



Classificação mecânica da madeira por meio de peças estruturais

Kayo Vinícius Chimenes Pinto ^a; Christiane Areias Trindade ^b

^a Aluno de Graduação em Engenharia Civil, kayo.c@ufms.br

^b Professora Orientadora, Doutora, christiane.trindade@ufms.br

Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Av. Costa e Silva, s/nº | Bairro Universitário | 79070-900 | Campo Grande, MS, Brasil.

RESUMO

A recente atualização da norma NBR 7190 (ABNT, 2022) estabeleceu mudanças nas classes de resistência das espécies de madeira, introduzindo a classificação por meio de peças estruturais, o que afeta diretamente a verificação de elementos estruturais de madeira. Para essa nova classificação é necessário a obtenção dos valores das propriedades mecânicas por meio de ensaios em peças estruturais. Entretanto, na literatura, há muitos resultados de ensaios realizados em corpos de prova, e supõe-se que há poucos resultados em peças estruturais. Deste modo, essa revisão integrativa tem como objetivo levantar os trabalhos já realizados com ensaios em peças estruturais de madeira de diversas espécies e organizar os resultados obtidos desses ensaios relacionando-os com as classes de resistência estabelecidas pela versão atual da NBR 7190 (ABNT, 2022). Como resultado, foram obtidos dados de diferentes espécies que possibilitaram a classificação das mesmas e criação de uma tabela de classes de resistência para peças estruturais. Com isso, conclui-se que há uma lacuna a ser preenchida em relação a resultados para mais espécies de ensaios de peças estruturais conforme a nova classificação da NBR 7190 (ABNT, 2022).

Palavras-chave: classificação estrutural de madeira, peças estruturais de madeira.

ABSTRACT

The recent update of the NBR 7190 standard (ABNT, 2022) has established changes in the strength classes of wood species, introducing classification through structural members, which directly impacts the verification of wooden structural elements. This new classification requires obtaining mechanical property values through tests on structural members. However, literature predominantly contains results from tests on small specimens, with fewer results available for structural members. Therefore, this integrative review aims to compile studies that have conducted tests on structural members of various wood species and to organize the obtained results in relation to the strength classes established by the current version of NBR 7190 (ABNT, 2022). As a result, data from different species were collected, enabling their classification and the creation of a strength class table for structural members. Consequently, it is concluded that there exists a gap in the availability of results for more species of structural member tests according to the new classification of NBR 7190 (ABNT, 2022).

Keywords: structural classification of wood, wooden structural members.

1. INTRODUÇÃO

A madeira se destaca como um material de construção milenar, sendo atualmente um material de construção economicamente competitivo, tendo o estudo sobre a mesma propiciado a expansão do seu uso em diferentes estruturas (PFEIL, 2003).

A NBR 7190 (ABNT, 2022) estabelece classes de resistência para as espécies de madeira de modo a facilitar ao projetista a especificação do material em função da classe e não necessariamente de uma

espécie específica. Assim, torna-se necessário classificar as espécies de madeira e enquadrá-las nas classes.

Com a recente atualização da norma NBR 7190 (ABNT, 2022) foram estabelecidas mudanças nas classes de resistência das espécies de madeira, introduzindo a classificação por meio de peças estruturais, o que afeta diretamente a verificação de elementos estruturais de madeira

Para essa nova classificação é necessário a obtenção dos valores das propriedades mecânicas por meio de ensaios de peças estruturais. Entretanto, na literatura,

há muitos resultados de ensaios realizados em corpos de prova, e supõe-se que há poucos resultados em peças estruturais.

Deste modo, essa revisão integrativa tem como objetivo levantar os trabalhos já realizados com ensaios em peças estruturais de madeira de diversas espécies e organizar os resultados obtidos desses ensaios relacionando-os com as classes de resistência estabelecidas pela versão atual da NBR 7190-1 (ABNT, 2022).

2. CLASSIFICAÇÃO DA MADEIRA

A classificação de madeira no Brasil atualmente é regida pela norma técnica NBR 7190 (ABNT, 2022) – Projeto de estruturas de madeira que é dividida em 7 partes:

NBR 7190-1: Critérios de dimensionamento.

NBR 7190-2: Métodos de ensaio para classificação visual e mecânica de peças estruturais de madeira.

NBR 7190-3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas.

NBR 7190-4: Métodos de ensaio para caracterização peças estruturais.

NBR 7190-5: Métodos de ensaio para determinação da resistência e da rigidez de ligações com conectores mecânicos.

NBR 7190-6: Métodos de ensaio para caracterização de madeira lamelada colada estrutural.

NBR 7190-7: Métodos de ensaio para caracterização de madeira lamelada colada cruzada estrutural.

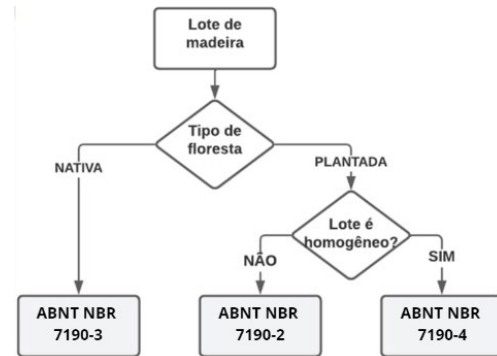
Com isso, a primeira parte trata dos procedimentos de cálculo e verificação das estruturas e as partes seguintes abrangem métodos de ensaio de um grupo específico.

A NBR 7190 (ABNT, 2022) também define como deve ser feita a classificação, como mostra o fluxograma da figura 1. Lotes de madeiras de florestas plantadas, do qual não se pode garantir homogeneidade, deve ser classificado conforme NBR 7190-2.

Lotes de madeiras de florestas plantadas, devem ser ensaiados conforme a NBR 7190-4. Lotes

homogêneos de florestas nativas podem ser ensaiados em dimensões estruturais conforme a NBR 7190-4 como também podem ser ensaiados como corpo de prova conforme a NBR 7190-3.

Figura 1. Fluxograma de caracterização das propriedades de resistência e rigidez das madeiras.



Fonte: NBR 7190 (ABNT, 2022)

2.1. Classes de Resistência

As classes de resistência das madeiras têm por objetivo a utilização de madeiras com propriedades padronizadas, orientando a escolha do material para elaboração de projetos estruturais conforme a NBR 7190 (ABNT, 2022).

Com a atualização da NBR 7190 (ABNT, 2022), foi estabelecida uma separação na classificação a partir de corpos de prova e a partir de peças estruturais de madeira:

As classes de resistência a partir de ensaios mecânicos de corpos de prova de madeira isentos de defeitos foram definidas na NBR 7190-1 (ABNT, 2022), conforme apresentado no quadro 1.

Quadro 1. Classes de resistência de espécies de florestas nativas definidas em ensaios de corpos de prova isentos de defeitos.

Classes	f_{c0k} MPa	f_{v0k} MPa	$E_{c0, med}$ MPa	Densidade a 12% kg/m ³
D20	20	4	10000	500
D30	30	5	12000	625
D40	40	6	14500	750
D50	50	7	16500	850
D60	60	8	19500	1000

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 2022)

Com base nas classes do Quadro 1 e resultados de vários ensaios de corpos de prova, originou-se a tabela de classes de resistência para espécies de madeiras nativas no Brasil, conforme o Quadro 2.

Quadro 2. Classes de resistência para espécies de madeiras nativas do Brasil.

Classe de Resistência	Nome popular	Nome científico
D20	Amescla	<i>Trattinnocloa burserifolia</i>
D20	Caixeta	<i>Simarouba amara</i>
D20	Cajueiro	<i>Anacardium sp.</i>
D20	Cambará Rosa	<i>Erisma sp.</i>
D20	Cedro Doce	<i>Cedrela sp.</i>
D20	Cedro Amargo	<i>Cedrela odorata</i>
D20	Cedrinho	<i>Erisma sp.</i>
D20	Cedroarana	<i>Cedrelinga catanefomis</i>
D20	Marupá	<i>Simarouba sp.</i>
D30	Castanheira	<i>Bertholletia excelsa</i>
D30	Cedro Amazonense	<i>Cedrela sp.</i>
D30	Embireira	<i>Guatteria sp.</i>
D30	Quarubarana	<i>Erisma uncinatum</i>
D30	Tauari	<i>Couratari sp.</i>
D30	Umirana	<i>Qualea retusa</i>
D40	Abiú	<i>Pouteria sp.</i>
D40	Angelim Amargoso	<i>Vatairea fusca</i>
D40	Angelim Araroba	<i>Vataireopsis araroba</i>
D40	Angico Branco	<i>Anaderanthera colubrina</i>
D40	Bicuiba	<i>Micropholis sp.</i>
D40	Branquilha	<i>Sebastiania commersoniana</i>
D40	Cafearana	<i>Andira stipulacea</i>
D40	Canafistula	<i>Cassia ferruginea</i>
D40	Canela Parda	<i>Ocotea sp.</i>
D40	Canelão	<i>Ocotea sp.</i>
D40	Catanudo	<i>Micropholis sp.</i>
D40	Copaíba	<i>Copaifera sp.</i>
D40	Copiúba	<i>Goupia glabra</i>
D40	Goiabão	<i>Planchonella pachycarpa</i>
D40	Louro Verde	<i>Ocotea sp.</i>
D40	Mirarema	<i>Hymenolobium sp.</i>
D40	Quaruba Rosinha	<i>Vochysia sp.</i>

D40	Rabo de Arraia	<i>Vochysia haenkeana</i>
D50	Angelim Pedra	<i>Hymenolobium paetrum</i>
D50	Angelim Saia	<i>Vatairea sp.</i>
D50	Casca Grossa	<i>Pouteria pachycarpa</i>
D50	Castelo	<i>Calycophyllum sp.</i>
D50	Envira	<i>Xylopia sp.</i>
D50	Envira Branca	<i>Xylopia nãtida</i>
D50	Garrote	<i>Bagassa sp.</i>
D50	Louro Preto	<i>Ocotea sp.</i>
D50	Mirarema	<i>Hymenolobium sp.</i>
D50	Parinari	<i>Parinari excelsa</i>
D50	Peroba Mica	<i>Aspidosperma sp.</i>
D50	Piolho	<i>Tapirira sp.</i>
D50	Quina Rosa	<i>Chinchona sp.</i>
D60	Angelim Ferro	<i>Hymenolobium sp.</i>
D60	Angelim Vermelho	<i>Dinizia excelsa</i>
D60	Angico Preto	<i>Anaderanthera macrocarpa</i>
D60	Breu Vermelho	<i>Protium sp.</i>
D60	Champanhe	<i>Dipteryx odorata</i>
D60	Cutiúba	<i>Qualea paraensis</i>
D60	Garapa	<i>Bagassa guianensis</i>
D60	Guaçara	<i>Luetzelburbia sp.</i>
D60	Guajará	<i>Micropholis venulosa</i>
D60	Guanandi	<i>Callophyllum brasiliense</i>
D60	Guarucaia	<i>Peltophorum vogelianum</i>
D60	Ipê	<i>Tabebuia serratifolia</i>
D60	Itaúba	<i>Mezilaurus itaãoba</i>
D60	Jatobá	<i>Hymenaea stilbocarpa</i>
D60	Maçaranduba	<i>Manilkara sp.</i>
D60	Mandioqueira C60	<i>Qualea paraensis</i>
D60	Oiticica Amarela	<i>Clarisia racemosa</i>
D60	Oiuchu	<i>Pradosia sp.</i>
D60	Roxinho	<i>Peltogyne leicoiotei</i>
D60	Sucupira	<i>Bowdichia sp.</i>
D60	Tachi	<i>Tachigali mirmecophylla</i>
D60	Tatajuba	<i>Bagassa guianensis</i>
D60	Umirana	<i>Qualea retusa</i>

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 2022)

As classes de resistência a partir de ensaios mecânicos de peças estruturais de madeira foram definidas na NBR 7190-1 (ABNT, 2022), conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3. Classes de resistência definidas em ensaios de peças estruturais.

		Coníferas											Folhosas								
Símbolo		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Propriedades de resistência MPa																					
Flexão	$f_{b,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	18	24	30	35	40	50	60	70
Tração paralela	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	11	14	18	21	24	30	36	42
Tração perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compressão paralela	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	18	21	23	25	26	29	32	34
Compressão perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	11	13,5
Cisalhamento	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0
Propriedades de rigidez GPa																					
Módulo de elasticidade a 0° médio	$E_{0,m}$	7	8	9	9,5	10	11	12	12	13	14	15	16	9,5	10	11	12	13	14	17	20
Módulo de elasticidade a 0° característico	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10	11	8	8,5	9,2	10	11	12	14	16,8
Módulo de elasticidade a 90° médio	$E_{90,m}$	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	1,1	1,33
Módulo de elasticidade transversal médio	G_m	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,1	1,25
Densidade kg/m ³																					
Densidade característica	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	475	485	530	540	560	620	700	900
Densidade média	ρ_m	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	570	580	640	650	660	750	840	1080
Nota 1	Valores obtidos conforme a ABNT NBR 7190-4.																				
Nota 2	Valores referentes ao teor de umidade igual a 12 %																				

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 2022)

A ausência de uma tabela que correlacione as espécies com as classes de resistência para peças estruturais, diferentemente do que ocorre para corpos de prova, foi a motivação da realização desse trabalho.

2.2. Métodos de ensaios para peças estruturais de madeira

Ensaio em peças estruturais podem ser realizados em corpo de prova de tamanho mínimo especificado em cada ensaio ou no tamanho original da peça. Para realização do mesmo, devem ser obedecidas as seguintes condições conforme a NBR 7190 (ABNT, 2022):

- A extração dos corpos de prova deve ser cortados uma amostra mínima de 40 unidades a partir de peças selecionadas para representar uma população de referência obtida por seleção aleatória.

- Temperatura de 20 °C e umidade relativa de 65%, com isso a umidade de equilíbrio da madeira deve ser aproximadamente 12%.

- A Taxa de carregamento deve ser aplicada de modo que ocorra a ruptura do elemento entre 1 min e 5 min.

- No momento do ensaio, o teor de umidade da madeira, a temperatura da madeira, e o tempo até a ruptura devem ser registrados.

Sendo assim, a norma define os seguintes ensaios:

-Densidade

A densidade no momento do ensaio é calculada conforme a seguinte equação com medidas em mm:

$$\rho_{test} = \frac{m \cdot 10^9}{L \cdot b \cdot h}$$

A densidade a 12% de umidade (ρ_{12}) é calculada conforme a seguinte equação:

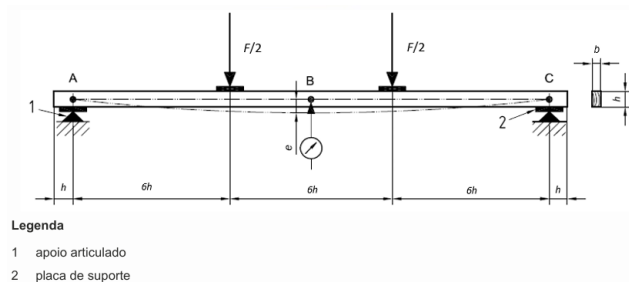
$$\rho_{12} = \rho_{test} (1 - 0,5(U - 0,12))$$

onde “U” é o teor de umidade no momento do ensaio, como determinado pelo método de secagem na estufa.

-Resistência e rigidez à flexão

Uma viga de vão 18h deve receber carregamento em dois pontos, espaçados igualmente entre os apoios nas extremidades, com cada força igual a F/2, conforme o esquema da figura 2.

Figura 2. Esquema para o ensaio de flexão.



Fonte: NBR 7190-4 (ABNT, 2022)

O módulo de elasticidade na flexão (E_0) é calculado pela seguinte equação:

$$E_0 = \frac{23}{108} \left(\frac{L}{h}\right)^3 \left(\frac{\Delta F}{\Delta e}\right) \frac{1}{b}$$

Onde:

Δ_e é o deslocamento incremental;

Δ_f é a força incremental;

L é o vão livre entre os apoios, igual a 18 h;

b é a largura da seção transversal do corpo de prova;

h é a altura da seção transversal do corpo de prova.

Já a resistência convencional à flexão (f_m) deve ser calculada a partir de:

$$f_m = \frac{F_{rupt} L}{bh^2}; \text{ onde:}$$

F_{rupt} é o valor da força de ruptura aplicada (força última);

L é o vão livre entre os apoios, igual a 18 h;

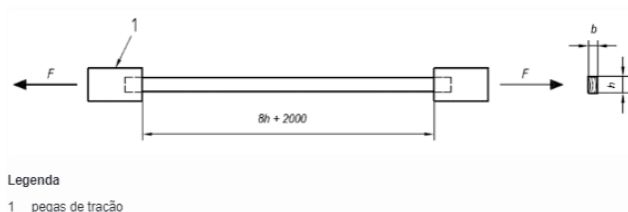
b é a largura da seção transversal do corpo de prova;

h é a altura da seção transversal do corpo de prova.

-Tração paralela às fibras

A força deve ser aplicada até a ruptura da amostra. Conforme a figura 3, o comprimento da peça entre pegos deve ser de 8h + 2000mm.

Figura 3. Esquema para o ensaio de resistência à tração paralela às fibras.



Fonte: NBR 7190-4 (ABNT, 2022)

A resistência à tração paralela às fibras ($f_{t,0}$) é calculada conforme a seguinte equação:

$$f_{t,0} = \frac{F_{rupt}}{bh}$$

onde

F_{rupt} é o valor da força de ruptura aplicada (força última);

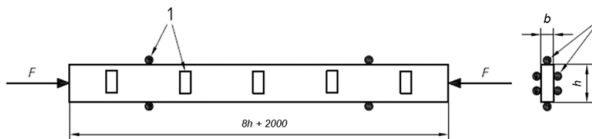
b é a largura da seção transversal do corpo de prova;

h é a altura da seção transversal do corpo de prova.

-Compressão paralela às fibras

Na resistência à compressão paralela às fibras, a configuração de ensaio deve ser conforme a figura 4, sendo a força aplicada axialmente até a ruptura.

Figura 4. Esquema para o ensaio de resistência à compressão paralela às fibras.



Fonte: NBR 7190-4 (ABNT, 2022)

A resistência à compressão paralela às fibras ($f_{c,0}$) é calculada conforme a seguinte equação:

$$f_{c,0} = \frac{F_{rupt}}{bh}$$

onde

F_{rupt} é o valor da força de ruptura aplicada (força última);

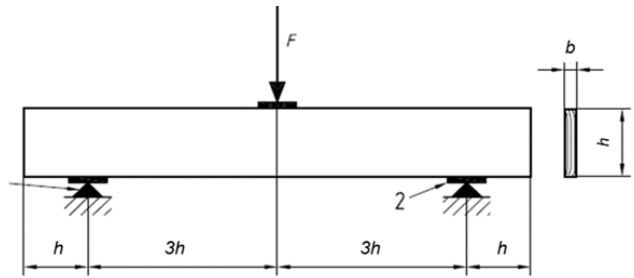
b é a largura da seção transversal do corpo de prova;

h é a altura da seção transversal do corpo de prova.

-Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras

A configuração deve seguir conforme a figura 5 com a força aplicada gradativa até a ruptura.

Figura 5. Esquema para o ensaio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.



Fonte: NBR 7190-4 (ABNT, 2022)

A resistência ao cisalhamento (f_v) deve ser calculada a partir de:

$$f_v = \frac{0,75F_{rupt}}{bh}$$

onde

F_{rupt} é o valor da força de ruptura aplicada (força última);

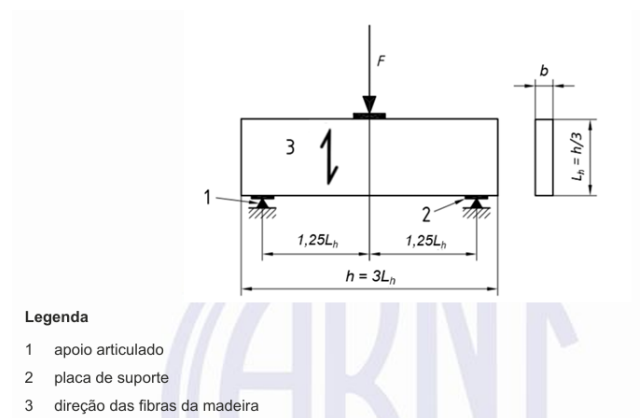
b é a largura da seção transversal do corpo de prova;

h é a altura da seção transversal do corpo de prova.

-Resistência à tração perpendicular às fibras

O corpo de prova deve ser carregado no ponto central, com dimensões conforme a figura 6.

Figura 6. Esquema para o ensaio de resistência à tração perpendicular às fibras.



- Legenda
- 1 apoio articulado
 - 2 placa de suporte
 - 3 direção das fibras da madeira

Fonte: NBR 7190-4 (ABNT, 2022)

A resistência à tração perpendicular às fibras ($f_{t,90}$) é calculada a partir de:

$$f_{t,90} = \left(\frac{3,75 F_{rupt}}{bh} \right) \left(\frac{0,3bL_h^2}{800^3} \right)^{0,2}$$

onde

F_{rupt} é o valor da força de ruptura aplicada (força última);

L_h é a altura da seção transversal do corpo de prova;

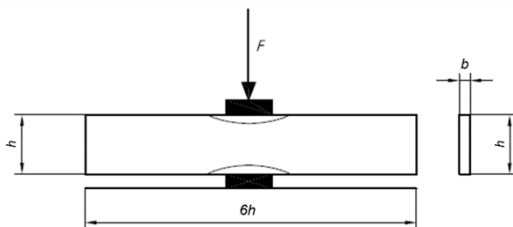
b é a largura da seção transversal do corpo de prova;

h é a altura da seção transversal do corpo de prova.

-Resistência e rigidez à compressão perpendicular às fibras

A configuração do ensaio segue conforme a figura 7:

Figura 7. Configuração para determinação da resistência e rigidez normal às fibras.



Fonte: NBR 7190-4 (ABNT, 2022)

A resistência à compressão perpendicular às fibras ($f_{c,90}$) deve ser calculada pela equação:

$$f_{c,90} = \frac{F_{rupt}}{90b} \quad \text{ou} \quad f_{c,90} = \frac{F_{0,1h}}{90b}$$

onde

F_{rupt} é o valor da força de ruptura aplicada (força última);

$F_{0,1h}$ é a força correspondente a um deslocamento de 0,1 h;

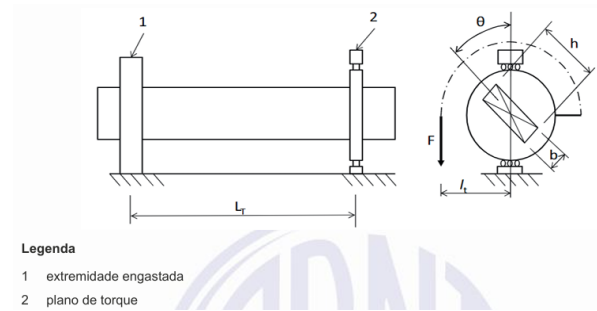
b é a largura da seção transversal do corpo de prova;

h é a altura da seção transversal do corpo de prova

-Módulo de Elasticidade Transversal.

A configuração do ensaio de torção deve seguir o modelo mostrado na figura 8.

Figura 8. Esquema de ensaio para medir a rigidez em torção.



Fonte: NBR 7190-4 (ABNT, 2022)

O módulo de elasticidade transversal ($G_{t,0}$) deve ser calculado pela seguinte equação:

$$G_{t,0} = \frac{3L_T l_t}{hb^3 [1 - 0,63(b/h)]} (\Delta F / \Delta \theta)$$

onde

L_T é o comprimento entre a extremidade engastada e o plano de torque. $L_T = 18b$;

l_t é o comprimento do braço de alavanca;

$\Delta F / \Delta \theta$ é a inclinação do gráfico de força-deslocamento;

θ é o ângulo de torção;

b é a largura da seção transversal do corpo de prova;

h é a altura da seção transversal do corpo de prova.

3. METODOLOGIA

O trabalho é uma revisão integrativa, método de pesquisa que visa sintetizar e analisar os resultados de diferentes estudos sobre uma temática específica, a fim de apresentar um panorama e conclusão sobre a mesma.

Para seleção do material foram feitas buscas na base de dados do google acadêmico de trabalhos

experimentais que satisfazem as condições de ensaio da NBR 7190-4. As palavras chave utilizadas foram: “NBR 7190”; “NBR 7190-4”; “peças estruturais de madeira”; “ensaio de madeira”.

4. TRABALHOS EXPERIMENTAIS PUBLICADOS

Neste item serão apresentados os artigos encontrados e que satisfazem as condições necessárias para realização correta de ensaios em peças estruturais, com descrição da metodologia realizada e resultados determinadas pelos autores.

4.1 Structural characterization of native species according to the new brazilian standard ABNT NBR 7190: 2022 – Part 4 (MORITANI ET AL., 2023)

Neste trabalho foram executados os ensaios de densidade e de resistência e rigidez à flexão em três espécies: Caixeta (*Simarouba amara*), Cedrinho (*Erismia sp.*) e Goiabão (*Planchonella pachycarpa*) e foram apresentados os resultados apresentados nas Tabelas 1,2 e 3.

Tabela 1. Resultados experimentais da espécie Caixeta (*Simarouba amara*).

Caixeta (<i>Simarouba amara</i>)	
Densidade média (kg/m ³) ρ _m	424
Módulo de Elasticidade longitudinal médio (GPa) E _{0,m}	10,7
Flexão (MPa) f _{b,k}	40
Tração paralela (MPa) f _{t,0,k}	18
Tração perpendicular (MPa) f _{t,90,k}	0,3
Compressão paralela (MPa) f _{c,0,k}	33
Compressão perpendicular (MPa) f _{c,90,k}	5,7
Cisalhamento (MPa) f _{v,k}	3

Fonte: MORITANI ET AL., (2023)

Com os resultados obtidos a espécie Caixeta (*Simarouba amara*) recebe a classificação D40 para peças estruturais.

Tabela 2. Resultados experimentais da espécie Cedrinho (*Erismia sp.*).

Cedrinho (<i>Erismia sp.</i>)	
Densidade média (kg/m ³) ρ _m	606
Módulo de Elasticidade longitudinal médio (GPa) E _{0,m}	12
Flexão (MPa) f _{b,k}	29
Tração paralela (MPa) f _{t,0,k}	26
Tração perpendicular (MPa) f _{t,90,k}	0,3
Compressão paralela (MPa) f _{c,0,k}	35
Compressão perpendicular (MPa) f _{c,90,k}	7,1
Cisalhamento (MPa) f _{v,k}	4,3

Fonte: MORITANI ET AL., (2023)

Com os resultados obtidos a espécie Cedrinho (*Erismia sp.*) recebe a classificação D24 para peças estruturais.

Tabela 3. Resultados experimentais da espécie Goiabão (*Planchonella pachycarpa*).

Goiabão (<i>Planchonella pachycarpa</i>)	
Densidade média (kg/m ³) ρ _m	902
Módulo de Elasticidade longitudinal médio (GPa) E _{0,m}	20,19
Flexão (MPa) f _{b,k}	72
Tração paralela (MPa) f _{t,0,k}	38
Tração perpendicular (MPa) f _{t,90,k}	0,2
Compressão paralela (MPa) f _{c,0,k}	49
Compressão perpendicular (MPa) f _{c,90,k}	17,5
Cisalhamento (MPa) f _{v,k}	6,1

Fonte: MORITANI ET AL., (2023)

Com os resultados obtidos a espécie Goiabão (*Planchonella pachycarpa*) recebe a classificação D70 para peças estruturais.

4.2 Comparação entre o módulo de elasticidade da madeira Peroba do Norte na flexão de peças estruturais e na compressão em corpos de prova (PEREIRA, 2022)

Neste trabalho foram executados o ensaio de flexão de peças estruturais para obtenção do módulo de elasticidade, com os resultados obtidos na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados experimentais da espécie Peroba do Norte (*Goupia glabra*).

Peroba do Norte (<i>Goupia glabra</i>)	
Flexão (MPa) $f_{b,k}$	54,09
Módulo de Elasticidade longitudinal característico (GPa) $E_{0,05}$	12,2674
Módulo de Elasticidade longitudinal médio (GPa) $E_{0,m}$	15,2881

Fonte: PEREIRA (2022)

Com os resultados obtidos a espécie Peroba do Norte (*Goupia glabra*) recebe a classificação D50 para peças estruturais.

4.3 Proposta de classes de resistência para peças estruturais de madeira: *Eucalyptus urograndis*, *Pinus taeda* e *Schizolobium amazonicum* (Paricá) (MORITANI., 2018)

Neste trabalho foram executados ensaios para caracterização de resistência para peças em dimensões estruturais para as espécies: Eucalipto-urograndis (*Eucalyptus urograndis*), Pinheiro-amarelo (*Pinus taeda*) e Paricá (*Schizolobium amazonicum*). Com os resultados apresentados nas Tabelas 5,6 e 7.

Tabela 5. Resultados experimentais da espécie Eucalipto-urograndis (*Eucalyptus urograndis*).

Eucalipto-urograndis (<i>Eucalyptus urograndis</i>)	
Densidade média (kg/m³) ρ_m	645
Módulo de Elasticidade longitudinal médio (GPa) $E_{0,m}$	11,95
Flexão (MPa) $f_{b,k}$	59,65
Tração paralela (MPa) $f_{t,0,k}$	55,91
Tração perpendicular (MPa) $f_{t,90,k}$	0,221
Compressão paralela (MPa) $f_{c,0,k}$	43,82
Compressão perpendicular (MPa) $f_{c,90,k}$	12,87
Cisalhamento (MPa) $f_{v,k}$	9,59

Fonte: MORITANI (2018)

Com os resultados obtidos a espécie *Eucalyptus urograndis* recebe a classificação D50 para peças estruturais.

Tabela 6. Resultados experimentais da espécie Paricá (*Schizolobium amazonicum*).

Paricá (<i>Schizolobium amazonicum</i>)	
Densidade média (kg/m³) ρ_m	325
Módulo de Elasticidade longitudinal médio (GPa) $E_{0,m}$	9,01
Flexão (MPa) $f_{b,k}$	47,32
Tração paralela (MPa) $f_{t,0,k}$	25,54
Tração perpendicular (MPa) $f_{t,90,k}$	0,099
Compressão paralela (MPa) $f_{c,0,k}$	25,51
Compressão perpendicular (MPa) $f_{c,90,k}$	5,85
Cisalhamento (MPa) $f_{v,k}$	4,02

Fonte: MORITANI (2018)

Com os resultados obtidos a espécie *Schizolobium amazonicum* recebe a classificação D40 para peças estruturais.

Tabela 7. Resultados experimentais da espécie Pinheiro-amarelo (*Pinus taeda*).

Pinheiro-amarelo (<i>Pinus taeda</i>)	
Densidade média (kg/m³) ρ_m	497
Módulo de Elasticidade longitudinal médio (GPa) $E_{0,m}$	7,413
Flexão (MPa) $f_{b,k}$	31,55
Tração paralela (MPa) $f_{t,0,k}$	20,74
Tração perpendicular (MPa) $f_{t,90,k}$	0,128
Compressão paralela (MPa) $f_{c,0,k}$	33,31
Compressão perpendicular (MPa) $f_{c,90,k}$	10,54
Cisalhamento (MPa) $f_{v,k}$	7,89

Fonte: MORITANI (2018)

Com os resultados obtidos a espécie *Pinus taeda* recebe a classificação C30 para peças estruturais.

5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Visto as classificações obtidas, foi possível a criação da seguinte tabela:

Tabela 8. Classes de resistência em ensaios de peças estruturais para espécies de madeira nativa do Brasil.

Classe	Nome Popular	Nome científico
C30	Pinheiro-amarelo	<i>Pinus taeda</i>
D24	Cedrinho	<i>Erismia sp</i>
D40	Caixeta	<i>Simarouba amara</i>
D40	Paricá	<i>Schizolobium amazonicum</i>
D50	Eucalipto-urograndis	<i>Eucalyptus urograndis</i>
D50	Peroba do Norte	<i>Goupia glabra</i>
D70	Goiabão	<i>Planchonella pachycarpa</i>

Fonte: Autor (2024)

Com a Tabela 9 podemos comparar as classes de resistência para peças estruturais e para corpos de prova das espécies que estão presentes no Quadro 2.

Tabela 9. Comparação de classes de resistência em ensaios de corpos de prova e de peças estruturais para mesma espécie de madeira nativa do Brasil.

Nome Popular	Nome Científico	Classe para Corpo de prova	Classe para Peça Estrutural
Cedrinho	<i>Erismia sp</i>	D20	D24
Caixeta	<i>Simarouba amara</i>	D20	D40
Peroba do Norte	<i>Goupia glabra</i>	D40	D50
Goiabão	<i>Planchonella pachycarpa</i>	D40	D70

Fonte: Autor (2024)

Os resultados na Tabela 9. expõem uma diferença de classes para classificação entre corpo de prova e peça estrutural de mesma espécie para as espécies Cedrinho, Caixeta, Peroba do Norte e Goiabão.

A espécie Cedrinho (*Erismia sp.*) é classificada como D20 para corpos de prova, porém recebeu a classificação D24 devido a resistência à flexão de 29MPa para peças estruturais. Seu módulo de elasticidade ($E_{0,m}$) calculado foi de 12 GPa, valor superior ao módulo de elasticidade pela classificação de corpos de prova, o qual é 10GPa.

A espécie Caixeta (*Simarouba amara*) é classificada como D20 para corpos de prova, porém recebeu a classificação D40 devido a resistência à flexão de 40MPa no ensaio de peças estruturais. Seu módulo de

elasticidade ($E_{0,m}$) calculado foi de 10,7 GPa, valor superior ao módulo de elasticidade pela classificação de corpos de prova, o qual é 10GPa.

A espécie Peroba do Norte (*Goupia glabra*) é classificada como D40 para corpos de prova, porém recebeu a classificação D50 devido a resistência à flexão de 54,09MPa no ensaio de peças estruturais. Seu módulo de elasticidade ($E_{0,m}$) calculado foi de 15,28 GPa, valor superior ao módulo de elasticidade pela classificação de corpos de prova, o qual é 14,5GPa.

A espécie Goiabão (*Planchonella pachycarpa*) é classificada como D40 para corpos de prova, porém recebeu a classificação D70 devido a resistência à flexão de 72MPa no ensaio de peças estruturais. Seu módulo de elasticidade ($E_{0,m}$) calculado foi de 20,19 GPa, valor superior ao módulo de elasticidade pela classificação de corpos de prova, o qual é 14,5GPa.

Sendo assim, para o dimensionamento de um projeto estrutural, a escolha entre o uso das propriedades da classificação por peças estruturais ou das propriedades da classificação por corpo de prova, pode resultar em diferentes deformações para uma mesma peça.

Com isso, resultados obtidos evidenciam que nos ensaios para peças estruturais obtêm-se uma classificação de resistência maior para algumas espécies, o que possibilita na fase de projeto a escolha de uma mesma espécie para resistir à maiores solicitações de esforços, resultando em um dimensionamento mais otimizado e econômico da estrutura.

6. CONCLUSÃO

Considerando os resultados obtidos, conclui-se que ainda há poucos ensaios para classificação de peças estruturais de acordo com a NBR 7190-4 (2022): Métodos de ensaio para caracterização peças estruturais.

Isso dificulta a especificação em projeto das classes de resistência definidas por meio de ensaios em peças estruturais, uma vez que não facilita a escolha da espécie para utilização na obra.

Os ensaios em peças estruturais podem proporcionar uma classificação mais precisa para seu uso, otimizando assim a utilização das propriedades de resistência da peça de madeira para uso estrutural.

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se realizar ensaios de peças estruturais das demais espécies para inclusão das mesmas na Tabela 9. Classes de resistência em ensaios de peças estruturais para espécies de madeira nativa do Brasil.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Madeira**, 6ª Edição. Editora LTC, Rio de Janeiro, 2003.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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. Rio de Janeiro, ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190-4**: Projeto de estruturas de madeira. Parte 4: Métodos de ensaio para caracterização peças estruturais. Rio de Janeiro, ABNT, 2022.

MORITANI, F. Y. **Proposta de classes de resistência para peças estruturais de madeira: *Eucalyptus urograndis*, *Pinus taeda* e *Schizolobium amazonicum* (Paricá)**. 2018. 176f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil (Estruturas)) – Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

MORITANI, F. Y., ICIMOTO, F. H., NOGUEIRA, R. S., CALIL JUNIOR, C., LUBE DOS SANTOS, L., & BALLARIN, A. W. (2022). **Caracterização estrutural de espécies nativas de acordo com a nova norma brasileira ABNT NBR 7190: 2022 - Parte 41**. Revista Brasileira de Ciências da Madeira, 13(4), 3084-3090. DOI: 10.52202/069179-0402.

PEREIRA, Custódia Anttonia Bispo. **COMPARAÇÃO ENTRE O MÓDULO DE ELASTICIDADE DA MADEIRA PEROBA DO NORTE NA FLEXÃO DE PEÇAS ESTRUTURAIS E NA COMPRESSÃO EM CORPOS DE PROVA**, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Curso de Engenharia Civil, 2023.