

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

FRANCISCO JUNIOR CARDOSO TORRES

**CLASSIFICAÇÃO VISUAL E MECÂNICA DE MADEIRAS DE FLORESTAS
PLANTADAS: ESPÉCIE DE *PINUS ELLIOTTII* CONFORME NBR 7190/2022**

**Alegrete
2023**

FRANCISCO JUNIOR CARDOSO TORRES

**CLASSIFICAÇÃO VISUAL E MECÂNICA DE MADEIRAS DE FLORESTAS
PLANTADAS: ESPÉCIE DE *PINUS ELLIOTTII* CONFORME NBR 7190/2022**

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

Orientador: Telmo Egmar Camilo Deifeld

**Alegrete
2023**

FRANCISCO JUNIOR CARDOSO TORRES

**CLASSIFICAÇÃO VISUAL E MECÂNICA DE MADEIRAS DE FLORESTAS PLANTADAS:
ESPÉCIE DE PINUS ELLIOTTII CONFORME NBR 7190/2022**

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

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

Banca examinadora:

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

Prof. Dr. ALISSON SIMONETTI MILANI - UNIPAMPA

Prof. Dr. LUIS ERNESTO ROCA BRUNO- UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **TELMO EGMAR CAMILO DEIFELD, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/12/2023, às 10:02, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **ALISSON SIMONETTI MILANI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/12/2023, às 11:31, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **LUIS ERNESTO ROCA BRUNO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/12/2023, às 15:20, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1333195** e o código CRC **513E8818**.

Dedico este trabalho aos meus pais e ao meu filho Theo, por não terem medido esforços para me ajudarem a continuar.

AGRADECIMENTOS

Reservo os meus agradecimentos aos meus pais, Francisco Carlos da Rosa Torres e Silvia Adriana Cardoso Torres, por nunca terem me deixado desamparado, principalmente nos momentos mais difíceis e por sempre acreditarem em mim.

Ao meu filho Theo, que veio em hora oportuna, me tornando um homem mais responsável e consciente, assim como a minha companheira Ana Amélia, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando e incentivando nas minhas escolhas.

Ao Prof. Dr Telmo Egmar Camilo Deifeld por ter me orientado e ao Me. Marcelo de Jesus Dias de Oliveira, por me auxiliar no laboratório, tornando possível a realização deste trabalho.

A todos os amigos, colegas e professores que me ajudaram a superar as dificuldades durante a graduação.

“Quem não vive para servir,
não serve para viver.”

Mahatma Gandhi

RESUMO

Neste trabalho foram abordados métodos de classificação visual e mecânica de madeiras comerciais de florestas plantadas de povoamento não homogêneo da espécie de *Pinus elliottii*, para fins estruturais, incluindo a avaliação dos nós, inclinação das fibras, fissuras, encurvamento, encanoamento, arqueamento, torcimento, esmoado, presença de fungos e bolsas de resina, orifícios causados por insetos xilófagos, para a inspeção visual, assim como o ensaio à flexão em três pontos e ensaio de densidade, para a verificação das propriedades mecânicas. Estas análises tiveram como objetivo o de atribuir a classe à amostragem, de modo a garantir os parâmetros estabelecidos na NBR 7190/2022, fornecendo segurança para a execução de estruturas em madeira e fomentar novas pesquisas sobre o tema com outras espécies de florestas plantadas ou nativas, visando cumprir os critérios da recente atualização da norma supramencionada. Nos resultados alcançados, pode-se verificar a disparidade entre os diferentes métodos de classificação, o que reforça a necessidade de executar as diferentes formas de investigação de forma detalhada, a fim de conferir maior exatidão na definição da classe dos exemplares de madeiras estruturais estudados.

Palavras-chave: Classificação visual; Classificação mecânica; Florestas plantadas; NBR 7190/2022; *Pinus elliottii*.

ABSTRACT

This study addressed methods for the visual and mechanical classification of commercial wood from non-homogeneous batch of *Pinus elliottii* species, intended for structural purposes. The evaluation included assessments of knots, fiber inclination, cracks, warping, twisting, bending, bowing, cupping, presence of fungi and resin pockets, as well as holes caused by xylophagous insects, for visual inspection. Additionally, three-point bending tests and density tests were conducted to assess mechanical properties. The objective of these analyses was to assign a classification to the samples, ensuring compliance with the parameters established in NBR 7190/2022. This provides safety for the construction of wooden structures and encourages further research on the subject with other species of planted or native forests, in line with the criteria of the recent update to the aforementioned norm. The results revealed disparities among the different classification methods, emphasizing the need for comprehensive investigations to achieve greater accuracy in defining the class of the studied structural wood specimens.

Keywords: Visual classification; Mechanical classification; Planted forests; NBR 7190/2022; *Pinus elliottii*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Abrigo vegetal pré-histórico.....	17
Figura 2 - Utilização do eucalipto plantado.....	18
Figura 3 - Sistema silvipastoril com <i>Eucalyptus grandis</i> (em primeiro plano) e <i>Pinus elliottii</i> (ao fundo) em Unidades de Referência Tecnológicas implantadas no município de Alegrete, RS.....	22
Figura 4 - Plantio de <i>Pinus spp.</i> com 8 anos de idade.....	23
Figura 5 - Floresta plantada de <i>E. urograndis</i> , <i>E. grandis</i> e <i>E. urophylla</i>	24
Figura 6 - Razões elásticas para várias espécies com teor de umidade aproximadamente de 12%.....	29
Figura 7 - Máquina modelo EMIC 23-200, marca INSTRON/EMIC com capacidade de carregamento de 200kN.....	32
Figura 8 - Unidade de carga, modelo PW-1 LOADING UNIT, marca INSTRON....	32
Figura 9 - Fixador para ensaio de flexão de três pontos.....	33
Figura 10 - Termo-higrômetro digital.....	33
Figura 11 - Estufa para secagem, tipo A5 DIG, marca De Leo.....	34
Figura 12 - Balança de precisão.....	34
Figura 13 - Paquímetro digital.....	35
Figura 14 - Serra de esquadria.....	35
Figura 15 - Medição de um nó na face.....	37
Figura 16 - Conjunto de nós.....	38
Figura 17 - Nós individuais próximos, com ocorrência de dois destes na mesma seção transversal.....	38
Figura 18 - Medição da inclinação das fibras da madeira na face de uma peça....	39
Figura 19 - Medição do comprimento de fissuras.....	40
Figura 20 - Medição do encurvamento.....	41
Figura 21 - Medição do encanoamento.....	42
Figura 22 - Medição do arqueamento.....	42
Figura 23 - Medição do torcimento.....	43
Figura 24 - Medição do esmoado.....	44
Figura 25 - Ensaio à flexão.....	48
Figura 26 - Corpo-de-prova para determinação da umidade da madeira.....	49
Figura 27 - Caibros de 5,5 m de comprimento com 5 x 5 cm de seção.....	51

Figura 28 - Armazenamento dos caibros serrados.....	51
Figura 29 - Nó da amostra F40 com diâmetro igual a espessura da borda.....	55
Figura 30 - Inclinação das fibras da face de peça estrutural de <i>Pinus elliottii</i>	56
Figura 31 - Encurvamento da amostra F20.....	57
Figura 32 - Arqueamento da amostra F09.....	58
Figura 33 - Esmoado da amostra F36.....	59
Figura 34 - Fungo cromógeno em peça estrutural de <i>Pinus elliottii</i>	60
Figura 35 - Fungo apodrecedor em peça estrutural de <i>Pinus elliottii</i>	60
Figura 36 - Presença de medula em peça estrutural de <i>Pinus elliottii</i>	61
Figura 37 - Ensaio de flexão em três pontos no equipamento INSTRON/EMIC	63
Figura 38 - Amostra F10 com presença de medula após o rompimento.....	66
Figura 39 - Amostra F29 após o rompimento.....	66
Figura 40 - Aferição da massa da amostra D01 para o ensaio de densidade.....	67
Figura 41 - Acondicionamento em estufa das amostras para secagem.....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparação entre a madeira, aço e concreto.....	19
Quadro 2 - Classes de umidade	27
Quadro 3 - Redução máxima da dimensão da face com aplainamento.....	36
Quadro 4 - Conferência para pré-classificação visual para <i>Pinus spp.</i>	45
Quadro 5 - Conferência para classificação visual para <i>Pinus spp.</i>	46
Quadro 6 - Conferência para pré-classificação visual para o híbrido <i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>Eucalyptus grandis</i> (urograndis).....	46
Quadro 7 - Conferência para classificação visual para para o híbrido <i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>Eucalyptus grandis</i> (urograndis).....	47
Quadro 8 - Classificação mecânica das classes para <i>Pinus spp.</i>	50
Quadro 9 - Classificação mecânica das classes para <i>E. urophylla</i> e <i>E. grandis</i> (urograndis)	51
Quadro 10 - Classificação visual do Lote 01 de <i>Pinus elliottii</i> em relação aos nós...53	
Quadro 11 - Classificação visual final das classes para a espécie de <i>Pinus elliottii</i>	62
Quadro 12 - Módulo de elasticidade médio para o lote 01 da espécie de <i>Pinus elliottii</i>	64
Quadro 13 - Resultados do ensaio de densidade aparente com 12% do teor de umidade para a espécie de <i>Pinus elliottii</i>	68
Quadro 14 - Propriedades das classes para <i>Pinus spp.</i>	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

E. - *Eucalyptus*

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IBÁ - Instituto Brasileiro de Árvores

FPL - Forest Products Laboratory

LEMAC - Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção

MLC - Madeira Laminada Colada

NBR - Norma Brasileira

UNIPAMPA - Universidade Federal do Pampa

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Objetivos.....	16
1.1.1 Objetivo geral.....	16
1.1.2 Objetivos específicos.....	16
2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1 Utilização da madeira como material construtivo.....	17
2.2 Tipos de Madeiras.....	19
2.2.1 Madeiras macias (softwoods).....	20
2.2.2 Madeiras duras (hardwoods).....	20
2.3 Madeiras de florestas plantadas.....	21
2.3.1 Gênero Pinus spp.....	23
2.3.2 Espécie híbrida de Eucalyptus urophylla e Eucalyptus grandis (urograndis).....	24
2.3.2.1 Espécie Eucalyptus urophylla.....	25
2.3.2.2 Espécie Eucalyptus grandis.....	25
2.4 Características Físicas da Madeira.....	26
2.4.1 Densidade da Madeira.....	26
2.4.2 Umidade da Madeira.....	26
2.5 Características Mecânicas da Madeira.....	27
2.5.1 Elasticidade.....	28
3 METODOLOGIA.....	30
3.1 Materiais e equipamentos.....	30
3.1.1 Materiais.....	30
3.1.2 Equipamentos.....	31
3.2 Classificação Visual.....	35
3.2.1 Nós.....	36
3.2.2 Inclinação das fibras.....	39
3.2.3 Fissuras.....	40
3.2.4 Encurvamento.....	41
3.2.5 Encanoamento.....	41
3.2.6 Arqueamento.....	42
3.2.7 Torcimento.....	43
3.2.8 Esmoados.....	43
3.2.9 Outros defeitos.....	44
3.2.10 Definição da classificação visual.....	45
3.3 Classificação mecânica.....	47
3.3.1 Ensaio de flexão.....	47
3.3.2 Densidade.....	48
4 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	51
4.1 Preparação de amostras.....	51

4.2 Resultados da classificação visual.....	52
4.2.1 Análise dos nós.....	53
4.2.2 Análise da inclinação das fibras.....	55
4.2.3 Análise das fissuras.....	56
4.2.4 Análise do encurvamento.....	56
4.2.5 Análise do encanoamento.....	57
4.2.6 Análise do arqueamento.....	57
4.2.7 Análise do torcimento.....	58
4.2.8 Análise do esmoado.....	58
4.2.9 Análise de outros defeitos.....	59
4.2.10 Definição da classificação visual.....	61
4.3 Resultados da classificação mecânica.....	62
4.3.1 Resultados do ensaio de flexão.....	63
4.3.2 Resultados do ensaio de densidade.....	66
4.3.3 Resultados da classificação mecânica.....	69
4.3.4 Resultados da classificação visual e mecânica final.....	69
Quadro 14 - Propriedades das classes para Pinus spp.....	69
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
5.1 Sugestões aos trabalhos futuros.....	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72

1 INTRODUÇÃO

A utilização da madeira ocorre desde a pré-história até os dias atuais, para a fabricação de telhados, pisos, paredes, escadas, esquadrias, móveis, pontes, escoras, cercas, geração de energia, dentre outros tipos de aplicações. Com o avanço tecnológico, aprimoramento das ferramentas e evolução dos métodos extrativistas, a retirada de árvores da natureza tornou-se viável para fins comerciais.

Perez e Bacha (2006) destacam o início das atividades no Brasil com a extração de madeira serrada de *Araucaria angustifolia* (espécie de conífera) para comercialização, na região sul do país, na década de 1970. Em 1961 foram produzidos 6,4 milhões de metros cúbicos de madeira serrada, sendo 50,8% de coníferas e 49,2% de dicotiledôneas. Entre 1975 e 1991 o consumo se igualava à produção de madeira, não restando excedentes. Somente em 1992 iniciaram-se as exportações com o aumento significativo da produção no país.

Segundo o Instituto Brasileiro de Árvores (IBÁ), o setor florestal bateu recorde de produção no ano de 2022 com o total de 25 milhões de toneladas de madeira para produção de celulose e 11 milhões de toneladas de madeira para a produção de papel. O principal estado brasileiro de exportação de madeira em estado bruto é o Rio Grande do Sul, representando 57% da produção nacional (SPRENGER, 2023).

A necessidade de estudar a madeira serrada como material construtivo se deu a partir da atualização da norma vigente (NBR 7190/2022) que regulamenta o emprego de peças de madeira como elementos estruturais, para garantir que os elementos aplicados superem as solicitações de cargas, prezando pela segurança. Com a relevância de garantir a segurança em estruturas de madeira, este trabalho tem a finalidade de classificar as peças estruturais de madeiras de espécies plantadas comerciais utilizadas na construção civil, pelo método de classificação visual e mecânica disposto na parte 2 da NBR 7190/2022.

A preferência pela espécie abordada no presente trabalho se deu a partir da disponibilidade, dos materiais de construção que serão submetidas a ensaios, nas madeireiras da região próxima ao município de Alegrete, além de ser uma das espécies de referência da NBR 7190-2/2022, norma que trata especificamente de peças exclusivamente de madeiras oriundas de florestas plantadas do gênero *Pinus*

spp. e do clone híbrido das espécies *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis* (urograndis).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O escopo principal deste trabalho é o de determinar a classificação visual e mecânica de peças de madeiras estruturais provenientes do gênero *Pinus spp.* por meio de análise visual, ensaios de flexão perpendicular às fibras das amostras de madeira e ensaio de densidade conforme a NBR 7190/2022.

1.1.2 Objetivos específicos

i. Determinar a classe visual das amostras analisadas a partir do método de classificação visual disposto na NBR 7190-2/2022;

ii. Definir a classe mecânica das amostras analisadas conforme os métodos de classificação mecânica com ensaios dispostos na NBR 7190-2/2022 (densidade e módulo de elasticidade);

iii. Comparar os resultados dos itens i e ii para identificar a classificação visual e mecânica final das amostras da espécie *Pinus elliottii* estudada.

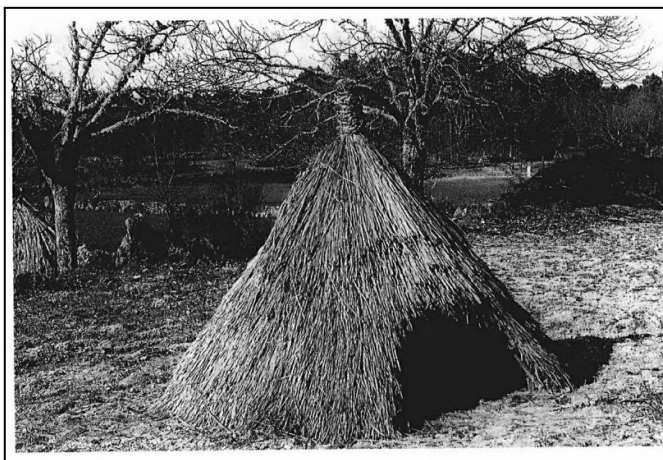
2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

Os próximos tópicos abordados descrevem a revisão bibliográfica deste trabalho. Apresenta-se a utilização da madeira como método construtivo, os tipos de madeiras, madeiras de florestas plantadas e, características físicas e mecânicas da madeira.

2.1 Utilização da madeira como material construtivo

Desde a pré-história é comprovada a utilização da madeira em estruturas rústicas de habitação provisória para proteção contra as intempéries, animais selvagens e potenciais inimigos, entende-se por habitação um abrigo onde se acomodam humanos e animais, por ser um material de vasta disponibilidade na maioria das localidades, a madeira não exigia demasiado processamento fabril para alcançar uma performance aceitável (OLIVEIRA et al. 1969).

Figura 1 - Abrigo vegetal pré-histórico



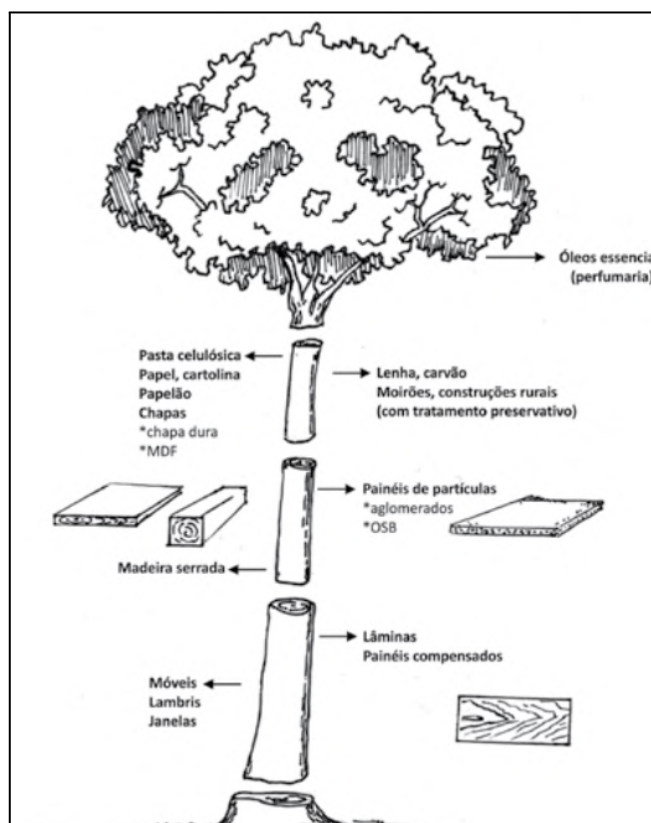
Fonte: (Oliveira et al. 1969, Figura 41).

A partir do método primitivo de construção, o processamento da madeira tornou-se fundamental no emprego em construções, pelas diversas formas de aplicação. O Brasil, apesar de possuir um potencial florestal expressivo, ainda possui um gargalo significativo na utilização da madeira como material principal da

estrutura (exceto em estruturas de coberturas), contudo, é coadjuvante nos sistemas construtivos atuais.

A madeira estrutural é retirada do tronco da árvore, como visto na Figura 2, que é um elemento que proporciona rigidez, resistência mecânica e altura para sustentar a copa. O tronco suporta cargas devido à ação da gravidade e do vento sobre a árvore e realiza o transporte de água e minerais das raízes até a copa. A raiz atua como fundação da árvore e capta minerais e água que são transferidas pelo tronco. A copa é composta por galhos e ramos que sustentam as folhas que realizam as reações químicas para a formação de açúcar e celulose, promovendo o crescimento da árvore, conforme afirmam Porteus e Kermani (2013).

Figura 2 - Utilização do eucalipto plantado



Fonte: (PENTEADO JUNIOR, Joel. 2014).

A técnica de engenharia em madeiras foi aperfeiçoada, o que possibilitou a sua utilização em quase todos os tipos de construção, de maneira que pode-se substituir materiais de fontes extrativistas, que não podem ser recuperadas

a curto prazo, como o concreto e o aço, conservando as características estruturais de projeto e agilizando o processo de pré-fabricação por ser moldável com facilidade. Demarzo et al. (2017) demonstra no Quadro 1 a diferença do consumo de energia na produção dos materiais, onde verifica-se resultados superiores da madeira no consumo energético, emissão de gás carbônico na atmosfera, poluição do ar, geração de resíduos sólidos e impacto ambiental.

Quadro 1 - Comparação entre a madeira, aço e concreto

Material	Consumo de Energia	Emissão de CO²	Poluição do ar	Resíduos Sólidos	Impacto Ambiental
Madeira	X	X	X	X	X
Aço	2,40 X	1,45 X	1,42 X	1,36 X	1,16 X
Concreto	1,70 X	1,81 X	1,67 X	1,96 X	1,97 X

Fonte: (DEMARZO et al., 2017).

Segundo Petersen (2002) foi analisada a comparação do uso de energia, as emissões de gases de efeito estufa e os custos de peças estruturais de coberturas em construções, onde revelaram que a fabricação de vigas de aço requerem duas a três vezes mais energia e de seis a doze vezes mais combustíveis fósseis em comparação com a fabricação de vigas de MLC (Madeira Laminada Colada). Essa conclusão destaca a diferença significativa no consumo de energia e recursos entre os dois materiais, mostrando uma vantagem ambiental e econômica no uso de peças estruturais para telhados em MLC.

2.2 Tipos de Madeiras

Para Porteus e Kermani (2013), as espécies de árvores de madeiras são divididas em dois tipos: madeiras macias (*softwoods*) e madeiras duras (*hardwoods*). Essa terminologia refere-se à origem botânica da madeira e não tem relação direta com a maciez ou dureza real da madeira, pois é possível encontrar exemplos de madeiras duras fisicamente mais macias, como a balsa da América do Sul e o wawa

da África, em contrapartida também ocorre o inverso, madeiras macias fisicamente mais duras, como as espécies de pinheiros resinados.

2.2.1 Madeiras macias (*softwoods*)

Porteus e Kermani (2013) definem que as madeiras macias são caracterizadas por possuírem as sementes nuas, sem frutos no entorno, e por serem árvores em formato de cone, geralmente perenes, com folhas em formato de agulha (coníferas), compostas por células únicas chamadas traqueídes, desempenham funções de condução e suporte. Possuem taxas de crescimento rápidas, as árvores podem ser cortadas com 30 anos de idade, o que resulta em madeiras de baixa densidade e baixa resistência e geralmente apresentam baixa durabilidade (se não tratadas com produtos preservativos). Exemplos de madeiras macias cultivadas no Brasil incluem as espécies *Pinus taeda*, *Pinus elliottii*, *Pinus caribaea var. hondurensis*, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumanii*.

A maior parte das florestas plantadas de madeiras macias localizam-se na região sul do país, em 2014 os plantios de *Pinus* abrangiam uma área estimada em 1,59 milhão de ha, concentrados, principalmente, nos estados do Paraná e Santa Catarina de acordo com a EMBRAPA (2020).

2.2.2 Madeiras duras (*hardwoods*)

Segundo Porteus e Kermani (2013), as madeiras duras são provenientes de espécies de folhas largas caducifólias, que tendem a perder suas folhas no final da estação de crescimento. Possuem estrutura celular mais complexa do que as madeiras macias, com células de parede espessa que fornecem suporte estrutural, chamadas de fibras, e células de parede fina que proporcionam a condução de nutrientes para a árvore, chamadas de vasos. A demanda por seiva é alta, já que há a necessidade de crescer novas folhas a cada ciclo de um ano, e em alguns casos podem ser formados vasos maiores na madeira da estação de crescimento inicial, resultando em madeiras porosas-aneladas. Quando não há um período de crescimento definido, os poros formados pelo aumento dos vasos tendem a ser distribuídos de maneira uniforme resultam em madeiras porosas-difusas. Exemplos

de madeiras duras cultivadas no Brasil abrangem as espécies do mogno africano (*Khaya* spp.) (RIBEIRO, Andressa et al., 2017), *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus viminalis*, híbrido de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, e *Eucalyptus dunnii*, segundo a EMBRAPA (2019).

As madeiras duras têm um crescimento mais lento, se comparado às árvores das espécies coníferas (*softwoods*), porém possui alta densidade e resistência, em alguns casos necessita de mais de 100 anos para estar apta para o corte, além de serem mais onerosas. A dependência de tratamentos preservativos, para fins de durabilidade, é menor que nos casos de madeiras macias.

2.3 Madeiras de florestas plantadas

A medida que as leis contra crimes ambientais foram sendo sancionadas, como a Lei nº 9.605 (Lei de Crimes Ambientais), a fim de controlar a exploração predatória das madeiras de lei, a indústria madeireira do Brasil migrou para espécies plantadas de curto prazo, em suma, para eucaliptos e pinheiros, cujo objetivo principal é manter um ciclo produtivo contínuo sem comprometer o meio-ambiente, conservando as características físicas e mecânicas similares das que as madeiras de lei oferecem. O setor da construção civil tem apostado em madeiras originárias de reflorestamentos, como os gêneros florestais do *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp. (VALVERDE et al., 2004)

Segundo o Instituto Brasileiro de Árvores (IBÁ..., 2021), devido a demanda por produtos oriundos das indústrias florestais, como produtos utilizados por profissionais da área da saúde, houve um crescimento significativo de 17,6% no valor bruto da produção do setor de árvores cultivadas no Brasil, estimada em 2020 em comparação com o ano de 2019, este aumento retrata a importância do setor florestal e sua contribuição para a economia, atendendo a demanda durante a pandemia da COVID-19.

Conforme Dias (2018) as madeiras de reflorestamento geralmente são mais macias, o que as tornam mais suscetíveis a ataques de fungos, bactérias e principalmente insetos, por isso, ao utilizar a madeira na construção civil, deve-se atentar à proteção do material contra organismos xilófagos, garantindo durabilidade, há a necessidade de ter cautela na utilização da madeira no Brasil, por ser um país

tropical, está suscetível à troca constante de umidade na madeira, promovendo o aparecimento destes organismos que se alimentam de madeira. As madeiras engenheiradas são formadas por definição em: corte, eliminação de defeitos, alinhamento de fibras, partículas, lâminas ou tábuas unidas através de adesivos, pregos, parafusos, cavilhas ou outro método de união.

As florestas brasileiras possuem um potencial significativo, e o setor florestal desempenha um papel crucial para o país. Essa importância pode resultar em melhorias nos indicadores macroeconômicos, tais como o bem-estar social, a geração de empregos, o aumento da renda e a arrecadação de impostos. As florestas e o setor florestal podem ser estratégicos para impulsionar o desenvolvimento socioeconômico do Brasil (CARVALHO et al., 2003).

Segundo Marina Stygar Lopes (2019), a resistência da utilização da madeira na construção civil pode ser atribuída ao preconceito ou achismos que casas construídas com madeira são mais frágeis se comparadas às construídas em alvenaria. Isso sugere a falta de conhecimento sobre as propriedades e características da madeira como material de construção, que quando utilizada corretamente, acarreta num alto índice de resistência, durabilidade e capacidade de suportar as cargas estruturais, além disso, essa percepção incorreta se deve à falta de profissionais formados e qualificadas para desenvolver e trabalhar com este sistema construtivo. A ausência de conhecimento técnico e habilidades específicas com a madeira pode resultar na insegurança entre os profissionais e a população em geral, o que dificulta a aceitação e a implementação da técnica em edificações.

Figura 3 - Sistema silvipastoril com *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*



Fonte: (RIBASKI, Jorge. 2018).

2.3.1 Gênero *Pinus spp.*

Para Shimizu (2005) as primeiras mudas das espécies de *Pinus* foram trazidas pelos imigrantes europeus para o Brasil em 1880, nativas das Ilhas Canárias e plantadas no estado do Rio Grande do Sul para fins ornamentais e produção de madeira.

Shimizu (2005) também afirma que no Brasil, espécies do gênero *Pinus* são empregadas em programas de reflorestamento, já que a evolução e crescimento destes tipos de árvores ocorrem de forma rápida. Para fins industriais, a madeira de *Pinus* geralmente é cortada por meio de cortes rasos ou parciais com rotatividade de 5 a 8 anos. A madeira provinda das espécies de *Pinus* são aplicadas em diversos tipos de estruturas, como a fabricação de laminados, compensados, chapas de fibras, chapas de partículas, além de ser um insumo importante na produção de celulose e papel. Pode ser fonte de extração de resina, também possui a aplicação como proteção contra ventos, auxiliando na preservação de áreas sensíveis. As espécies que se destacam na silvicultura brasileira são o *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, pela facilidade na manutenção da cultura e pela reprodução intensa.

Andrioni (2019) estudou a espécie *Pinus elliottii* e constatou que a madeira proveniente desta espécie geralmente é utilizada na construção civil em ripas, partes secundárias de estruturas, guarnições, rodapés, forros, chapas compensadas, lambris, formas temporárias para concreto, pontaletes e andaimes. Os ensaios de densidade realizados por Andrioni (2019) resultaram em uma densidade básica média de 427,66 kg/m³, a partir de 15 corpos-de-prova analisados.

Figura 4 - Plantio de *Pinus spp.* com 8 anos de idade



Fonte: (PICHELLI, Katia. 2023).

2.3.2 Espécie híbrida de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis* (urograndis)

Desenvolvido no Brasil, o híbrido entre o cruzamento das espécies *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis* (urograndis) teve seu primeiro plantio no estado do Espírito Santo em 1979. Na década de 1990 estendeu-se a implantação florestal da espécie (LOPES, 2008).

Em um estudo realizado por Costa (2011) observou-se que plantas da espécie *Eucalyptus urophylla* possuem resistência ao déficit hídrico e rusticidade, características importantes para hibridação com o *Eucalyptus grandis*, este com desenvolvimento silvicultural favorável. O *Eucalyptus urograndis* possui características com maior produtividade e adaptação às diferentes localidades florestais, além disso sua madeira tem maior densidade em relação às espécies de origem e é um dos clones mais plantados em reflorestamentos no Brasil, devido a vasta capacidade de produção da celulose, exemplares desta espécie podem ser vistos na Figura 5. Uma das propriedades físicas do *Eucalyptus urograndis* é a densidade básica, que varia de 0,48 a 0,60 g/cm³, de acordo com Souza (2008).

Figura 5 - Floresta plantada de *E. urograndis*, *E. grandis* e *E. urophylla*



Fonte: (Woodbroker..., 2016).

2.3.2.1 Espécie *Eucalyptus urophylla*

De acordo com Scanavaca Junior (2001), a espécie *Eucalyptus urophylla* é uma das espécies mais amplamente cultivadas no Brasil. Isso se deve, em parte, à sua tolerância ao fungo *Cryphonectria cubensis*, o que a torna uma opção resistente a doenças como o cancro do eucalipto e a adequação para regiões tropicais úmidas, onde o seu crescimento é favorecido. O *Eucalyptus urophylla* demonstra alta plasticidade de adaptação, o que significa que é capaz de se ajustar a diferentes condições climáticas e ambientais, essa flexibilidade adaptativa é uma vantagem significativa no que se refere ao cultivo da espécie em várias localidades do país. A utilização do *Eucalyptus urophylla* é ampla, a madeira proveniente desta espécie tem aplicações em vários tipos de produção, incluindo serraria, produção de móveis e construção civil.

2.3.2.2 Espécie *Eucalyptus grandis*

Devido às características silviculturais e adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas, o *Eucalyptus grandis* é uma das espécies mais amplamente cultivadas no Brasil, o que resulta em rendimentos volumétricos significativos (MIRANDA, 2012).

Em um estudo de Simula e Tissari (1998), destacam a valorização da espécie *Eucalyptus grandis* na indústria de móveis, por ser uma madeira de fácil trabalhabilidade com os processos de beneficiamento da madeira. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1997) sugere que esta madeira pode ser utilizada na construção civil, por apresentar boas características de aplainamento, lixamento, torneamento, furação e acabamento em estruturas de coberturas, ripas, cordões, guarnições, rodapés, forros, lambris, pontaletes, andaimes, tábuas, tacos e parquetes.

Segundo Soares et al. (2003), a utilização da madeira proveniente da espécie *Eucalyptus grandis* é vasta e abrange várias aplicações, dentre elas a produção de celulose e papel, painéis de fibra e aglomerado, combustível industrial, doméstico e de serraria.

2.4 Características Físicas da Madeira

É importante compreender as características físicas da madeira ao trabalhar com este material em suas diversas aplicações, principalmente quando se trata de estruturas de madeira aplicadas em construções. Entre as principais propriedades físicas da madeira, estão a massa específica (massa por volume) ou densidade e a estabilidade dimensional (contração e inchamento em função do teor de umidade) (ARAÚJO, 2002).

2.4.1 Densidade da Madeira

A densidade refere-se à quantidade de massa de madeira contida em uma determinada quantidade de volume, portanto descreve a compactação dos materiais lenhosos. A variação da densidade depende da espécie e do teor de umidade da madeira.

Segundo Faherty e Williamson (1999), a densidade da madeira é determinada principalmente por dois fatores, a quantidade de substância da madeira por unidade de volume e o teor de umidade. Outros fatores, como o teor de extratos e minerais, têm efeitos menores na densidade. A densidade da madeira, excluindo a água, varia muito entre as espécies. Tipicamente, a densidade varia na faixa de 20 a 45 lbm/ft³ (320 a 720 kg/m³). A faixa se estende de aproximadamente 10 lbm/ft³ (160 kg/m³) para a madeira balsa (*Ochroma pyramidale*) até mais de 65 lbm/ft³ (1040 kg/m³) para algumas espécies tropicais.

Em geral, a madeira é leve em comparação com outros materiais de construção, o que facilita o transporte e manuseio.

2.4.2 Umidade da Madeira

Forest Products Laboratory (2010) relata que muitas das propriedades físicas e mecânicas da madeira dependem diretamente do teor de umidade. O contato com a água líquida pode induzir mudanças no teor de umidade da madeira, em alguns casos elevando o teor de umidade acima da saturação das fibras, diferentemente da exposição ao vapor de água, que não tem capacidade de elevar o teor de umidade acima da saturação das fibras. O mecanismo de absorção da água é chamado de

ação capilar, onde a água interage com a parede celular da madeira formando um menisco côncavo nos lúmens celulares, a combinação desta interação com a tensão superficial entre a água e o ar cria uma pressão que absorve a água pelos lúmens.

A taxa de absorção da água na madeira depende da direção das fibras, sendo mais rápida na direção longitudinal e mais lenta na seção transversal. A madeira verde é definida como a madeira recentemente serrada, onde as paredes celulares estão completamente saturadas de água. O teor de umidade da madeira verde pode variar cerca de 31% a 249% no cerne e de 40% a 213% no alburno (FOREST PRODUCTS LABORATORY..., 2010).

Segundo a NBR 7190-1/2022, a finalidade de classificar a umidade da madeira é de adequar as propriedades de resistência e rigidez de acordo com as condições ambientais em que as estruturas serão expostas. Estas classes são úteis na seleção de métodos de tratamento preservativo da madeira e garantem que as peças sejam devidamente tratadas e protegidas, considerando as condições de umidade de exposição, o que contribui para a durabilidade e desempenho adequado durante sua vida útil. As classes de umidade podem ser verificadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Classes de umidade

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

Fonte: (ABNT NBR 7190-1/2022).

2.5 Características Mecânicas da Madeira

MORESCHI (2012) define que a capacidade de suporte de uma peça de madeira é significativamente influenciada pela direção em que a carga é aplicada em relação às fibras ou traqueídes, bem como pela duração da carga, massa específica,

teor de umidade e temperatura da madeira, fatores que são essenciais para determinar a resistência e desempenho da madeira quando submetida a esforços mecânicos.

Pfeil, W. e Pfeil M. (2003) salientam que as propriedades mecânicas da madeira são influenciadas principalmente pela posição da árvore em que a amostra foi retirada, a umidade no momento do ensaio, o tempo de duração do carregamento e a composição da estrutura da madeira.

2.5.1 Elasticidade

MORESCHI (2012) afirma que a elasticidade é uma propriedade mecânica da madeira que, quando submetida a esforços, tem a capacidade de retornar a forma inicial após a remoção das cargas. Pode-se observar em corpos sólidos a presença da capacidade elástica até o estágio limite proporcional de elasticidade, a partir daí ocorrem deformações plásticas irreversíveis. A umidade da madeira influencia drasticamente na sua elasticidade, é inversamente proporcional a capacidade elástica do teor de umidade, tornando a madeira mais suscetível a deformações plásticas.

Para Scanavaca Junior e Garcia (2004) o módulo de elasticidade e o módulo de ruptura são avaliados em ensaios de flexão estática, porém a mensuração do módulo de elasticidade é crucial na caracterização da madeira, representando a resistência da amostra a um carregamento perpendicular às fibras (eixo de maior momento de inércia).

Segundo Faherty e Williamson (1999) os módulos de elasticidade ao longo dos eixos longitudinal, radial e tangencial da madeira são obtidos por meio de ensaios de compressão, onde as razões elásticas e as constantes elásticas variam entre si dentre as espécies, bem como com o teor de umidade e a gravidade específica. O módulo de elasticidade é determinado a partir de ensaios de flexão do eixo longitudinal, onde inclui um efeito de deflexão por cisalhamento, este efeito pode ser ajustado para determinar os módulos elásticos dos eixos radial e tangencial com base nas razões presentes na Figura 6.

Figura 6 - Razões elásticas para várias espécies com teor de umidade aproximadamente de 12%

Species	E_T/E_L	E_R/E_L	G_{LR}/E_L	G_{LT}/E_L	G_{RT}/E_L
Hardwoods					
Ash, white	0.080	0.125	0.109	0.077	—
Balsa	0.015	0.046	0.054	0.037	0.005
Basswood	0.027	0.066	0.056	0.046	—
Birch, yellow	0.050	0.078	0.074	0.068	0.017
Cherry, black	0.086	0.197	0.147	0.097	—
Cottonwood, eastern	0.047	0.083	0.076	0.052	—
Mahogany, African	0.050	0.111	0.088	0.059	0.021
Mahogany, Honduras	0.064	0.107	0.066	0.086	0.028
Maple, sugar	0.065	0.132	0.111	0.063	—
Maple, red	0.067	0.140	0.133	0.074	—
Oak, red	0.082	0.154	0.089	0.081	—
Oak, white	0.072	0.163	0.086	—	—
Sweetgum	0.050	0.115	0.089	0.061	0.021
Walnut, black	0.056	0.106	0.085	0.062	0.021
Yellow-poplar	0.043	0.092	0.075	0.069	0.011
Softwoods					
Baldcypress	0.039	0.084	0.063	0.054	0.007
Cedar, northern white	0.081	0.183	0.210	0.187	0.015
Cedar, western red	0.055	0.081	0.087	0.086	0.005
Douglas-fir	0.050	0.068	0.064	0.078	0.007
Fir, subalpine	0.039	0.102	0.070	0.058	0.006
Hemlock, western	0.031	0.058	0.038	0.032	0.003
Larch, western	0.065	0.079	0.063	0.069	0.007
Pine					
Loblolly	0.078	0.113	0.082	0.081	0.013
Lodgepole	0.068	0.102	0.049	0.046	0.005
Longleaf	0.055	0.102	0.071	0.060	0.012
Pond	0.041	0.071	0.050	0.045	0.009
Ponderosa	0.083	0.122	0.138	0.115	0.017
Red	0.044	0.088	0.096	0.081	0.011
Slash	0.045	0.074	0.055	0.053	0.010
Sugar	0.087	0.131	0.124	0.113	0.019
Western white	0.038	0.078	0.052	0.048	0.005
Redwood	0.089	0.087	0.066	0.077	0.011
Spruce, Sitka	0.043	0.078	0.064	0.061	0.003
Spruce, Engelmann	0.059	0.128	0.124	0.120	0.010

Fonte: (Forest Products Laboratory..., 2010).

3 METODOLOGIA

Este trabalho de pesquisa consiste na aplicação de verificações e ensaios, regulamentados pela norma ABNT NBR 7190-2/2022, que define os métodos de ensaio para classificação visual e mecânica de peças estruturais de madeira de dimensões máximas de 300 mm para a maior dimensão e 60 mm para a menor dimensão.

A primeira etapa consistiu na classificação visual, com averiguação de cada peça do lote, em suas bordas e faces, por pessoa qualificada e treinada constatando e aferindo os defeitos descritos na seção 3.2. Todos os defeitos visuais foram passíveis de medição e foram considerados na classificação visual.

Na segunda etapa definiu-se a classificação mecânica e é determinada pelo módulo de elasticidade, onde foi obtido pelo ensaio de flexão perpendicular às fibras e ensaio de densidade da madeira.

Após a classificação visual e mecânica, foi realizada a comparação dos resultados e a classe da madeira definiu-se pela menor dentre as duas, prezando pela segurança. A associação da classificação visual e classificação mecânica resulta em uma classificação estrutural das peças avaliadas, atribuem-se assim as propriedades de resistência característica à flexão, à compressão paralela às fibras e ao cisalhamento.

3.1 Materiais e equipamentos

Os materiais e equipamentos utilizados neste trabalho foram identificados e listados nos tópicos a seguir.

3.1.1 Materiais

Neste trabalho ensaiaram-se amostras dos seguintes materiais:

- 40 Caibros de madeira não aplainados de dimensões 5 x 5 x 100 cm da espécie de *Pinus elliottii* para a classificação visual e mecânica (ensaio de flexão);

- 40 Peças de madeira não aplainadas de dimensões 5 x 5 x 5 cm da espécie de *Pinus elliottii* para o ensaio de densidade.

As amostras foram selecionadas aleatoriamente de um lote em uma madeireira local no município de Alegrete-RS.

3.1.2 Equipamentos

Utilizou-se os seguintes equipamentos do Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção (LEMAC) nas dependências da Unipampa - Campus Alegrete, durante os ensaios:

- Máquina modelo EMIC 23-200, marca INSTRON/EMIC com capacidade de carregamento de 200 kN (Figura 7);
- Unidade de carga, modelo PW-1 LOADING UNIT, marca INSTRON (Figura 8);
- Fixador para ensaio de flexão de três pontos previamente ajustado para as dimensões das amostras (Figura 9);
- Adaptador com terminais de rosca tipo macho;
- Termo-higrômetro digital com sensor interno e externo, modelo HT-750, marca Instrutherm (Figura 10);
- Estufa para secagem, tipo A5 DIG, marca De Leo, para secagem das amostras saturadas do ensaio de densidade (Figura 11);
- Balança de precisão, marca Marte, modelo AD5002 (Figura 12);
- Paquímetro digital, marca Digimess, para aferição das dimensões da amostra e defeitos para a classificação visual (Figura 13);
- Serra de esquadria de 12 polegadas com braço telescópico, modelo DWS780-B2, marca DeWALT (Figura 14).

Todos os equipamentos e ferramentas do LEMAC encontram-se em pleno funcionamento e aptos para a realização dos ensaios do presente trabalho.

Figura 7 - Máquina modelo EMIC 23-200, marca INSTRON/EMIC com capacidade de carregamento de 200kN



Fonte: (Do autor).

Figura 8 - Unidade de carga, modelo PW-1 LOADING UNIT, marca INSTRON



Fonte: (Do autor).

Figura 9 - Fixador para ensaio de flexão de três pontos



Fonte: (Do autor).

Figura 10 - Termo-higrômetro digital



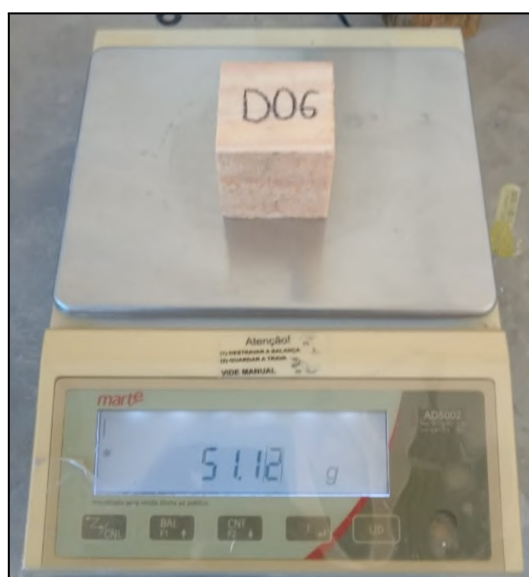
Fonte: (Do autor).

Figura 11 - Estufa para secagem, tipo A5 DIG, marca De Leo



Fonte: (Do autor).

Figura 12 - Balança de precisão



Fonte: (Do autor).

Figura 13 - Paquímetro digital



Fonte: (Do autor).

Figura 14 - Serra de esquadria



Fonte: (Do autor).

3.2 Classificação Visual

A classificação visual é executada, em suma, por averiguação das faces de cada peça do lote, onde verifica-se a presença de defeitos e desconsidera-se as peças com ocorrência de defeitos específicos nas extremidades.

Em casos de amostras que passam pelo processo de aplainamento, deve-se considerar, previamente, a redução máxima das dimensões das faces aplainadas das peças, definidas pelo Quadro 3.

Quadro 3 - Redução máxima da dimensão da face com aplainamento

Dimensão da face	Até 49 mm	De 50 mm até 150 mm	Acima de 150 mm
Redução máxima	4 mm	5 mm	6 mm

Fonte: (ABNT NBR 7190-2/2022).

Neste estudo não foram utilizadas peças com faces aplainadas, aumentando a probabilidade de identificar maior ocorrência de falhas nas amostras, enriquecendo o estudo e reduzindo o custo total dos ensaios sem comprometer os resultados.

As amostras devem ser submetidas a nova classificação visual quando forem seccionadas em peças menores, já que podem apresentar defeitos nos novos planos de corte.

Ao final da classificação visual, as amostras de madeira de florestas plantadas são desprezadas ou definidas em Classe 1, Classe 2 ou Classe 3, com o auxílio dos Quadros 4, 5, 6 e 7 deste trabalho.

3.2.1 Nós

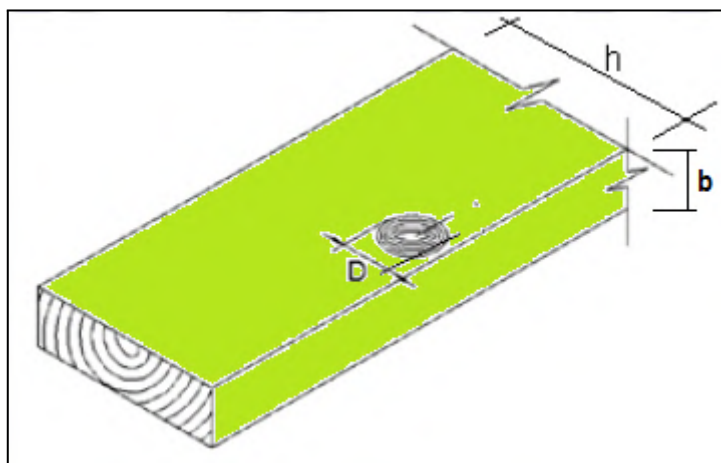
Nós são partes da base do prolongamento de ramos ou galhos do lenho da árvore, com a direção das fibras diferentes das que a circundam, os tipos de nós em madeiras são:

- nó cariado: presença de deterioração por agente biológico ou mecânico;
- nó de gravata: dois nós agrupados de forma alongada convergindo para o mesmo ponto;
- nó de quina: presente nas bordas, quando o nó transpassa duas faces perpendiculares entre si;

- nó firme: o nó permanece fixado ao lenho e não apresenta degradação, este é o principal tipo de nó para a avaliação nesta classificação, assim como os nós de quina, a presença dos demais tipos de nós não são admitidos;
- nó solto: não se mantém preso à madeira no processo de secagem.

Nesta seção serão considerados somente os nós firmes, desprezando amostras com nós cariados, soltos e vazados. Todas as faces serão analisadas, exceto os topos, considerando o nó com diâmetro (D) de maior porcentagem da largura (h) ou espessura (b) da borda da peça, na direção perpendicular ao eixo da peça, conforme a Figura 15.

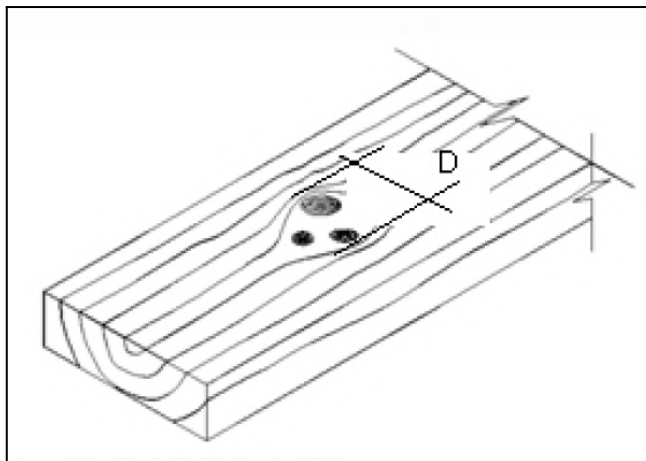
Figura 15 - Medição de um nó na face



Fonte: (Adaptado da NBR 7190/2022).

Define-se como conjunto de nós, um aglomerado de nós localizados na mesma fibra, aferido pelos limites das bordas dos nós das extremidades (D), conforme indicado na Figura 16.

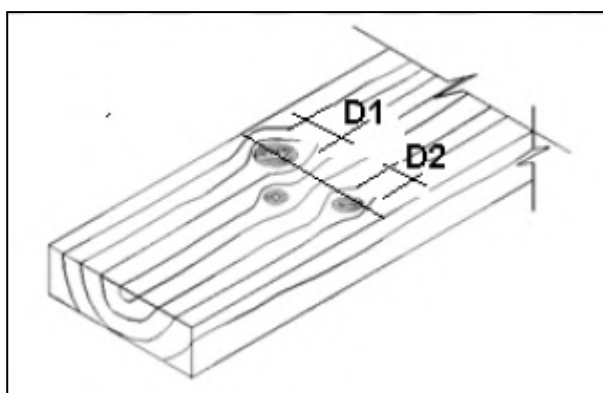
Figura 16 - Conjunto de nós



Fonte: (NBR 7190/2022).

Em nós presentes em fibras diferentes, porém com o centro no mesmo sentido transversal à amostra, os diâmetros dos nós D1 e D2 são somados individualmente, resultando em um diâmetro total, como apresentado na Figura 17.

Figura 17 - Nós individuais próximos, com ocorrência de dois destes na mesma seção transversal



Fonte: (NBR 7190/2022).

A classificação dos nós é definida da seguinte forma, na proporção do diâmetro do nó, de acordo com a espécie, assim como a largura e espessura da peça:

Pinus spp:

- Para nós na face: Classe 1 $\leq \frac{1}{4}$ (25%), Classe 2 $\leq \frac{1}{3}$ (33,33%) e Classe 3 $\leq \frac{1}{2}$ (50%);
- Para nós na borda: Classe 1 $\leq \frac{1}{5}$ (20%), Classe 2 $\leq \frac{1}{4}$ (25%) e Classe 3 $\leq \frac{1}{3}$ (33,33%).

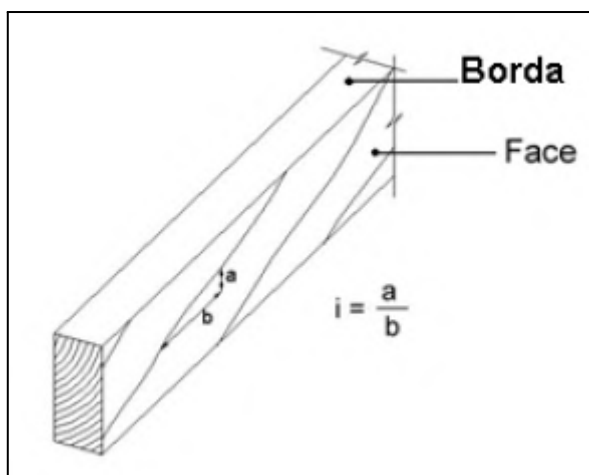
Eucalyptus urophylla e *Eucalyptus grandis* (urograndis):

- Para nós na face: Classe 1 $\leq \frac{1}{5}$ (20%), Classe 2 $\leq \frac{1}{3}$ (33,33%) e Classe 3 $\leq \frac{1}{2}$ (50%);
- Para nós na borda: Classe 1 $\leq \frac{1}{5}$ (20%), Classe 2 $\leq \frac{1}{3}$ (33,33%) e Classe 3 $\leq \frac{1}{2}$ (50%).

3.2.2 Inclinação das fibras

A inclinação das fibras (i) deve ser analisada no sentido longitudinal das amostras, verificando a correlação de inclinação entre a base (b) e altura (a) (Figura 18).

Figura 18 - Medição da inclinação das fibras da madeira na face de uma peça



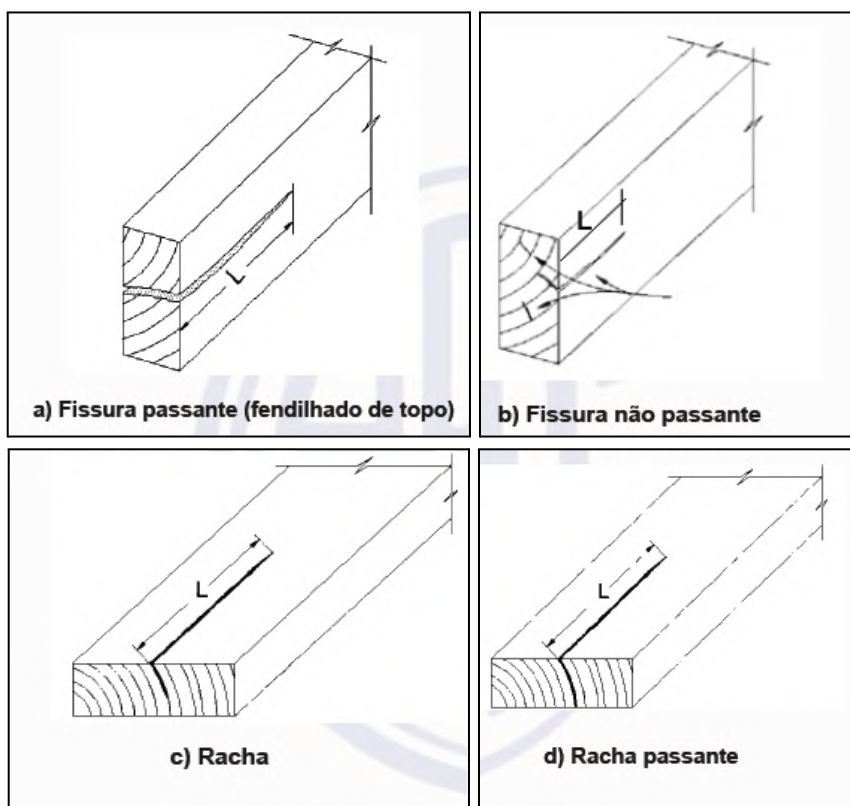
Fonte: (NBR 7190/2022).

A classificação visual das fibras é estabelecida a partir da proporção entre base (b) e altura (a) seguindo as seguintes condições: Classe 1 $\leq 1:9$ mm/mm, Classe 2 $\leq 1:6$ mm/mm e Classe 3 $\leq 1:3$ mm/mm.

3.2.3 Fissuras

As fissuras podem ser classificadas em fendilhado (ortogonal às fibras do lenho) e rachas (paralela às fibras do lenho), passantes ou não passantes, ocorrem geralmente nas bordas das peças como representadas na Figura 19.

Figura 19 - Medição do comprimento de fissuras



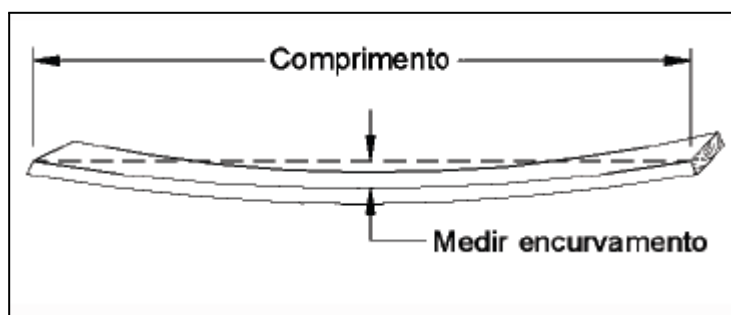
Fonte: (NBR 7190/2022).

A dimensão (L) deve ser aferida no sentido longitudinal da amostra. Se o comprimento (L) da fissura não passante for maior que 1,0 m ou maior que $\frac{1}{4}$ (25%) do comprimento da peça e/ou houver a presença de fissura passante na parte média da peça, salvo as bordas, e/ou a fissura passante for maior que a largura da peça, a amostra não poderá ser classificada visualmente.

3.2.4 Encurvamento

O encurvamento é mensurado a partir do ponto que une a linha da reta das duas extremidades (das faces de maior dimensão) até o ponto mais curvado na face comprimida da peça, conforme a Figura 20.

Figura 20 - Medição do encurvamento



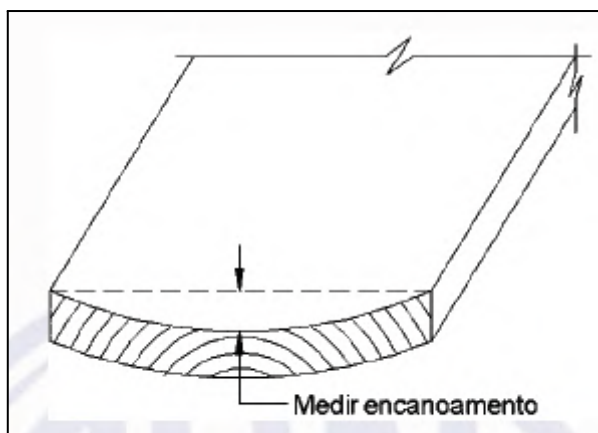
Fonte: (NBR 7190/2022).

As amostras com encurvamento maior que 8 mm para cada 3 m de comprimento deverão ser desprezadas. Considerando a mesma proporção, neste estudo o limite para encurvamento foi definido em 2,67 mm, já que as amostras possuem 1 metro de comprimento.

3.2.5 Encanoamento

O encanoamento ocorre no sentido oposto do encurvamento e é mensurado a partir do ponto que une a linha da reta das duas bordas transversais da peça até o ponto mais curvado na face comprimida da peça, conforme a Figura 21. Não há restrições definidas para amostras com encanoamento.

Figura 21 - Medição do encanoamento

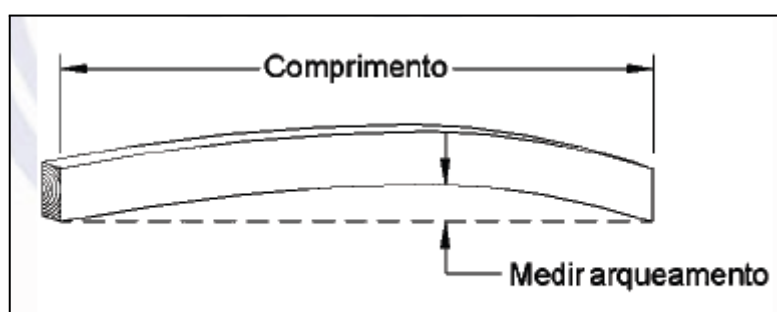


Fonte: (NBR 7190/2022).

3.2.6 Arqueamento

O arqueamento é mensurado a partir do ponto que une a linha da reta das duas extremidades (das faces de menor dimensão) até o ponto mais curvado na face comprimida da peça, conforme a Figura 22.

Figura 22 - Medição do arqueamento



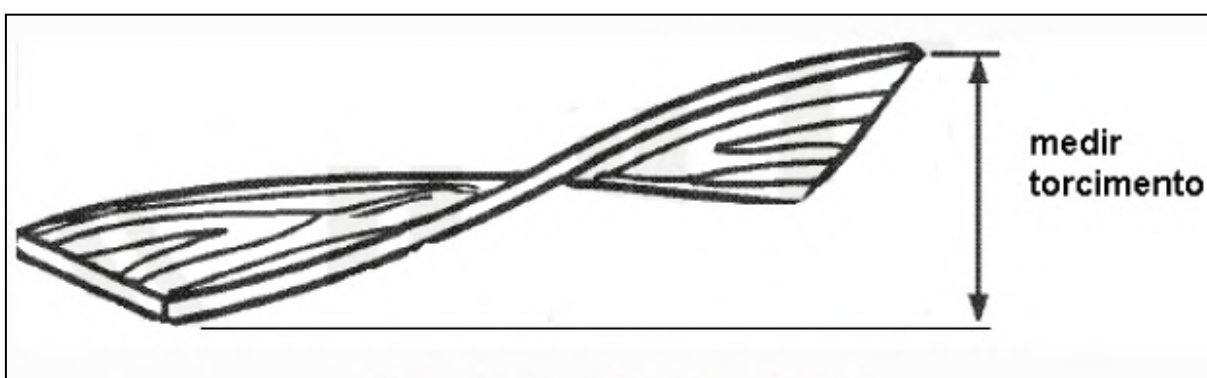
Fonte: (NBR 7190/2022).

O arqueamento é limitado em até 3 mm para cada 2 m de comprimento, peças que ultrapassem este limite não serão admitidas. Neste estudo o limite de arqueamento foi definido em 1,5 mm para as peças de 1 metro de comprimento.

3.2.7 Torcimento

A presença de torcimento é definida pela associação do encurvamento e do arqueamento, ou seja, torção nos eixos de maior e de menor inércia, é medido a partir da reta de uma das bordas na horizontal até o ponto mais alto da amostra, como apresentado na Figura 23.

Figura 23 - Medição do torcimento



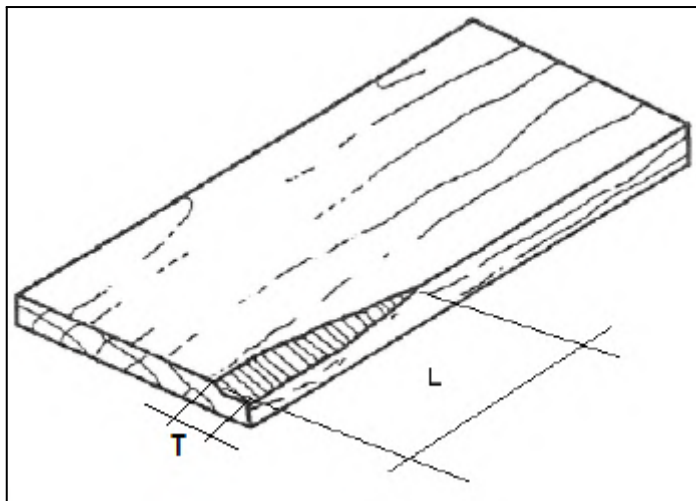
Fonte: (NBR 7190/2022).

O torcimento máximo é limitado em 5 mm para cada 1 m de comprimento, peças que excederem o torcimento máximo não poderão ser classificadas.

3.2.8 Esmoado

A definição de esmoado se dá quando constata-se a falta de matéria lenhosa nas quinas de uma unidade de madeira beneficiada e é aferido pelo comprimento (L), no sentido longitudinal e largura (T), no sentido transversal da amostra, representado pela Figura 24.

Figura 24 - Medição do esmoado



Fonte: (Adaptada da NBR 7190/2022).

Não há restrição para o comprimento (L), apenas para a largura transversal (T) que deverá ser menor que $\frac{1}{4}$ (25%) da espessura ou largura da peça, peças que não obedecerem este limite devem ser desconsideradas.

3.2.9 Outros defeitos

A presença de medula não é admitida, pela menor resistência mecânica e ao ataque de fungos e insetos em relação ao cerne, exceto quando a peça for empregada em sistemas de madeiras engenheiradas com redundância estrutural e validado o processo de tratamento profilático contra fungos (utilização de fungicidas) e/ou contra insetos xilófagos (utilização de inseticida), e secagem da madeira (ao ar livre ou em estufas).

Os ataques biológicos não serão admitidos em casos de constatação de apodrecimento, causado por fungos apodrecedores, afetando profundamente as propriedades físicas e mecânicas da madeira. Segundo Carlile (1996) os fungos causadores de podridão branca tem maior ocorrência em tecidos mais duros de angiospermas, enquanto fungos de podridão marrom afetam partes mais macias das coníferas.

Estudos realizados por Schirp et al. (2003) afirmam que fungos do azulamento presentes em espécies de Pinus não possuem impacto nas propriedades físicas e mecânicas da madeira, mas resultam em alteração

cromogênica, o que afeta o valor econômico do material. A presença de fungos cromógenos, que alteram somente a coloração da madeira sem afetar as propriedades físicas e mecânicas, serão admitidos na classificação visual.

3.2.10 Definição da classificação visual

Com o auxílio dos quadros 4, 5, 6 e 7 pode-se considerar as peças a se descartar, já que não atendem aos critérios da norma e prosseguir com a definição da classe visual.

Quadro 4 - Conferência para pré-classificação visual para *Pinus spp.*

Defeito	Parâmetros	
Medula	Presença	
Podridão	Presença	
Orifício causado por Inseto (mm)	Diâmetro < 2 mm	
Fissura não passante (m)	L > 1,0 m ou ¼ da peça	
Fissura passante (m)	L < b	
Encurvamento (mm)	< 8 mm / 3 m	
Arqueamento (mm)	< 3 mm / 2 m	
Torcimento (mm/m)	< 5 mm / 1 m	
Esmoado (mm/mm)	< ¼ mm de b	
Ataque biológico	Presença	
Dano mecânico	Presença	
Bolsa de resina	Presença	

Fonte: (Do autor).

Quadro 5 - Conferência para classificação visual para *Pinus spp.*

Defeito	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe definida
Nós na face	$D \leq \frac{1}{4} b$	$D \leq \frac{1}{3} b$	$D \leq \frac{1}{2} b$	
Nós na borda	$D \leq \frac{1}{5} b$	$D \leq \frac{1}{4} b$	$D \leq \frac{1}{3} b$	
Inclinação das Fibras	$\leq 1:9$	$\leq 1:6$	$\leq 1:3$	

Fonte: (Do autor).

Quadro 6 - Conferência para pré-classificação visual para o híbrido *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis* (urograndis)

Defeito	Parâmetros	
Medula	Presença	
Podridão	Presença	
Orifício causado por Inseto (mm)	Diâmetro < 2 mm	
Fissura não passante (m)	$L > 1,0$ m ou $\frac{1}{4}$ da peça	
Fissura passante (m)	$L < b$	
Encurvamento (mm)	< 8 mm / 3 m	
Arqueamento (mm)	< 3 mm / 2 m	
Torcimento (mm/m)	< 5 mm / 1 m	
Esmoadado (mm/mm)	< $\frac{1}{4}$ mm de b	
Ataque biológico	Presença	
Dano mecânico	Presença	
Bolsa de resina	Presença	

Fonte: (Do autor).

Quadro 7 - Conferência para classificação visual para para o híbrido *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis* (urograndis)

Defeito	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe definida
Nós na face	$D \leq \frac{1}{5} b$	$D \leq \frac{1}{3} b$	$D \leq \frac{1}{2} b$	
Nós na borda	$D \leq \frac{1}{5} b$	$D \leq \frac{1}{3} b$	$D \leq \frac{1}{2} b$	
Inclinação das Fibras	$\leq 1:12$	$\leq 1:9$	$\leq 1:6$	

Fonte: (Do autor).

3.3 Classificação mecânica

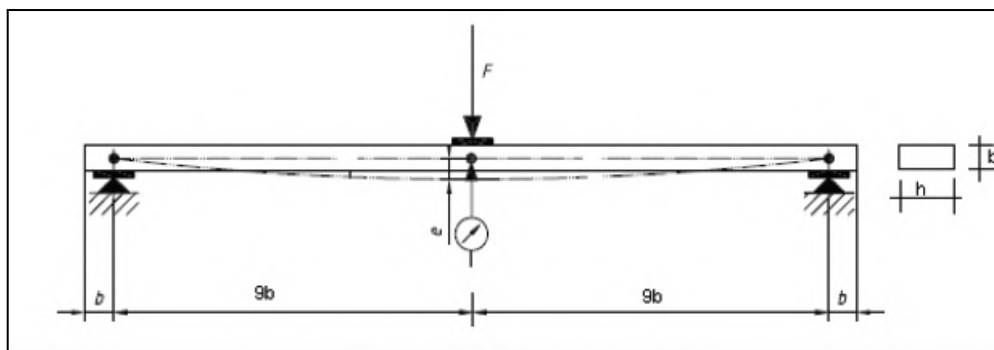
A classificação mecânica é realizada a partir do ensaio não-destrutivo de flexão estática a três pontos (com carga central no meio do vão), com o objetivo de definir o módulo de elasticidade à flexão (E_0) regulamentado pelo item 7 da NBR 7190-2/2022, além do ensaio de densidade regulamentado pelo item 8.1 da ABNT NBR 7190-4/2022, que define uma amostragem mínima de 40 peças para cada série, dimensão e propriedade ensaiados.

3.3.1 Ensaio de flexão

Para todas as peças do lote analisado verifica-se o deslocamento vertical (e) a partir da linha neutra da peça com medidores de deslocamento com precisão de 0,01 mm. O carregamento durante o ensaio de flexão deve ser contínuo com acréscimos de tensão na magnitude de 10 MPa/min. A temperatura e umidade relativa devem ser consistentes no momento do ensaio, 20° C e 65%, respectivamente, a umidade de equilíbrio da madeira deve ser de 12%, aproximadamente.

A posição da peça durante o ensaio deve ter um vão livre de 18 vezes a espessura da amostra (b), com sobra para cada lado dos apoios de 1 vez a espessura da amostra (b). No ensaio referente a este trabalho foram utilizadas amostras de espessura iguais às larguras, com caibros de 5 cm (b) de base por 5 cm (h) de altura, com 1 metro de comprimento ($20b$) cada. A posição e dimensão da peça durante o ensaio é demonstrada pela Figura 25.

Figura 25 - Ensaio à flexão



Fonte: (NBR 7190/2022).

Após a realização do ensaio, determina-se o módulo de elasticidade à flexão estática (E_0) no regime elástico-linear do diagrama Força x Deslocamento, como estabelece a ABNT NBR 7190-2/2022, geralmente verificado no intervalo de 10 % a 40 % da força máxima e é precisado pela equação 1.

$$E_0 = \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{L}{b}\right)^3 \cdot \left(\frac{\Delta F}{\Delta e}\right) \cdot \frac{1}{h} \quad (1)$$

onde:

E_0 (Mpa) - Módulo de elasticidade à flexão estática;

b (mm) - Espessura nominal da peça;

h (mm) - Largura nominal da peça;

L (mm) - Vão de ensaio da peça;

ΔF (N) - Incremento de carga;

Δe (mm) - Incremento de deslocamento.

O resultado deste ensaio de flexão determina a classificação mecânica da madeira em relação ao módulo de elasticidade à flexão estática, conforme Quadros 8 e 9 da seguinte seção (3.3.2).

3.3.2 Densidade

A NBR 7190-4/2022 aponta a densidade como sendo a massa específica convencional da madeira, obtida pela divisão da massa seca pelo volume da

amostra com umidade natural. A massa seca é determinada mantendo os corpos-de-prova em estufa a 103°C até que a massa da amostra, medida em balança de precisão, mantenha-se constante, a massa dos corpos-de-prova devem ser medidas no mínimo, a cada 6 horas até a variação entre duas medidas ser menor ou igual a 0,5% da última massa medida. Podem-se determinar as densidades básicas e aparentes de um lote de madeira, onde as dimensões das amostras são verificadas na Figura 26, há um limite de comprimento que não deve ser menor que a menor largura (b). Serão determinadas a massa (m) e a umidade (U) para cada exemplar do lote de caibros. Deve-se calcular a umidade no momento do ensaio (ρ_{test}) a partir da equação 2.

$$\rho_{test} = \frac{m \times 10^9}{L \times b \times h} \quad (2)$$

onde:

m (kg) - Massa da amostra;

b (mm) - Espessura nominal da peça;

h (mm) - Largura nominal da peça;

L (mm) - Vão de ensaio da peça;

Figura 26 - Corpo-de-prova para determinação da umidade da madeira



Fonte: (Do autor).

A densidade pode ser calculada em relação ao teor de umidade em 12% (ρ_{12}) pela equação 3.

$$\rho_{12} = \rho_{test}(1 - 0,5(U - 0,12)) \quad (3)$$

onde:

U - Teor de umidade durante o ensaio determinado pelo método de secagem em estufa.

Após a determinação da umidade das amostras, pode-se classificar mecanicamente a madeira em relação a densidade, conforme os quadros 3 e 4.

Quadro 8 - Classificação mecânica das classes para *Pinus spp.*

Propriedade	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Densidade (kg/m ³)	≥ 500	≥ 400	≥ 350
E ₀	≥ 11000	≥ 8000	≥ 5000

Fonte: (NBR 7190-2/2022).

Quadro 9 - Classificação mecânica das classes para *E. urophylla* e *E. grandis* (*urograndis*)

Propriedade	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Densidade (kg/m ³)	≥ 700	≥ 600	≥ 500
E ₀	≥ 14000	≥ 13000	≥ 11000

Fonte: (NBR 7190-2/2022).

4 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção apresenta-se a preparação das peças, execução dos ensaios e verificação detalhada da amostragem, assim como a análise dos dados e interpretação das informações obtidas durante o estudo.

4.1 Preparação de amostras

Para a classificação visual e mecânica, foram obtidos aleatoriamente de um lote de madeira da espécie *Pinus elliottii*, oito caibros de 5,5 m de comprimento, com seções de 5 por 5 centímetros, como pode se observar na Figura 27, onde foram fracionados em peças menores de 1 m de comprimento com a utilização da serra de esquadria, espaçadas em 5 cm, cujas peças deste intervalo foram utilizadas no ensaio de densidade, conservando a mesma seção, desprezando 12,5 centímetros de cada extremidade, visto que a NBR 7190-4/2022 permite que as peças sejam cortadas em posições predefinidas, desde que não afetem tendenciosamente os resultados as propriedades analisadas.

Figura 27 - Caibros de 5,5 m de comprimento com 5 x 5 cm de seção



Fonte: (Do autor).

Os corpos de prova destinados à classificação visual são os mesmos submetidos ao ensaio de flexão e foram armazenados, de forma que mantivessem contato com o ar nas superfícies (condicionando uma secagem uniforme) demonstrado na figura 28, em sala com controle de temperatura constante a 20 °C,

consequentemente a umidade relativa do ar manteve-se próxima aos 65%, temperatura e umidade relativa estabelecidas na NBR 7190-4/2022 para o ensaio de flexão em três pontos. As amostras foram denominadas pertencentes ao Lote 01, considerando FXX para classificação visual e ensaio de flexão e DXX para o ensaio de densidade, sendo XX a numeração que representa cada exemplar.

Figura 28 - Armazenamento dos caibros serrados



Fonte: (Do autor).

4.2 Resultados da classificação visual

A partir da preparação das amostras, iniciou-se a classificação visual, observando os critérios estabelecidos na NBR 7190-2/2022. As etapas determinantes para a classificação visual são a análise dos nós e a análise da inclinação das fibras, os demais defeitos não designam a classe, mas conferem parâmetros mínimos que devem ser cumpridos para validar a classificação visual final.

4.2.1 Análise dos nós

Os nós foram analisados nas quatro faces de cada amostra e é uma das principais características determinantes para a classificação visual, a partir da medição do diâmetro do nó ou conjunto de nós em relação à espessura e bordas das faces, de 50 mm, definiu-se a classificação média do lote conforme o quadro 10. Os nós nas faces com diâmetro maior que $\frac{1}{2}$ da base foram desclassificados na análise dos nós, assim como os nós nas bordas com diâmetros maiores que $\frac{1}{3}$ da base. Nos casos em que a amostra possuía nós na face e borda, atribuiu-se a menor entre as classes. Amostras sem nós foram consideradas como classe 1 nesta verificação. Todos os nós analisados estavam firmes, retidos à madeira e sem indicação de deterioração.

Quadro 10 - Classificação visual do Lote 01 de *Pinus elliottii* em relação aos nós (continua)

Amostra	Nó na face (mm)	Nó na borda (mm)	Classe de nós
F01	-	25,82	Desclassificado
F02	-	33,20	Desclassificado
F03	-	3,05	1
F04	18,98	16,15	Desclassificado
F05	-	11,26	2
F06	6,04	-	1
F07	-	-	1
F08	7,43	6,77	1
F09	-	-	1
F10	-	8,80	1
F11	12,77	8,81	2
F12	-	-	1
F13	11,67	13,64	3

Quadro 10 - Classificação visual do Lote 01 de *Pinus elliottii* em relação aos nós (conclusão)

Amostra / Nós (mm)	Na face	Na borda	Classe de nós
F14	12,31	-	1
F15	18,08	17,58	Desclassificado
F16	13,19	-	2
F17	10,85	-	1
F18	17,13	12,83	2
F19	-	20,65	Desclassificado
F20	19,98	-	3
F21	11,68	6,35	1
F22	-	-	1
F23	17,06	-	1
F24	27,26	16,44	Desclassificado
F25	34,52	-	Desclassificado
F26	-	-	1
F27	15,35	-	1
F28	-	-	1
F29	23,13	21,45	Desclassificado
F30	-	48,94	Desclassificado
F31	-	-	1
F32	-	-	1
F33	10,38	-	1
F34	12,74	17,21	Desclassificado
F35	12,68	19,61	Desclassificado
F36	-	-	1
F37	5,13	6,05	1
F38	-	-	1
F39	13,89	14,34	1
F40	-	47,51	Desclassificado
Classificação média			1

Fonte: (Do autor).

Desconsiderando as amostras desclassificadas, que não atendiam os parâmetros para a menor classificação (Classe 3), para esta análise visual a partir da medição dos nós, definiu-se como classe 1. Observou-se que o lote apresentava dez amostras com nós de quina e duas amostras (F30 e F40) com nós de dimensões iguais às espessuras da borda (Figura 29), o que posteriormente impossibilitou o ensaio de flexão em três pontos, já que estes exemplares não resistiram ao peso próprio. Não identificou-se a presença de conjunto de nós, nós cariados, nós de gravata, nós soltos ou nós vazados.

Figura 29 - Nó da amostra F40 com diâmetro igual a espessura da borda

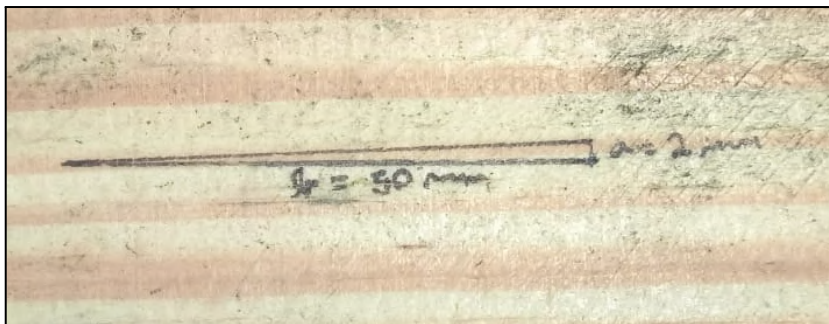


Fonte: (Do autor).

4.2.2 Análise da inclinação das fibras

A inclinação das fibras foi avaliada nas faces de cada uma das quarenta amostras, utilizando paquímetro digital, onde verificou-se que todas as amostras do lote 01 obedeciam os parâmetros da NBR 7190-2/2022 para serem definidas como classe 1 referente à inclinação das fibras, com proporções menores que 1:9, como demonstrado no exemplo da figura 30, com a inclinação expressa em termos de proporção de 1:25.

Figura 30 - Inclinação das fibras da face de peça estrutural de *Pinus elliottii*



Fonte: (Do autor).

4.2.3 Análise das fissuras

Neste estudo não foram constatadas amostras com fissuras de nenhuma categoria, seja passante ou não passante, fendilhado ou racha. Se houvesse a ocorrência de fissuras no lote, seriam admitidas fissuras não passantes de até 250 mm de comprimento e fissuras passantes de 50 mm de comprimento.

4.2.4 Análise do encurvamento

O encurvamento foi analisado em todas as amostras, com paquímetro digital, onde o comprimento máximo admitido para este parâmetro foi de 2,67 mm para 1 metro de comprimento, uma vez que a NBR 7190-2/2022 adota um encurvamento aceitável até 8 mm a cada 3 metros de comprimento. Pode-se identificar apenas na amostra F20 um encurvamento maior que o aceitável, de 3,43 mm verificado na figura 31, o que acarretou na desclassificação desta amostra para classificação visual.

Figura 31 - Encurvamento da amostra F20



Fonte: (Do autor).

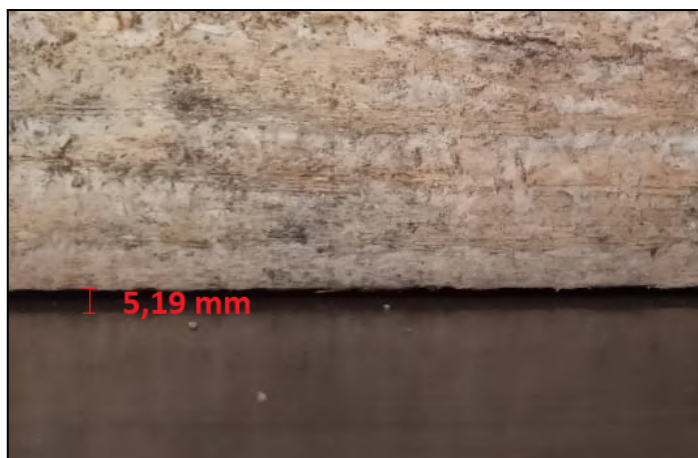
4.2.5 Análise do encanoamento

Não foi verificada a presença de encanoamento em nenhuma amostra analisada, caso fosse identificado, independentemente do resultado da medição, não implicaria no não prosseguimento da classificação visual, mas deveria ser registrado.

4.2.6 Análise do arqueamento

O arqueamento foi analisado da mesma forma que o encurvamento, porém em relação ao eixo com maior inércia. Neste estudo a diferença entre os eixos de maior e menor inércia foi mínima, já que as peças estruturais analisadas possuíam a seção com praticamente a mesma medida dos lados, de aproximadamente 50 mm cada lado. O limite para o arqueamento deste estudo foi estabelecido em 1,50 mm para cada 1,00 m de comprimento da amostra, já que a NBR 7190-2/2022 determina que o limite para arqueamento para peças de madeiras estruturais das espécies de Pinus é de 3,00 mm a cada 2,00 m de comprimento. Das quarenta peças analisadas, foram desclassificadas 19 amostras, por ultrapassarem o limite de 1,50 mm de arqueamento. A peça com o maior arqueamento identificado foi a F09 com 5,19 mm, visto na figura 32.

Figura 32 - Arqueamento da amostra F09



Fonte: (Do autor).

4.2.7 Análise do torcimento

O torcimento não foi observado em nenhuma amostra do lote, caso fosse identificado, teria que obedecer o limite de 5,00 mm a cada 1,00 m de comprimento da peça analisada.

4.2.8 Análise do esmoado

O esmoado foi constatado em sete amostras (F04, F16, F17, F19, F27, F28 e F36), sendo que em uma peça (F36) foi desclassificada para a análise visual, visto na figura 33, pois não cumpriu com o limite estabelecido na NBR 7190-2/2022 de $\frac{1}{4}$ da base da seção transversal, neste caso mediu 13,05 mm, maior que os 12,50 mm de limite para este estudo, já que a base da seção transversal possuía 50,00 mm.

Figura 33 - Esmoado da amostra F36



Fonte: (Do autor).

4.2.9 Análise de outros defeitos

Constatou-se a presença de fungos cromógenos em todas as amostras, como pode observar-se na figura 34. Não verificou-se a presença de fungos apodrecedores, danos mecânicos, bolsas de resina e ataque de insetos xilófagos. Após o término das classificações, visuais e mecânicas, submeteu-se exemplares aleatórios do lote, durante trinta dias, dispostos em câmara úmida, a fim de acelerar o processo de apodrecimento e possível registro da manifestação de fungos apodrecedores, como observados na figura 35.

Figura 34 - Fungo cromógeno em peça estrutural de *Pinus elliottii*



Fonte: (Do autor).

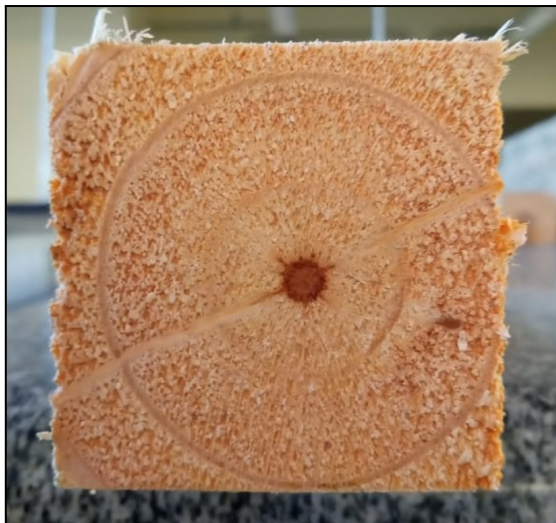
Figura 35 - Fungo apodrecedor em peça estrutural de *Pinus elliottii*



Fonte: (Do autor).

Observou-se a presença de medula, figura 36, em oito amostras (F10, F12, F15, F24, F28, F29, F34 e F39), o que acarreta na desclassificação da análise visual, visto que a NBR 7190-2/2022 não admite a presença deste defeito, a não ser que o elemento seja empregado em sistemas de madeiras engenheiradas com redundância estrutural e seja submetido em tratamento profilático contra fungos, bem como a secagem completa da peça, condições que não foram consideradas neste estudo.

Figura 36 - Presença de medula em peça estrutural de *Pinus elliottii*



Fonte: (Do autor).

4.2.10 Definição da classificação visual

Para melhor observação dos defeitos considerados nesta etapa, assim como atribuir a classificação visual final do lote, executou-se o quadro 11, a fim de sintetizar os resultados finais desta fase. Não contemplou-se os dados de ataque biológico, fissura, torcimento, dano mecânico e bolsa de resina, em razão de não terem sido constatados neste estudo. Para a classificação visual do lote 01 da espécie de *Pinus elliottii* analisado nesta pesquisa atribuiu-se a **Classe 1**, desconsiderando as amostras desclassificadas. As peças F01, F15 e F34 foram desclassificadas em dois parâmetros, arqueamento e nós na borda, e presença de medula e arqueamento, respectivamente.

Quadro 11 - Classificação visual final das classes para a espécie de *Pinus elliottii*

Amostra	Medula (presença)	Encurvamento (mm)	Arqueamento (mm)	Esmoadado (mm)	Nós na Face (mm)	Nós na borda (mm)	Inclinação (mm/mm)	Classe
F01	-	2,21	Desclassificado	-	-	Desclassificado	1:29	Desclassificado
F02	-	1,32	1,46	-	-	Desclassificado	1:28	Desclassificado
F03	-	2,32	1,34	-	-	3,05	1:32	1
F04	-	2,14	Desclassificado	2,46	18,98	16,15	1:24	Desclassificado
F05	-	1,80	Desclassificado	-	-	11,26	1:29	Desclassificado
F06	-	2,07	Desclassificado	-	6,04	-	1:38	Desclassificado
F07	-	-	Desclassificado	-	-	-	1:33	Desclassificado
F08	-	2,15	1,42	-	7,43	6,77	1:32	1
F09	-	-	Desclassificado	-	-	-	1:36	Desclassificado
F10	Desclassificado	1,34	-	-	-	8,8	1:29	1
F11	-	1,32	Desclassificado	-	12,77	8,81	1:33	Desclassificado
F12	Desclassificado	-	0,99	-	-	-	1:35	1
F13	-	1,34	1,40	-	11,67	13,64	1:24	3
F14	-	1,67	Desclassificado	-	12,31	-	1:28	Desclassificado
F15	Desclassificado	0,98	Desclassificado	-	18,08	17,58	1:36	Desclassificado
F16	-	1,15	1,23	3,73	13,19	-	1:36	2
F17	-	2,53	2,30	3,60	10,85	-	1:36	1
F18	-	2,03	Desclassificado	-	17,13	12,83	1:35	Desclassificado
F19	-	0,63	0,90	9,03	-	20,65	1:42	Desclassificado
F20	-	Desclassificado	1,26	-	19,98	-	1:39	Desclassificado
F21	-	1,24	2,01	-	11,68	6,35	1:29	1
F22	-	1,40	1,08	-	-	-	1:29	1
F23	-	1,16	0,60	-	17,06	-	1:28	1
F24	Desclassificado	0,81	1,30	-	27,26	16,44	1:32	Desclassificado
F25	-	1,25	Desclassificado	-	34,52	-	1:34	Desclassificado
F26	-	1,43	1,42	-	-	-	1:29	1
F27	-	0,86	Desclassificado	7,03	15,35	-	1:34	Desclassificado
F28	Desclassificado	0,71	1,08	6,74	-	-	1:38	1
F29	Desclassificado	1,29	1,18	-	23,13	21,45	1:35	Desclassificado
F30	-	0,88	Desclassificado	-	-	48,94	1:33	Desclassificado
F31	-	1,88	Desclassificado	-	-	-	1:29	Desclassificado
F32	-	2,24	Desclassificado	-	-	-	1:29	Desclassificado
F33	-	1,59	Desclassificado	-	10,38	-	1:26	Desclassificado
F34	Desclassificado	1,51	Desclassificado	-	12,74	17,21	1:24	Desclassificado
F35	-	1,22	0,98	-	12,68	19,61	1:25	Desclassificado
F36	-	1,86	0,93	Desclassificado	-	-	1:32	Desclassificado
F37	-	-	-	-	5,13	6,05	1:25	1
F38	-	0,98	0,84	-	-	-	1:36	1
F39	Desclassificado	1,88	1,38	-	13,89	14,34	1:25	1
F40	-	1,93	1,42	-	-	47,51	1:24	Desclassificado

Fonte: (Do autor).

4.3 Resultados da classificação mecânica

As amostras do lote 01, preparadas na etapa anterior, foram submetidas aos ensaios de flexão em três pontos (FXX) com dimensões de 1,00 metro de comprimento e 50 mm por 50 mm de seção e de densidade (DXX) de 50 mm de comprimento e 50 mm por 50 mm de seção, descritos nesta seção.

4.3.1 Resultados do ensaio de flexão

As amostras preparadas para o ensaio de flexão em três pontos foram retiradas da sala climatizada, a uma temperatura de 18,7 °C com umidade relativa do ar de 57%, mensuradas por termo-higrômetro digital, e submetidas ao ensaio. Tanto a temperatura quanto a umidade relativa do ar se mostraram satisfatórias e próximas aos parâmetros ideais para a realização do ensaio, já que a norma determina uma condição de temperatura de 20 °C e 65% de umidade relativa do ar.

O conjunto para o ensaio de flexão foi montado, onde acoplou-se um conector para unidade de carga, uma unidade de carga para ensaio de madeiras, fixador para ensaio de flexão de três pontos ajustado com vão de 90 cm no dispositivo INSTRON/EMIC. As amostras foram posicionadas no centro do vão (45 cm de distância dos apoios) do fixador, com 5 cm em balanço das bordas de cada exemplar e abaixo da unidade de carga (figura 37).

Figura 37 - Ensaio de flexão em três pontos no equipamento INSTRON/EMIC



Fonte: (Do autor).

O equipamento foi predefinido com o método de ensaio para obtenção do módulo de elasticidade da madeira, com parâmetros da NBR 7190-2/2022, para exercer um carregamento crescente de 10 MPa/min com o deslocamento mensurado no centro do vão livre. Neste tipo de ensaio não é necessário o rompimento de todas as amostras, já que o módulo de elasticidade pode ser obtido no intervalo compreendido entre 10% a 40% do carregamento máximo suportado pela peça quando este carregamento for conhecido, porém neste estudo, todos os exemplares foram submetidos à ruptura, já que não era conhecida a tensão máxima que as peças deste lote poderiam suportar. A partir do deslocamento atingido e da carga máxima de ruptura das amostras, pode-se então calcular o módulo de elasticidade, com a média de deslocamento e carregamento entre 10% e 40% da carga de ruptura, expressados no quadro 12.

Quadro 12 - Módulo de elasticidade médio para o lote 01 da espécie de *Pinus elliottii* (continua)

Amostra	t (s)	Fr (N)	F(10%) (N)	F(40%) (N)	e(10%) (mm)	e(40%) (mm)	E0 (10%) (N/mm ²)	E0 (40%) (N/mm ²)	E0 (N/mm ²)
F01	206,68	2605,70	260,57	1042,28	2,02	7,67	5154,13	5429,65	5291,89
F02	266,58	3318,20	331,82	1327,28	4,94	10,81	2864,65	5236,40	4050,53
F03	242,15	5367,50	536,75	2147,00	2,20	8,02	10849,29	11904,45	11376,87
F04	389,97	6514,30	651,43	2605,72	2,63	9,97	11144,36	11759,15	11451,75
F05	290,82	4967,20	496,72	1986,88	5,19	11,06	4096,65	7689,54	5893,09
F06	136,58	4675,40	467,54	1870,16	1,80	7,29	8858,57	8749,21	8803,89
F07	228,38	4451,50	445,15	1780,60	2,33	8,78	7604,70	8072,41	7838,55
F08	123,97	3175,70	317,57	1270,28	1,83	7,34	6771,70	6753,25	6762,48
F09	389,50	6561,80	656,18	2624,72	2,23	8,73	9962,26	10179,07	10070,66
F10	235,93	3073,90	307,39	1229,56	2,19	8,79	5275,48	5257,48	5266,48
F11	182,23	2992,50	299,25	1197,00	1,82	7,48	6779,51	6598,24	6688,88
F12	235,47	3365,70	336,57	1346,28	1,99	8,87	7549,90	6775,33	7162,62
F13	248,82	5164,00	516,40	2065,60	2,41	8,69	6733,44	7469,55	7101,50
F14	206,35	3521,80	352,18	1408,72	2,35	9,17	5077,43	5204,78	5141,10
F15	76,10	3800,00	380,00	1520,00	4,05	11,89	3427,79	4670,32	4049,06
F16	200,37	6317,50	631,75	2527,00	2,16	8,57	12793,40	12897,90	12845,65
F17	466,68	4166,40	416,64	1666,56	1,96	6,70	7992,02	9351,86	8671,94
F18	206,53	4064,70	406,47	1625,88	2,29	7,99	5612,98	6434,90	6023,94
F19	145,23	5510,00	551,00	2204,00	1,72	6,83	14311,69	14416,46	14364,07
F20	170,67	4974,00	497,40	1989,60	2,10	9,89	9508,68	8076,13	8792,41
F21	178,97	4471,80	447,18	1788,72	4,94	10,27	3700,83	7120,58	5410,70
F22	199,72	6086,80	608,68	2434,72	3,15	10,09	8627,53	10773,72	9700,63

Quadro 12 - Módulo de elasticidade médio para o lote 01 da espécie de *Pinus elliottii* (conclusão)

Amostra	t (s)	Fr (N)	F(10%) (N)	F(40%) (N)	e(10%) (mm)	e(40%) (mm)	E0 (10%) (N/mm ²)	E0 (40%) (N/mm ²)	E0 (N/mm ²)
F23	117,72	2768,60	276,86	1107,44	1,54	7,15	7209,14	6210,95	6710,05
F24	182,43	1940,70	194,07	776,28	1,44	5,97	4915,45	4742,54	4829,00
F25	152,35	3467,50	346,75	1387,00	3,95	10,85	3549,66	5169,09	4359,37
F26	142,35	4078,20	407,82	1631,28	2,19	8,52	7357,99	7565,26	7461,63
F27	312,98	6656,80	665,68	2662,72	2,46	10,36	14609,09	13875,81	14242,45
F28	140,12	3420,00	342,00	1368,00	2,32	8,88	5558,00	5808,36	5683,18
F29	153,28	2130,70	213,07	852,28	1,57	6,28	4372,99	4372,99	4372,99
F30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Inconsistente	Inconsistente	Inconsistente
F31	245,60	4667,60	466,76	1867,04	3,53	9,98	5523,82	7815,26	6669,54
F32	315,93	5360,70	536,07	2144,28	2,77	8,97	6223,82	7687,84	6955,83
F33	242,98	3311,40	331,14	1324,56	2,81	8,01	4824,88	6770,49	5797,68
F34	153,95	1811,80	181,18	724,72	1,18	4,87	5975,32	5791,27	5883,29
F35	150,65	2375,00	237,50	950,00	1,55	6,59	5908,84	5559,15	5734,00
F36	206,05	7165,80	716,58	2866,32	2,44	8,89	13173,02	14462,17	13817,59
F37	360,52	5225,00	522,50	2090,00	2,67	10,68	8051,28	8051,28	8051,28
F38	283,13	5238,60	523,86	2095,44	1,91	7,62	12678,18	12711,45	12694,81
F39	139,22	3603,20	360,32	1441,28	2,17	7,85	6906,55	7636,79	7271,67
F40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Inconsistente	Inconsistente	Inconsistente
									7718,24

Fonte: (Do autor).

Desconsiderando as duas amostras, F30 e F40, que não resistiram ao peso próprio, pode-se definir a classificação mecânica ao calcular o módulo de elasticidade médio das amostras, atribuiu-se então a **Classe 3**, visto que para enquadrar-se na classe imediatamente superior, classe 2, o módulo de elasticidade deveria ser maior que 8000 N/mm². Pode-se observar que, enquanto nas amostras que possuíam medula, o rompimento foi abrupto (Figura 38), diferentemente dos exemplares sem a presença de medula (Figura 39), onde o rompimento foi gradativo, nota-se também, que neste último caso a amostra rompeu na borda do nó, onde na classificação visual foi desconsiderada, visto que o diâmetro do nó possui dimensão acima do limite permitido para a classificação visual.

Figura 38 - Amostra F10 com presença de medula após o rompimento



Fonte: (Do autor).

Figura 39 - Amostra F29 após o rompimento



Fonte: (Do autor).

4.3.2 Resultados do ensaio de densidade

A partir da preparação das amostras, pode-se mensurar com precisão a largura, altura e comprimento de cada peça do lote 01, utilizando paquímetro digital, para o ensaio de densidade. Com as dimensões conhecidas, pode-se calcular o volume de cada exemplar. A próxima etapa foi a aferição da massa de cada peça do lote em balança de precisão para posterior cálculo da densidade, visto na figura 40. Anteriormente à secagem à estufa, foi aferida com termo-higrômetro digital, apontando em 42% a umidade relativa do ar e 21,1 °C a temperatura do ambiente.

Figura 40 - Aferição da massa da amostra D01 para o ensaio de densidade



Fonte: (Do autor).

As amostras foram submetidas ao método de secagem em estufa, contemplado na figura 41, com as peças acondicionadas de forma aleatória a 103 °C e aferições de massa diárias durante oito dias, com intervalos de no mínimo seis horas a cada medição, até que a diferença de massa fosse menor que 0,5% da medição anterior. Ao final desta análise, foram novamente mensuradas, as amostras, para a obtenção do volume seco de cada amostra. Para sintetizar os resultados dos cálculos da umidade no momento do ensaio, densidade aparente em relação à umidade das amostras a 12% e obter uma melhor visualização dos parâmetros, executou-se o quadro 32.

Figura 41 - Acondicionamento em estufa das amostras para secagem



Fonte: (Do autor).

Quadro 13 - Resultados do ensaio de densidade aparente com 12% do teor de umidade para a espécie de *Pinus elliottii*

Amostra	Aferição 1	Aferição 7	Aferição 8	Taxa de perda de Massa em relação à Aferição 7	ptest	p12
	Massa (g)	Massa (g)	Massa (g)			
D01	79,34	60,98	60,94	0,07%	635,16	539,89
D02	55,26	44,86	44,79	0,16%	396,96	337,42
D03	68,77	54,94	54,82	0,22%	529,49	450,07
D04	78,77	59,51	59,40	0,18%	606,18	515,25
D05	55,23	44,38	44,33	0,11%	388,64	330,35
D06	51,13	41,54	41,42	0,29%	379,93	322,94
D07	71,50	57,03	56,91	0,21%	536,60	456,11
D08	52,34	42,77	42,67	0,23%	389,89	331,40
D09	77,80	63,92	63,84	0,13%	587,93	499,74
D10	51,81	42,13	42,00	0,31%	378,01	321,31
D11	57,98	45,46	45,32	0,31%	407,83	346,65
D12	100,92	60,18	59,96	0,37%	688,42	585,16
D13	99,11	58,5	58,38	0,21%	691,44	587,73
D14	85,36	60,7	60,57	0,21%	657,55	558,92
D15	76,41	62,33	62,25	0,13%	557,82	474,15
D16	71,78	54,54	54,41	0,24%	541,55	460,32
D17	56,95	45,06	44,96	0,22%	409,08	347,72
D18	56,54	45,11	44,97	0,31%	401,63	341,39
D19	75,31	61,97	61,87	0,16%	572,62	486,73
D20	81,95	60,74	60,68	0,10%	652,85	554,92
D21	67,47	52,47	52,47	0,00%	526,87	447,84
D22	91,21	60,15	59,94	0,35%	617,08	524,52
D23	79,42	64,8	64,71	0,14%	589,35	500,95
D24	53,58	43,22	43,15	0,16%	388,24	330,00
D25	85,74	58,77	58,73	0,07%	590,23	501,70
D26	87,66	71,58	71,49	0,13%	656,45	557,98
D27	74,12	58,61	58,44	0,29%	571,25	485,56
D28	92,69	56,83	56,73	0,18%	677,73	576,07
D29	97,20	55,33	55,29	0,07%	736,32	625,87
D30	71,65	53,78	53,57	0,39%	558,20	474,47
D31	52,13	42,92	42,73	0,44%	372,03	316,23
D32	71,82	56,57	56,36	0,37%	535,43	455,11
D33	94,00	78,1	77,96	0,18%	700,42	595,35
D34	77,87	53,06	52,94	0,23%	596,27	506,83
D35	50,78	41,54	41,35	0,46%	373,44	317,42
D36	84,62	60,26	60,06	0,33%	669,90	569,42
D37	102,37	62	61,75	0,40%	698,87	594,04
D38	82,33	53,72	53,70	0,04%	634,00	538,90
D39	84,43	61,45	61,28	0,28%	646,66	549,66
D40	84,64	67,34	67,14	0,30%	647,32	550,22
				Densidade média do lote (kg/m³)	554,89	471,66

Fonte: (Do autor).

Com o resultado da densidade média do lote 01 da espécie de *Pinus elliottii* analisado nesta pesquisa, atribuiu-se a **Classe 2** para a classificação mecânica em relação à densidade. Para enquadrar-se na classe superior, classe 1, a densidade média do lote deveria ser maior que 500 kg/m³.

4.3.3 Resultados da classificação mecânica

Definiu-se como **Classe 3** para a classificação mecânica, devido a classificação em relação ao módulo de elasticidade ter sido definida em classe 3, mesmo a classificação mecânica em relação à densidade ter resultado em uma classe superior, Classe 2, conservou-se o pior caso para garantir a segurança da aplicação deste lote em estruturas de madeira.

4.3.4 Resultados da classificação visual e mecânica final

A classificação visual e mecânica final resultou na **Classe 3**, o fator determinante foi a obtenção do módulo de elasticidade médio do lote através do ensaio de flexão em três pontos. Em casos mais específicos e conservadores, onde as amostras desconsideradas fossem avaliadas, a classificação visual não poderia ser classificada, já que a maioria da amostragem (25 exemplares) mostrou-se inconsistente, com valores que extrapolaram o limite aceitável na NBR 7190-2/2022 e este lote deveria ser desclassificado.

Com este resultado, atribui-se a resistência característica à flexão de 14 MPa, resistência característica à compressão paralela de 14 MPa e resistência característica ao cisalhamento de 2,5 MPa, equivalente a Classe 3, segundo o quadro 14, referente à NBR 7190-2/2022.

Quadro 14 - Propriedades das classes para *Pinus spp.*

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

Fonte: (NBR 7190-2/2022).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ensaios realizados em laboratório foram determinantes para garantir a acurácia nos resultados obtidos. Apresentou-se a discrepância de classes entre os 3 tipos de verificações que seguem: classe 1 para a classificação visual (desconsiderando as amostras inconsistentes), classe 2 para a classificação mecânica referente à densidade e classe 3 para a classificação mecânica referente ao módulo de elasticidade.

Observou-se durante o ensaio de flexão em três pontos, que a influência de defeitos como a presença de medula pode conferir uma menor resistência à flexão, assim como a presença de nós, que tornam a região em que estão localizados, mais suscetível a falhas estruturais.

Pode-se concluir, ao final deste trabalho, que o objetivo de classificar o lote designado foi cumprido, atribuindo a **Classe 3** para esta amostragem de peças estruturais de florestas plantadas da espécie de *Pinus elliottii* coletada da região do município de Alegrete-RS.

5.1 Sugestões aos trabalhos futuros

- Executar a classificação visual e mecânica em espécies de *Eucalyptus Urograndis* e outras espécies de *Pinus*, pautando-se na NBR 7190-2/2022, visto que não havia a disponibilidade destas espécies na região no período em que este trabalho de pesquisa foi executado no município de Alegrete-RS;
- Executar o ensaio de flexão em três pontos com diferentes temperaturas e umidades relativas do ar para avaliar as características mecânicas em condições climáticas distintas;
- Identificar as espécies analisadas, com a verificação por profissional qualificado na área de silvicultura, assim como os fungos presentes nas amostras e a busca por mais detalhes e dados sobre a influência de ataques biológicos no comportamento estrutural da madeira;
- Utilização de equipamento com medidor elétrico de teor de umidade para o ensaio de densidade;
- Verificar a aplicação de peças estruturais de madeira quanto a classificação abordada neste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 7190-1. **Projeto de estruturas de madeira - Parte 1: Critérios de dimensionamento**, 2022.

ABNT NBR 7190-2. **Projeto de estruturas de madeira - Parte 2: Métodos de ensaio para classificação visual e mecânica de peças estruturais de madeira**, 2022.

ABNT NBR 7190-3. **Projeto de estruturas de madeira - Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas**, 2022.

ABNT NBR 7190-4. **Projeto de estruturas de madeira - Parte 4: Métodos de ensaio para caracterização de peças estruturais**, 2022.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: **Projetos de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, ago. 1997.

ANDRIONI, Camila Natália. 2019. **Estudo da caracterização física e mecânica da madeira pinus elliottii**. UNIPAMPA. Alegrete, RS. 2019. Disponível em: <https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riu/4857/1/Camila%20Nat%C3%A1lia%20Andrioni%20-%202019.pdf>. Acesso em: 03/04/2023.

ARAUJO, H. J. B., **Agrupamento das espécies madeireiras ocorrentes em pequenas áreas sob manejo florestal do Projeto de Colonização Pedro Peixoto (AC) por similaridade das propriedades físicas e mecânicas**. Piracicaba 2002. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-03122002-081639/pt-br.php> Acesso em: 23/06/2023.

CARLILE, M. J., WATKINSON, S. C. **The Fungi academic press**. 3º edição. 1996.

CARVALHO, R. M. M. et al., **O papel do setor florestal brasileiro no contexto nacional**. In: **CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO**, São Paulo, 2003.

Disponível em:

<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tCARVALHO,%20R.%20M.%20M.%20et%20al.,%20O%20papel%20do%20setor%20florestal%20brasileiro%20no%20contexto%20nacional.%20In:%20CONGRESSO%20FLORESTAL%20BRASILEIRO,%20S%C3%A3o%20Paulo,%202003.de-03122002-081639/pt-br.php>. Acesso em 01/07/2023.

COSTA, J.A., **Qualidade da madeira de Eucalyptus urograndis, plantado no Distrito Federal, para produção de celulose kraft**. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.DM-153/2011, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 86p. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/8625/1/2011_JuliadeAlmeidaCosta.pdf. Acesso em 30/06/2023.

DEMARZO, Mauro Augusto *et al.* **Indicadores de Sustentabilidade (LCA) e Análise do Ciclo de Vida para Madeira de Reflorestamento na Construção Civil**. 21. ed. São Carlos: Revista Madeira Arquitetura & Engenharia, 2007. Disponível em: <http://madeira.set.eesc.usp.br/article/view/204>. Acesso em: 23/06/2023.

DIAS, Alan., **Como a madeira vai se transformar no principal material de construção de edifícios de múltiplos andares** / Eng. Alan Dias, São Paulo, 2018.

EMBRAPA. **Transferência de tecnologia florestal: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda** / Emiliano Santarosa, Joel Ferreira Penteado Júnior, Ives Clayton Gomes dos Reis Goulart, editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2014. 138 p. : il. color.; 20 cm x 27,5 cm. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/121607/1/Apostila-Serie-TT-Eucalipto.pdf>. Acesso em: 30/06/2023.

FAHERTY, K., WILLIAMSON, T., **Wood Engineering and Construction Handbook**. McGraw-Hill, Inc., Nova Iorque (Estados Unidos da América), 1999.

Forest Products Laboratory. 2010. **Wood handbook: Wood as an engineering material**. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 508 p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório 2021**. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>. Acesso em: 30/06/2023.

LOPES, J. L. W., **Qualidade de mudas clonais do híbrido de Eucalyptus grandis vs. Eucalyptus urophylla, submetidos a diferentes regimes hídricos**. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/103408>. Acesso em: 23/06/2023.

LOPES, S. M., **O uso da madeira na construção civil**, 2019. Disponível em: <https://matanativa.com.br/madeira-na-construcao-civil/>. Acesso em 06/04/2023.

MIRANDA, A.C. **Produtividade, estabilidade e adaptabilidade em progênies de *Eucalyptus grandis***. 2012. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência Florestal, FCA, Unesp, Botucatu, 2012. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/99764/miranda_ac_me_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em 23/06/2023.

MORESCHI, João Carlos, **Propriedades da Madeira**. 4ª edição - novembro 2012. Atualização: setembro de 2.014 - Curitiba, PR. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/PROPRIEDADES%20DA%20MADEIRA.pdf>. Acesso em: 04/07/2023.

OLIVEIRA E. V., Galhano F, Pereira B., **Construções Primitivas em Portugal**. Lisboa: Instituto da Alta Cultura. Centro de Estudos de Etnologia, 1969.
RIBEIRO, Andressa et al. **O cultivo do Mogno Africano (*Khaya spp.*) e o Crescimento da Atividade no Brasil**. Departamento de Engenharias - CPCE, Universidade Federal do Piauí - UFPI, Bom Jesus, PI, 2017. Disponível em: <https://books.openedition.org/etnograficapress/6228>. Acesso em 05/03/2023.

PENTEADO, J. **Cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda**, Colombo, PR, 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/121607/1/Apostila-Serie-TT-Eucalipto.pdf>. Acesso em 02/07/2023.

PENTEADO, J. **Perguntas e Respostas: Pinus, EMBRAPA**, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/florestas/transferencia-de-tecnologia/pinus/perguntas-e-respostas#:~:text=No%20Brasil%2C%20o%20Pinus%20elliottii,kg%20de%20resina%20por%20ano>. Acesso em 02/07/2023.

PICHELLI, K. **Plantio de Pinus spp.** Embrapa Florestas. Colombo, PR. Disponível em: <https://www.embrapa.br/florestas/busca-de-imagens/-/midia/6395001/plantio-de-pinus>. Acesso em: 09/07/2023.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira**. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 224p.

RIBASKI, J. **Sistema silvopastoril com eucalyptus e pinus**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/4447001/sistema-silvipastoril-com-eucalyptus-e-pinus>. Acesso em 09/07/2023.

SCANAVACA JUNIOR, Laerte., **Caracterização silvicultural, botânica e tecnológica do *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e de seu potencial para utilização em serraria**. Piracicaba, 2001.

SCANAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, J. N. **Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla***. Scientia Forestalis, v.65, p.120-129, 2004. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr65/cap12.pdf>. Acesso em 27/06/2023.

SCHIRP, A., FARRELL, R.L., KREBER, B. **Effects of New Zealand sapstaining fungi on structural integrity of unseasoned radiate pine**. 2003.

SHIMIZU, J. Y., **Pinus na silvicultura brasileira**, disponível em: https://ambientes.ambientebrasil.com.br/florestal/silvicultura/silvicultura_do_pinus_pinus_spp.html. Acesso em 03/07/2023.

SIMULA, M.T.; Tissari, J.T. **Market Prospects for *Eucalyptus* Solid Wood Products in the European Commun Market**. In: 1º Seminário Internacional sobre produtos Sólidos de Madeira de Alta Tecnologia e 1º Encontro sobre Tecnologias Apropriadas de Desdobro, Secagem e utilização da Madeira de Eucalipto. Belo Horizonte, 7 a 11 de dezembro de 1998. p. 29-48. Disponível em: <https://www.projetotume.com/grandis>. Acesso em 14/05/2023.

SOARES, T.S.; Carvalho, R.M.M.A.; Vale A.B. **Avaliação econômica de um povoamento de *Eucalyptus grandis* destinado a multiprodutos**. Revista Árvore, v.27, n.5, p.689-694, 2003.

SOUZA, N. D. **Identificação de madeiras de clones de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e do híbrido *Eucalyptus urograndis* por RMN C-13**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <https://tede.ufrrj.br/jspui/bitstream/tede/456/1/2008%20-%20Nat%C3%A1lia%20Dias%20de%20Souza.pdf>. Acesso em: 06/06/2023.

SPRENGER, L. **Exportações de Madeira em Bruto**. Junho, 2023. Disponível em: <https://www.fazcomex.com.br/comex/exportacoes-de-madeira-em-bruto/>. Acesso em: 02/07/2023.

Structural Timber Design to Eurocode 5, Second Edition. Jack Porteous and Abdy Kermani. © Jack Porteous and Abdy Kermani 2013. Published 2013 by Blackwell Publishing Ltd.

VALVERDE, S. R.; SOARES, N. S.; SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; JACOVINE, G. A. L.; NEIVA, S. A. **O Comportamento do Mercado da Madeira de Eucalipto no Brasil**. Biomassa & Energia, 2004. Disponível em:

<https://docplayer.com.br/6074110-O-comportamento-do-mercado-da-madeira-de-eucalipto-no-brasil-1.html>. Acesso em: 14/06/2023.

Woodbroker ®, **Floresta de Eucalyptus urograndis, grandis e urophylla.**

Disponível em:

<http://woodbroker.weebly.com/oportunidades/floresta-de-eucaliptos-urograndis-grandis-e-urophylla>. Acesso em 10/07/2023.