

$\bar{Y}$  é o valor médio da resistência;

$s$  é o desvio padrão.

Segundo Espinosa e Junior (2014), esse método é recomendado quando se pressupõe a normalidade das amostra ensaiadas, sendo que elimina-se a possibilidade de agrupamento dos valores em classes. Segundo os mesmos autores, é necessário realizar uma transformação dos dados ensaiados, quando essa condição de normalidade não é admitida.

Em suas pesquisas Pinto, Espinosa e Junior (2013), analisaram o valor característico da resistência a compressão paralela às fibras, comparando o método sugerido pela norma ABNT NBR 7190 (1997) e o método de percentis para dados agrupados. No trabalho desenvolvido pelos autores foram utilizados 100 corpos de prova da espécie de *Eucalipto Grandis* com as dimensões 5x5x15 cm para a realização dos ensaios.

A partir dos dados obtidos aplicaram a equação 3.3, para a obtenção do valor característico para o lote ensaiado. O valor característico obtido foi de 23,3 MPa, contestado após o levantamento do gráfico de histograma dos dados obtidos.

A partir da interpretação da distribuição de frequência, verificou uma distribuição com perfil assimétrico, contrariando as recomendações da norma referente a equação 3.3, que afirma que os dados apresentam perfil de distribuição normal de probabilidade.

Essa contestação do valor característico obtido a partir da equação 3.3, também foi abordado nas pesquisas de Espinosa e Junior (2014), onde foram utilizados 100 corpos de prova da espécie *Eucalipto Grandis*, para a realização do ensaio da resistência à compressão paralela às fibras ( $f_{c0}$ ).

Aplicando a equação 3.3, foi obtido um valor de 23,05 MPa, valor esse duvidoso, devido ao fato de ser um valor inferior ao menor valor do conjunto de valores ensaiados (24,8 MPa) e devido ao fato dos dados analisados não seguirem um perfil de uma distribuição normal de probabilidade.

### 3.4.2 Método do estimador centrado

O método do estimador centrado ou estimador estatístico é recomendado pela norma ABNT NBR 7190 (1997), para a obtenção do valor característico, considerando que os valores das resistências apresentem um perfil de uma distribuição normal de probabilidade. Normalmente esse método é utilizado em ensaio com amostra com  $n \geq 12$ , para espécies catalogada e para aquelas poucas conhecidas.

Para evitar um questionamento em relação ao valor característico obtido, deve-se verificar, por antecedência se os dados obtidos apresentam um perfil de uma distribuição normal de probabilidade, para utilização correta desse método (CHEUNG;

MARTINEZ; JUNIOR, 2013).

Para a obtenção do valor característico da madeira a partir da equação 3.4, os valores obtidos no ensaio devem ser organizados em ordem crescente, descartando o maior valor obtido em lotes que apresentem valor ímpar de amostras. O valor característico  $f_{wk}$  não é aceito, quando o seu valor é inferior ao  $f_{w1}$  e nem 0,7 do valor médio  $f_{wm}$  do conjunto de amostras.

$$f_{wk} = \left( 2 * \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2} - 1} - f_{\frac{n}{2}} \right) * 1.1 \quad (3.4)$$

Onde:

$f_{wk}$  é o valor característico de resistência;

$f_i$  valores de resistência a tração normal das amostras;

$n$  é o número de amostras.

De acordo com a ABNT NBR 7190 (1997):

"A função de estimação definida pela expressão entre parênteses fornece estimativas centradas, isto é, estimativas cuja média coincide com a resistência característica efetiva do lote examinado. Para evitar que 50% das estimativas sejam feitas por valores abaixo da verdadeira resistência característica, torna-se o estimador razoavelmente excêntrico, multiplicando-se por 1,1 a expressão anterior "(ABNT NBR 7190, 1997, p.98).

Esse coeficiente de excentricidade (1,1) é um coeficiente utilizado na equação 3.4 para realizar uma correção dos dados assimétricos.

Espinosa e Junior (2014) constataram um erro de 12% no valor característico utilizando a equação 3.4. Os mesmos autores compararam o método do estimador centrado com o método dos percentis para dados agrupados, para verificar esse erro na equação quando aplicada em condições em que o conjunto de amostras ensaiadas não apresentam a suposição de normalidade.

De acordo com Pinheiro (2011), o coeficiente que corrigir a excentricidade deveria ser 0,95, ao invés de 1,1 recomendado pela norma ABNT NBR 7190 (1997) na equação 3.4.

Logsdon, Jesus e Penna (2010) também contestam esse coeficiente de excentricidade, afirmando que a partir dos resultados obtidos em suas pesquisas que esse coeficiente deveria ser 1,0.

Percebe-se que na literatura que este é um valor contestado e muito questionado, por parte dos pesquisadores. Essa contestação prejudica a veracidade do valor

característico, conseqüentemente para o valor de cálculo para os demais cálculos de dimensionamento.

### 3.4.3 Método dos percentis para dados agrupados

De acordo com Espinosa e Junior (2014), para a obtenção do valor característico através do método dos percentis é necessário utilizar a equação 3.5 sendo necessário realizar um agrupamento dos valores em classes, para analisar a distribuição de frequência, com um lotes de amostras grande ( $n > 30$ ).

$$P_p = LIR_p + \frac{(n * p - F_{i-1})}{f_i} * W \quad (3.5)$$

Onde:

$P_p$  é o limite inferior da classe de percentil;

$n$  é o número de amostras;

$LIR_p$  é o limite inferior do percentil;

$f_i$  é a frequência observada;

$F_{i-1}$  é a frequência acumulada;

$W$  é a amplitude de classe;

$p$  é a percentagem pretendida.

De acordo com Pinto, Espinosa e Junior (2013), a equação 3.5 apresentou maior eficiência na determinação do valor característico, tratando-se de uma distribuição com perfis assimétricos. Essa situação é muito comum quando se trata de análise de dados experimentais referente a ensaios em madeira.

Os mesmos autores realizaram seus ensaios referente à resistência a compressão paralelas às fibras e os valores obtidos aplicaram para fins de comparação às equações 3.4 e 3.5, a fim de averiguar distinção entre valores nas respectivas equações.



## 4 Materiais e Métodos

### 4.1 Materiais

Para a realização desse trabalho foram utilizados os equipamentos e materiais:

- Balança analítica;
- Estufa de secagem;
- Madeiras comercializadas na região de Itapeva-SP;
- Máquina Universal de ensaio da marca EMIC, com capacidade de 300 kN;
- Máquinas da serraria (serra circular, plaina desengrossadeira e plaina desempenadeira);
- Paquímetro da marca Digimess.

### 4.2 Métodos

#### 4.2.1 Confecção dos corpos de prova

Para a confecção dos corpos de prova de tração normal às fibras, foram escolhidas aleatoriamente vigas de madeira das espécies *Eucalypto Grandis* e *Pinus Elliottii*, de um lote de madeira recebido de doações (Figura 2) para a Unesp-Câmpus de Itapeva, madeiras essas de reflorestamento comercializadas na região de Itapeva-SP.

Figura 2 – Lote de madeira



Fonte: Autor

Tanto para a espécie de eucalipto como a de pinus foram escolhidos do lote duas vigas (Figura 3), para serem confeccionados os corpos de prova de tração normal às fibras, conforme as recomendações do anexo B da norma ABNT NBR 7190 (1997).

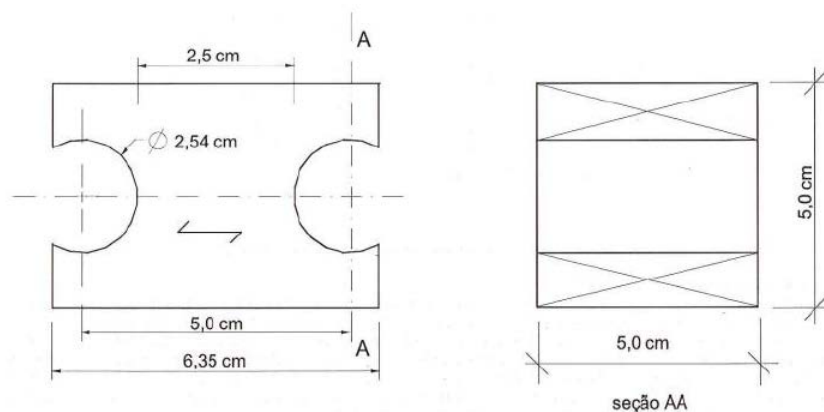
Figura 3 – Viga de eucalipto seccionada



Fonte: Autor

As dimensões estabelecidas pela norma para a confecção dos corpos de prova estão descritas na Figura 4.

Figura 4 – Corpo de prova de tração normal às fibras



Fonte: ABNT NBR 7190 (1997)

Para cada espécie de madeira foram confeccionados 60 corpos de prova de tração normal às fibras, além de 12 amostras para determinação do teor de umidade do lote, sendo 6 amostras de cada viga selecionada.

Na Figura 5 está representado um corpo de prova confeccionado para o ensaio mecânico, com as seguintes dimensões 6,59x4,95x4,30 cm.

Figura 5 – Corpos de prova confeccionados



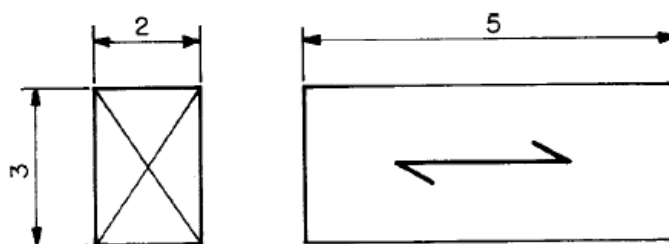
Fonte: Autor

Os corpos de prova confeccionados foram embalados em sacos plásticos transparentes e armazenados em uma sala climatizada, onde se encontrava-se instalada a máquina universal de ensaio EMIC, até a verificação do teor de umidade das respectivas amostras extraídas.

#### 4.2.2 Teor de umidade dos corpos de prova

Para a verificação do teor de umidade dos corpos de prova, foram extraídos de cada viga, amostras conforme as recomendações da norma ABNT NBR 7190 (1997), com as dimensões 5x3x2 cm, demonstrado na Figura 6.

Figura 6 – Corpo de prova para a determinação da umidade da madeira



Fonte: ABNT NBR 7190 (1997)

A Figura 7 apresenta uma amostra extraída para a verificação do teor de umidade, com as seguintes dimensões 5,03x2,92x1,98 cm .

Figura 7 – Amostra extraída para determinação do teor de umidade



Fonte: Autor

Para a determinação do teor de umidade de ambas as amostras, estas foram pesadas em uma balança analítica, para obtenção das massas úmidas das respectivas amostras, seguindo as recomendações da norma ABNT NBR 7190 (1997).

Tendo as massas úmidas de todas as amostras, as mesmas foram encaminhadas para uma estufa de secagem, a uma temperatura aproximada de  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , conforme as recomendações da norma ABNT NBR 7190 (1997) para a realização da secagem.

As massas das amostras foram medidas a cada 6 horas até apresentarem uma variação de massa menor ou igual a 0,05%.

Após a estabilização das massas realizou-se novamente a pesagem para a obtenção da massa seca. Para a determinação do teor de umidade foi utilizado a equação 4.1.

$$T.U = \left( \frac{M_u - M_s}{M_s} \right) * 100 \quad (4.1)$$

Onde:

$T.U$  é o teor de umidade;

$M_u$  é a massa úmida;

$M_s$  é massa seca.

Tendo os valores de teor umidade, foi realizada a média aritmética para os valores obtidos, para as amostras de eucalipto e de pinus, sendo esse valor médio representativo do teor de umidade dos corpos de prova de tração normal às fibras.

### 4.2.3 Ensaio de tração normal às fibras

Os ensaios foram realizados seguindo as recomendações do anexo B da norma ABNT NBR 7190 (1997). Os corpos de prova foram armazenados em um local climatizado a 12°C, para estarem com um teor de umidade próximo do recomendado pela norma, para a realização do ensaio mecânico.

Antes do início do ensaio, a área de rompimento de todos os corpos de prova foram medidos com um paquímetro, para ao final do ensaio obter a resistência de cada corpo de prova. Na sequência os corpos de prova de tração normal às fibras foram posicionados na máquina universal de ensaio da marca EMIC, com capacidade de 30 toneladas, para a realização do ensaio mecânico (Figura 8).

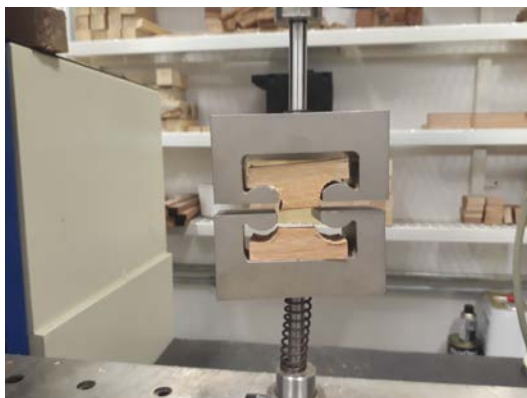
Figura 8 – Ensaio de tração normal às fibras



Fonte: Autor

Durante o ensaio cada corpo de prova foi submetido a uma determinada carga, até seu rompimento na seção designada, conforme demonstrado na Figura 9.

Figura 9 – Corpo de prova rompido



Fonte: Autor

Finalizado o ensaio, para cada corpo de prova foi obtido uma máxima tração

normal, ou seja um valor de força que aquele corpo de prova foi solicitado até seu rompimento, na seção designada.

A resistência a tração normal ( $f_{t90}$ ) segundo a norma ABNT NBR 7190 (1997) foi considerada como sendo a máxima tensão de tração normal atuante na seção crítica dos corpos de prova, sendo calculada conforme a equação seguinte.

$$f_{t90} = \frac{F_{max}}{A} \quad (4.2)$$

Onde:

$F_{max}$  é a máxima força de tração normal obtida no ensaio;

$A$  é a área da seção transversal de ruptura.

A norma ABNT NBR 7190 (1997) padroniza os valores de resistência para o teor de umidade de 12 %, utilizando a equação 4.3, e nesse caso, todos os valores de resistências obtidos foram corrigidos para a umidade padrão.

$$f_{12} = f_{U\%} * \left[ 1 + \frac{3 * (U\% - 12)}{100} \right] \quad (4.3)$$

Onde:

$f_{12}$  é o valor de resistência na umidade de 12%;

$f_{U\%}$  é o valor de resistência no teor umidade do corpo de prova;

$U\%$  é a umidade do corpo de prova.

#### 4.2.4 Análise estatística

Uma vez determinadas as resistências à tração normal das amostras, estas foram organizadas em ordem crescente ( 5 colunas de 12 valores cada) e foram avaliadas pelo teste de Shapiro Wilk dos dados através de software de análise estatística R, considerando diferentes quantidades de amostra (12, 24, 36, 48 e 60 amostras).

Posteriormente, foram determinados os parâmetros estatísticos necessários para cada conjunto de dados (desvio padrão, média, coeficiente de variação), para analisar a variação dos valores, para diferentes tamanhos de amostra.

Na sequência os valores característicos de resistência à tração normal à fibras obtidos pelas equações 3.3 e 3.4 foram comparados para identificação das principais distorções entre os valores obtidos.

Utilizando o método de reamostragem Bootstrap foi realizada uma simulação dos dados, cerca de 20000 repetições para ambas as espécies, ou seja, 20000 reamos-

tragem, com finalidade de analisar a normalidade dos dados e realizar a comparação do valor característico pelas equações 3.3 e 3.4 para diferentes tamanhos de amostra (12,18,24,36,42,48,54 e 60 amostras).

Por fim foi verificado o valor do coeficiente de excentricidade da equação do estimador centrado, utilizando os seguintes coeficientes (0.95,1.00,1.05 e 1.10). Para verificar o coeficiente mais adequado, foi comparado o valor característico obtido com o valor que corresponde a probabilidade de 5% do conjunto de amostras.



## 5 Resultados

### 5.1 Valores de resistência obtidos no ensaio mecânico

Nas Tabelas 7 e 8 estão apresentados os valores de resistência à tração normal às fibras, obtidos no ensaio mecânico para cada corpo de prova.

Tabela 7 – Valores de resistência à tração normal às fibras dos corpos de prova de eucalipto.

<i>CPs</i>	$f_{t90}$ ( <i>MPa</i> )	<i>CPs</i>	$f_{t90}$ ( <i>MPa</i> )	<i>CPs</i>	$f_{t90}$ ( <i>MPa</i> )	<i>CPs</i>	$f_{t90}$ ( <i>MPa</i> )	<i>CPs</i>	$f_{t90}$ ( <i>MPa</i> )
1	3,41	13	4,50	25	3,31	37	5,40	49	3,87
2	4,29	14	2,86	26	3,10	38	5,11	50	4,44
3	4,95	15	5,54	27	4,95	39	6,18	51	4,51
4	4,43	16	4,02	28	3,90	40	4,37	52	4,11
5	3,88	17	3,55	29	3,57	41	4,19	53	4,51
6	4,74	18	3,27	30	3,77	42	4,47	54	3,71
7	4,00	19	4,05	31	3,75	43	3,29	55	4,68
8	3,41	20	4,52	32	3,32	44	3,26	56	4,07
9	4,34	21	4,26	33	4,98	45	2,07	57	3,94
10	4,09	22	4,11	34	3,57	46	3,64	58	3,23
11	4,65	23	3,92	35	4,16	47	4,41	59	3,70
12	4,86	24	4,19	36	3,47	48	3,60	60	2,72

Tabela 8 – Valores de resistência à tração normal às fibras dos corpos de prova de pinus.

<i>CPs</i>	$f_{t90}$ ( <i>MPa</i> )	<i>CPs</i>	$f_{t90}$ ( <i>MPa</i> )	<i>CPs</i>	$f_{t90}$ ( <i>MPa</i> )	<i>CPs</i>	$f_{t90}$ ( <i>MPa</i> )	<i>CPs</i>	$f_{t90}$ ( <i>MPa</i> )
1	2,30	13	1,80	25	2,11	37	2,48	49	1,82
2	2,68	14	2,47	26	1,85	38	2,98	50	2,64
3	2,86	15	1,89	27	2,30	39	2,54	51	2,87
4	2,09	16	0,68	28	2,82	40	2,53	52	3,16
5	2,12	17	2,8	29	2,17	41	2,37	53	2,84
6	2,10	18	2,51	30	2,35	42	3,54	54	1,92
7	1,96	19	3,40	31	2,25	43	2,70	55	2,44
8	2,68	20	3,17	32	1,65	44	2,90	56	2,38
9	1,84	21	2,12	33	2,76	45	1,87	57	2,25
10	3,37	22	1,97	34	3,17	46	2,81	58	2,77
11	2,43	23	3,61	35	3,17	47	2,62	59	2,44
12	1,82	24	2,30	36	2,15	48	3,57	60	2,17

Na Tabela 9 estão apresentados os valores de massa úmida e seca obtidos os corpos de prova para a verificação do teor de umidade das espécies de eucalipto

e pinus. Em conjunto com esses valores também estão apresentados os valores de teores de umidade dos mesmos.

Tabela 9 – Massa dos corpos prova para determinação do teor de umidade da espécie de eucalipto.

Espécie CPs	Eucalipto			Pinus		
	Massa úmida (g)	Massa seca (g)	Teor de umidade (%)	Massa úmida (g)	Massa seca (g)	Teor de umidade (%)
1	25,66	22,36	14,76	12,99	11,38	14,15
2	25,30	22,09	14,53	12,46	10,96	13,69
3	26,45	23,19	14,06	16,30	14,25	14,39
4	25,95	22,65	14,57	16,49	14,40	14,51
5	25,34	22,06	14,87	12,12	10,66	13,70
6	25,68	22,42	14,54	16,21	14,20	14,15
7	20,53	17,86	14,95	18,70	16,42	13,89
8	21,17	18,41	14,99	16,39	14,41	13,74
9	21,04	18,31	14,91	17,06	14,96	14,04
10	21,00	18,26	15,01	16,29	14,32	13,76
11	21,16	18,39	15,06	16,91	14,87	13,72
12	20,78	18,09	14,87	16,67	14,67	13,63

Na Tabela 10 estão apresentados parâmetros estatísticos dos valores de teor de umidade apresentados pela Tabela 9 de ambas as espécies.

Tabela 10 – Análise estatística dos corpos de teor de umidade das espécies de eucalipto e pinus.

Espécie	Média aritmética	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
Eucalipto	14,76	0,29	1,95
Pinus	13,95	0,29	2,12

Analisando a Tabela 10 percebe-se que a média aritmética e o coeficiente de variação para o teor de umidade, apresentaram valores distintos, muito em consideração por serem espécies distintas (folhosa e conífera), se comportam de forma distinta durante o processo de secagem, mesmo em mesmas condições de acondicionamento.

Apenas o desvio padrão de ambas as espécies apresentou um valor similar em relação aos valores de teor de umidade apresentados na Tabela 9.

Mesmo apresentando valores médios distintos ambas as espécies apresentaram valores de teores de umidade na faixa entre 12 a 20 %, conforme a norma ABNT NBR 7190 (1997) podendo assim realizar a correção dos valores de resistências, obtidos no ensaio.

Os valores de resistência à tração normal às fibras, corrigidos para a umidade padrão, a partir da equação 4.3, estão apresentados nas Tabelas 11 e 12.

Tabela 11 – Valores de resistência à tração normal às fibras dos corpos de prova de eucalipto corrigidos para o teor de umidade de 12%.

<i>CPs</i>	$f_{t90}$ (MPa)	<i>CPs</i>	$f_{t90}$ (MPa)	<i>CPs</i>	$f_{t90}$ (MPa)	<i>CPs</i>	$f_{t90}$ (MPa)	<i>CPs</i>	$f_{t90}$ (MPa)
1	3,67	13	4,84	25	3,56	37	5,81	49	4,21
2	4,62	14	3,08	26	3,34	38	5,50	50	4,83
3	5,33	15	5,96	27	5,33	39	6,65	51	4,91
4	4,77	16	4,33	28	4,20	40	4,70	52	4,48
5	4,18	17	3,82	29	3,84	41	4,51	53	4,91
6	5,10	18	3,52	30	4,06	42	4,81	54	4,04
7	4,31	19	4,36	31	4,04	43	3,54	55	5,10
8	3,67	20	4,87	32	3,57	44	3,55	56	4,43
9	4,67	21	4,59	33	5,36	45	2,25	57	4,29
10	4,40	22	4,42	34	3,84	46	3,96	58	3,52
11	5,01	23	4,22	35	4,48	47	4,80	59	4,03
12	5,23	24	4,51	36	3,74	48	3,92	60	2,96

Tabela 12 – Valores de resistência à tração normal às fibras dos corpos de prova de pinus corrigidos para o teor de umidade de 12% .

<i>CPs</i>	$f_{t90}$ (MPa)	<i>CPs</i>	$f_{t90}$ (MPa)	<i>CPs</i>	$f_{t90}$ (MPa)	<i>CPs</i>	$f_{t90}$ (MPa)	<i>CPs</i>	$f_{t90}$ (MPa)
1	2,44	13	1,91	25	2,22	37	2,64	49	1,92
2	2,82	14	2,60	26	1,97	38	3,14	50	2,78
3	3,01	15	2,01	27	2,44	39	2,70	51	3,02
4	2,22	16	0,72	28	2,97	40	2,67	52	3,33
5	2,23	17	3,04	29	2,31	41	2,52	53	2,99
6	2,23	18	2,67	30	2,50	42	3,73	54	2,04
7	2,07	19	3,58	31	2,37	43	2,85	55	2,59
8	2,85	20	3,37	32	1,74	44	3,06	56	2,53
9	1,96	21	2,25	33	2,93	45	1,99	57	2,39
10	3,58	22	2,09	34	3,34	46	2,99	58	2,92
11	2,56	23	3,80	35	3,37	47	2,78	59	2,57
12	1,93	24	2,44	36	2,27	48	3,79	60	2,29

Como mencionando anteriormente, para a utilização da equação 3.4 , a norma ABNT NBR 7190 (1997) menciona que os valores de resistência a serem analisados pela equação do estimador centrado sejam organizados em ordem crescente.

Para atender essa condição para a utilização da equação 3.4, nas Tabelas 13 e 14, estão apresentados os valores de resistência de ambas as espécies de madeira ordenados conforme as recomendações da norma.

Tabela 13 – Valores de resistência à tração normal às fibras dos corpos de prova de eucalipto ordenados (U=12%).

Resistências (MPa)				
2,25	3,74	4,21	4,51	4,91
2,96	3,82	4,22	4,59	5,01
3,08	3,84	4,29	4,62	5,10
3,34	3,84	4,31	4,67	5,10
3,52	3,92	4,33	4,70	5,23
3,52	3,96	4,36	4,77	5,33
3,54	4,03	4,40	4,80	5,33
3,55	4,04	4,42	4,81	5,36
3,56	4,04	4,43	4,83	5,50
3,57	4,06	4,48	4,84	5,81
3,67	4,18	4,48	4,87	5,96
3,67	4,20	4,51	4,91	6,65

Tabela 14 – Valores de resistência à tração normal às fibras dos corpos de prova de pinus ordenados (U=12%).

Resistências (MPa)				
0,72	2,22	2,44	2,78	3,04
1,74	2,22	2,50	2,78	3,06
1,91	2,23	2,52	2,82	3,14
1,92	2,23	2,53	2,85	3,33
1,93	2,25	2,56	2,85	3,34
1,96	2,27	2,57	2,92	3,37
1,97	2,29	2,59	2,93	3,37
1,99	2,31	2,60	2,97	3,58
2,01	2,37	2,64	2,99	3,58
2,04	2,39	2,67	2,99	3,73
2,07	2,44	2,67	3,01	3,79
2,09	2,44	2,70	3,02	3,80

## 5.2 Análise estatística

Para as respectivas espécies de madeira estudadas, foram analisados, a partir dos resultados obtidos parâmetros estatísticos (média aritmética, desvio padrão e coeficiente de variação), para os diferentes tamanhos de amostra (12, 24, 36, 48 e 60 amostras).

Para analisar a normalidade das amostras, foi utilizado o teste de Shapiro Wilk, com nível de significância de 5%.

Nas Tabelas 15 e 16 estão os resultados obtidos para cada parâmetros estatísticos analisados para as respectivas amostras e os valores obtidos de p-value pelo teste de normalidade.

Tabela 15 – Análise estatística das amostras de eucalipto.

Unidade amostral	12	24	36	48	60
Média aritmética (MPa)	3,35	3,66	3,89	4,11	4,38
Desvio padrão (MPa)	0,41	0,44	0,49	0,57	0,77
Coeficiente de variação (%)	12,29	11,95	12,66	13,80	17,55
Teste de normalidade (Shapiro Wilk) p-value	0,0016 (< 5%)	0,0051 (< 5%)	0,0051 (< 5%)	0,020 (< 5%)	0,86 (> 5%)

Tabela 16 – Análise estatística das amostras de pinus.

Unidade amostral	12	24	36	48	60
Média aritmética (MPa)	1,86	2,084	2,25	2,42	2,62
Desvio padrão (MPa)	0,37	0,35	0,37	0,43	0,57
Coeficiente de variação (%)	19,93	16,65	16,50	17,94	21,95
Teste de normalidade (Shapiro Wilk) p-value	0,00004 (< 5%)	0,00003 (< 5%)	0,00009 (< 5%)	0,0017 (< 5%)	0,146 (> 5%)

Analisando-se as Tabelas 15 e 16 percebe-se que para diferentes tamanhos de amostra, os parâmetros estatísticos variaram, na medida que a quantidade de amostras aumentou, os parâmetros estatísticos acompanham essa tendência.

Em nenhuma situação as amostras de eucalipto apresentaram valores de coeficiente de variação entre os intervalos de 18 a 28%.

Para as amostras de pinus apenas as amostras (12 e 60) permaneceram no intervalo de 18 a 28%, as demais amostras não atenderam essa condição descrito pela norma.

Uma explicação para o ocorrido, consiste em que esse intervalo de confiança baseia-se para valores de resistência à compressão paralela às fibras, na qual difere do ensaio realizado.

Em relação a normalidade para as amostras de eucalipto e pinus foi possível averiguar as mesmas conclusões, mas qual percebeu-se que para 12, 24, 36 e 48 amostras, o teste estatístico apresentou um p-value menor que 5%, demonstrando que as amostras não apresentam um perfil de distribuição normal de probabilidade.

Com 60 amostras apresentou pelo teste estatístico um p-value maior que 5%, demonstrando que apresentam um perfil de distribuição normal de probabilidade para ambas as espécies de madeira.

### 5.2.1 Comparação do valor característico pelo método probabilístico e pelo método do estimador centrado

A Tabela 17 apresenta os valores característicos obtidos pelos métodos probabilístico e pelo método do estimador centrado para as respectivas amostras.

Tabela 17 – Comparação dos estimadores para as amostras de eucalipto e pinus.

Espécie	Estimadores	Unidade amostral				
		12	24	36	48	60
Eucalipto	Método probabilístico	2,68	2,94	3,09	3,18	3,12
	Estimador centrado	2,80	3,28	3,33	3,39	4,65
Pinus	Método probabilístico	1,25	1,51	1,64	1,71	1,69
	Estimador centrado	1,46	1,75	1,84	1,87	1,92

Considerando a suposição de normalidade de ambas amostras de eucalipto e de pinus, observou-se que independentemente do tamanho da amostra, o método do estimador centrado apresentou os maiores valores característicos em comparação ao método probabilístico.

Em relação aos valores característicos obtidos pelo método do estimador centrado, todos os valores de resistência para as amostras de eucalipto e de pinus atenderam os requisitos de serem superiores à 70% dos valores médios, respectivamente (2,35 MPa, 2,56 MPa, 2,72 MPa, 2,88 MPa e 3,06 MPa) e (1,30 MPa, 1,46 MPa, 1,58 MPa, 1,69 MPa e 1,83 MPa) e também superior ao menor valor de resistência do conjunto respectivamente 2,25 MPa e 0,72 MPa.

### 5.2.2 Análise do coeficiente de excentricidade pelo método do estimador centrado

Nas Tabelas 18 e 19 estão apresentados os valores característicos para diferentes coeficientes de excentricidade (0,95, 1,00, 1,05 e 1,10), para estimar o coeficiente que mais se ajustou a equação do estimador centrado, para fornecer valores mais confiáveis.

Analisando os valores de resistência descritos nas Tabelas 13 e 14, verificou-se conforme a definição do valor característico, o valor de resistência que equivaleu aos 5% das amostras, para realizar a comparação com os valores característicos obtidos nas tabelas seguintes.

Os valores de resistência à tração normal às fibras que corresponderam aos 5% da amostra de eucalipto e de pinus foram respectivamente 3,08 MPa e 1,91 MPa.

Considerou-se na análise os valores característicos obtidos a partir de 30 amostras conforme indicado no teste de Shapiro Wilk, para atender o requisito de

Tabela 18 – Comparação dos estimadores para as amostras de eucalipto.

Estimadores	Unidade amostral				
	12	24	36	48	60
Estimador centrado com coeficiente 0,95 (MPa)	2,41	2,83	2,88	2,92	4,02
Estimador centrado com coeficiente 1,00 (MPa)	2,54	2,98	3,03	3,08	4,24
Estimador centrado com coeficiente 1,05 (MPa)	2,67	3,13	3,18	3,23	4,45
Estimador centrado com coeficiente 1,10 (MPa)	2,80	3,28	3,33	3,39	4,65

normalidade para a espécie de *Eucalipto Grandis*.

Com a condição de normalidade atendida, analisando os diferentes resultados obtidos para os valores característicos com diferentes coeficientes de excentricidade em conjunto ao valor que corresponde aos 5% da amostra de eucalipto, pode-se observar que o coeficiente que mais se ajustou foi o 1,00, apresentando um valor característico de 3,08 MPa, exatamente o mesmo valor correspondente a resistência de 5% da amostra.

Este valor de coeficiente foi distinto em comparação ao utilizado pela norma e ao valor mencionados no trabalho de Pinheiro (2011), mas similar ao sugeridos no trabalho de Logsdon, Jesus e Penna (2010).

Tabela 19 – Comparação dos estimadores para as amostras de pinus.

Estimadores	Unidade amostral				
	12	24	36	48	60
Estimador centrado com coeficiente 0,95 (MPa)	1,26	1,51	1,59	1,61	1,66
Estimador centrado com coeficiente 1,00 (MPa)	1,33	1,60	1,67	1,70	1,74
Estimador centrado com coeficiente 1,05 (MPa)	1,40	1,68	1,75	1,79	1,83
Estimador centrado com coeficiente 1,10 (MPa)	1,46	1,75	1,84	1,87	1,92

Considerou-se à análise dos valores característicos obtidos a partir de 42 amostras conforme indicado no teste de Shapiro Wilk, para atender o requisito de normalidade para a espécie de *Pinus Elliottii*.

Com a condição de normalidade atendida, analisando os diferentes resultados obtidos para os valores característicos com diferentes coeficientes de excentricidade em conjunto ao valor que corresponde aos 5% da amostra de pinus, pode-se observar que o coeficiente que mais se ajustou foi o 1,10, apresentando um valor característico de 1,87 MPa, sendo este valor mais próximo do valor correspondente a resistência de 5% da amostra.

Este valor de coeficiente foi distinto quando comparado ao utilizado pela norma e valor mencionados nos trabalhos de Pinheiro (2011) e Logsdon, Jesus e Penna (2010).

### 5.2.3 Análise da normalidade dos dados pelo método Bootstrap

Na tabela 20 estão apresentados os resultados obtidos pela reamostragem pelo método Bootstrap para a verificação da normalidade das amostras pelo teste de Shapiro Wilk, a um nível de significância de 5%.

Tabela 20 – Análise da normalidade das amostras de eucalipto e pinus pelo método Bootstrap.

Espécie	Eucalipto	Pinus
Unidade amostral	p-value (%)	p-value (%)
12	0,0547	0,0674
18	0,0598	0,0770
24	0,0503	0,0747
30	0,0321	0,0732
36	0,0195	0,0638
42	0,0076	0,0048
48	0,0021	0,0030
54	0,0001	0,0099
60	0	0

Os valores de p-value apresentados indicaram a probabilidade das amostras não apresentarem um perfil de distribuição normal de probabilidade.

A verificação da normalidade das amostras buscou a influencia do tamanho da amostras com o aspecto de normalidade, na qual buscou-se analisar um tamanho minimo de amostras para atender o requisito proposto de pela norma, para aplicar corretamente os métodos para a determinação do valor característico.

Para atender os requisito de normalidade proposto pela norma ABNT NBR 7190 (1997) na realização dos ensaios mecânicos para a obtenção do valor característico, 30 amostras foi o valor obtido para a espécie de *Eucalipto Grandis* e 42 amostras para a espécie de *Pinus Elliottii*.

Valores encontrados para ambas as espécies que coincidiram com os requisitos necessários para a procedência dos ensaios, apresentando um p-value inferior a 5%.

### 5.2.4 Comparação do valor característico pelo método Bootstrap

As Tabelas 21 e 22 apresentam os valores característicos obtidos pelo método probabilístico e pelo método do estimador centrado, através da simulação realizada pelo método Bootstrap.

Os resultados foram organizado para cada método de obtenção do valor característico e para cada tamanho de amostra foram obtidos valores mínimos, médios e máximos do conjunto de valores simulados.

Tabela 21 – Análise dos valores característicos pelo método probabilístico e pelo método do estimador centrado das amostras de eucalipto pelo método Bootstrap.

Método Unidade amostral	Probabilístico (MPa)			Estimador centrado (MPa)		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
12	1,79	5,38	9,80	3,06	5,08	8,96
18	2,36	5,43	8,51	3,06	5,08	8,86
24	2,66	5,47	7,62	3,06	5,08	8,37
30	3,31	5,48	7,18	3,06	5,09	8,28
36	3,50	5,49	6,77	3,06	5,09	8,11
42	3,91	5,49	6,42	3,06	5,08	8,02
48	4,04	5,50	6,16	3,06	5,08	7,95
54	4,39	5,51	5,81	3,06	5,08	7,97
60	5,51	5,51	5,51	3,06	5,07	7,81

Tabela 22 – Análise dos valores característicos pelo método probabilístico e pelo método do estimador centrado das amostras de pinus pelo método Bootstrap.

Método Unidade amostral	Probabilístico (MPa)			Estimador centrado (MPa)		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
12	0,76	2,41	4,37	1,83	3,11	6,23
18	1,04	2,43	3,82	1,83	3,10	6,15
24	1,17	2,44	3,44	1,83	3,11	5,80
30	1,43	2,45	3,27	1,83	3,11	5,79
36	1,58	2,46	3,04	1,83	3,11	5,69
42	1,81	2,46	2,76	1,83	3,10	5,64
48	1,81	2,46	2,76	1,83	3,11	5,52
54	1,99	2,46	2,61	1,83	3,10	5,57
60	2,47	2,49	2,45	1,83	3,10	5,45

Analisando as Tabelas 21 e 22 observou-se que valores médios característicos pelo método probabilístico foram superiores aos valores apresentados pelo método do estimador centrado, para as amostras de eucalipto. Para as amostras de pinus os valores médios característicos apresentaram maiores valores pelo método do estimador centrado em todo conjunto.

Para os valores mínimos característicos para a espécie de eucalipto, o método do estimador centrado apresentou maiores valores até a unidade amostral 24, a partir dessa unidade amostral o método probabilístico apresentou os maiores valores. Para a espécie de pinus o método do estimador centrado apresentou os maiores valores até a unidade amostral 48, a partir dessa unidade amostral os maiores valores foram apresentados pelo método probabilístico.

Por fim os valores máximos característicos para a espécie de eucalipto, o método do estimador probabilístico apresentou os maiores valores para a unidade amostral 12, para as demais unidades amostrais o método do estimador centrado apresentou os

maiores valores. Para a espécie de pinus em todas as unidades amostrais o método do estimador centrado apresentou os maiores valores.

## 6 Conclusão

Conforme os resultados obtidos nesse trabalho pode-se concluir que para a determinação do valor característico pelos métodos proposto pela norma ABNT NBR 7190 (1997), primeiramente necessita verificar a normalidade dos dados para serem aplicados nas respectivas equações.

Dependendo da unidade amostral utilizada para a realização do ensaio mecânico, para posteriormente obter o valor característico, pode acarretar em um valor característico contestável, pelo fato de não atender o requisito de normalidade.

Para atender a condição de normalidade, o número mínimo de unidades amostrais pelo método Bootstrap para a espécie de *Eucalipto Grandis* foi de 30 e para a espécie de *Pinus Elliottii* foi de 42, para poder aplicar as equações descritas pela norma, para a obtenção do valor característico de forma mais confiável.

Para a obtenção do valor característico tanto pelo método probabilístico como para o método do estimador centrado, ambos apresentaram diferentes valores característicos.

Em relação ao valor mais adequado para o coeficiente de excentricidade para a equação do estimador centrado, não foi possível estabelecer um valor geral, pelo fato de que cada espécie de madeira analisada apresentou um determinado coeficiente. Para a espécie de *Eucalipto Grandis* o valor encontrado foi 1,00 e para a espécie de *Pinus Elliottii* o valor foi de 1,10. Em virtude dessa diferença é interessante para trabalhos futuros, analisar esse coeficiente para outras espécies de madeira para buscar uma relação entre eles.



# Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. NBR 7190 - *Projeto de estruturas de madeira* - Anexo B. Rio de Janeiro, 1997. 107 p. Citado 19 vezes nas páginas 11, 21, 23, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 44, 45, 50 e 53.

CHEUNG, A. B.; MARTINEZ, M. E.; JUNIOR, C. C. Resistência característica e intervalos de confiança para treliças de madeira com ligações de chapas com dentes estampados. *Madeira: arquitetura e engenharia*, v. 6, n. 16, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 31.

ESPINOSA, M. M.; JUNIOR, C. C. Determinação do valor característico da resistência da madeira: distribuições de probabilidade simétricas e assimétricas. *Madeira: arquitetura e engenharia*, v. 1, n. 2, 2014. Citado 4 vezes nas páginas 21, 31, 32 e 33.

ESPINOSA, M. M. et al. Confiabilidade em elementos estruturais de madeira roliça. *Madeira: arquitetura e engenharia*, v. 5, n. 14, 2013. Citado na página 21.

GOUVÊA, G. D. R. Estimador bootstrap não-paramétrico de curvas de sobrevivência para dados entomológicos com censura intervalar. 2006. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006. Citado na página 26.

LOGSDON, N. B.; JESUS, J. M. H. de; PENNA, J. E. Avaliação dos estimadores da resistência característica à compressão paralela às fibras. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 88, n. 38, p.579-587, dez. 2010. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 49.

MAGALHÃES, M. N.; LIMA, A. C. P. de. *Noções de probabilidade e estatística*. [S.l.]: Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010. v. 7. Citado na página 25.

MORETTIN, P.; BUSSAB, W. d. O. Estatística básica, 5ª edição, editora saraiva. São Paulo, 2004. Citado na página 25.

NUNES, S.; SEBASTIÃO, J. Métodos de reamostragem e subamostragem no r-project. In: UNIVERSIDAD DE VIGO. *VI Congreso de Galego de Estatística e Investigación de Operacións*. [S.l.], 2003. p. 305–310. Citado na página 26.

OLIVEIRA, C. I. F. *Método de captura e recaptura para a estimação da abundância de uma população: aplicação da metodologia Bootstrap*. Tese (Doutorado), 2007. Citado na página 26.

PINHEIRO, W. Estimadores da resistência mecânica característica da madeira. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 49.

PINTO, E. M.; ESPINOSA, M. M.; JUNIOR, C. C. Métodos para determinação do valor característico da resistência à compressão paralela às fibras da madeira. *Madeira: arquitetura e engenharia*, v. 5, n. 14, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 33.

SANTOS, D. S. *Avaliação de técnicas de reabilitação e reforço em estruturas de madeira*. Dissertação (monografia) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016. Citado na página 21.

STAMATO, G. C. *Ligações em estruturas de madeira compostas por chapas de madeira compensada*. São Carlos. Tese (Doutorado)—Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 2002. Citado na página 21.