

CARACTERIZAÇÃO VISUAL E MECÂNICA DA ESPÉCIE DA MADEIRA EUCALIPTUS UROGRANDIS

Data de submissão: 27/09/2024

Data de aceite: 02/10/2024

Alan Rizzato Espessato

Docente Universidade Estadual de
Maringá - Campus Umuarama

Aline Naiara Zito

Docente Universidade Estadual de
Maringá - Campus Umuarama

João Henrique de Freitas

Docente Universidade Estadual de
Maringá - Campus Umuarama

Mariana Natale Fiorelli Fabiche

Docente Universidade Estadual de
Maringá - Campus Umuarama

Sidnei Reina Coutinho

Laboratorista da Universidade Estadual de
Maringá – Campus Umuarama

Olindo Savi

Docente Universidade Estadual de
Maringá - Campus Umuarama

RESUMO: Este trabalho investiga as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urograndis*, visando a aplicação na construção civil. Originária de reflorestamento, a madeira é uma opção sustentável e resistente, utilizada para estruturas sujeitas a esforços de flexão. A pesquisa foi realizada seguindo metodologia quali-quantitativa e experimental, em conformidade com a NBR 7190 – projeto de estruturas de madeira. As amostras foram obtidas da empresa Integração Florestal localizada em Altônia, PR. Os testes focaram na resistência à compressão, tração e cisalhamento, além da rigidez e densidade da madeira. Os resultados indicaram uma densidade média de 631,65 kg/m³ e variabilidade significativa atribuída à heterogeneidade natural do material. A resistência à compressão paralela às fibras foi de 40,39 MPa em média, com a resistência à flexão alcançando 46,32 MPa. Destaca-se a necessidade de estudos adicionais para uma melhor caracterização da espécie *Eucalyptus Urograndis* para a suas diversas aplicações na engenharia.

PALAVRAS-CHAVE: Construção civil; Reflorestamento; Estruturas; Aplicações na engenharia

INTRODUÇÃO

A utilização da madeira na construção civil remonta aos séculos passados, quando as obras mais importantes eram construídas principalmente com madeira ou pedra. As técnicas para aplicação na construção de estruturas de madeira foram estabelecidas apenas na primeira metade do século XX (Pfeil & Pfeil, 2003).

No Brasil, a madeira é utilizada para diversos fins, desde construção de residências até contenção de taludes, passando pela indústria moveleira e construções rurais. Apesar de sua versatilidade, a falta de projetos específicos muitas vezes gera preconceito em relação à sua utilização (Pons & Knop, 2020).

Pesquisas indicam que há uma parcela significativa de profissionais da construção civil que não utilizam madeira devido à falta de conhecimento sobre sua aplicação e à baixa oferta do produto no mercado (Pons & Knop, 2020). A madeira, quando proveniente de florestas bem controladas, é considerada um dos recursos mais sustentáveis, com grande importância na engenharia civil, especialmente em elementos estruturais sujeitos a esforços de flexão (Martins, 2010).

No entanto, ao longo do tempo, a madeira tem sido substituída pelo aço em diversas aplicações, desde estruturas de cobertura até escoramentos de formas e estruturas (Prezotto, 2017). Contudo visando retomar a utilização da madeira na construção civil, destaca-se, o reflorestamento com espécies de crescimento rápido, como o eucalipto, que tem sido uma prática indicada (Ferreira et al., 2017).

De acordo com o IPT (2023a) o *eucalyptus urograndis* é uma espécie de ocorrência em diversos países, sendo que no Brasil estão presentes nos estados do Amapá, Bahia, Espírito Santo, Goiás, Maranhão, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo.

As características sensoriais, de acordo com o IPT (2023a) é de uma madeira com cerne e alborno com cores distintas, sendo o cerne de coloração castanho-rosado-claro e o alborno com coloração bege-rosado, apresentam textura fina a média, de pouco brilho, com cheiro e gosto imperceptíveis, se caracterizando por uma madeira de baixa densidade e macia ao corte, com a grã direita, ou seja com paralelismo das fibras ou dos elementos anatômicos.

Ainda de acordo com o IPT (2023a) o eucalipto *urograndis* apresenta parênquima axial, portanto com um tecido formado com células dispostas e orientadas paralelamente ao eixo da árvore, com raios visíveis apenas sob lente, com vasos pequenos a médios, visíveis a olho nu, porosidade difusa, arranjo diagonal discretos, obstruídos por tilos e apresentam as camadas de crescimento distintas e individualizadas a partir de zonas fibrosas tangenciais de colorações mais pardas.

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar as principais características físicas e mecânicas da madeira espécie de eucalipto: *urograndis*. Foram investigadas as resistências à compressão, ao cisalhamento e à tração, com o intuito de analisar sua aplicabilidade em projeto de estrutura de madeira na construção civil.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa é quali-quantitativa aplicada e dedutiva experimental para obter as propriedades mecânicas e de rigidez da madeira natural da espécie de *Eucalyptus urograndis*.

A madeira de *Eucalyptus urograndis* utilizada nos ensaios tem origem na empresa Integração Florestal, localizada na Rodovia PR-487 que liga a cidade de Altônia ao distrito de São João, no km 5, município de Altônia-PR.

A Figura 1 (A) apresenta a textura da face tangencial da madeira natural de *Eucalyptus urograndis*, (B) na face radial e (C) é apresentada fotomicrografia da madeira onde se observa os vasos com porosidade difusa. Trata-se de uma imagem com ampliação de cerca de 1600x.

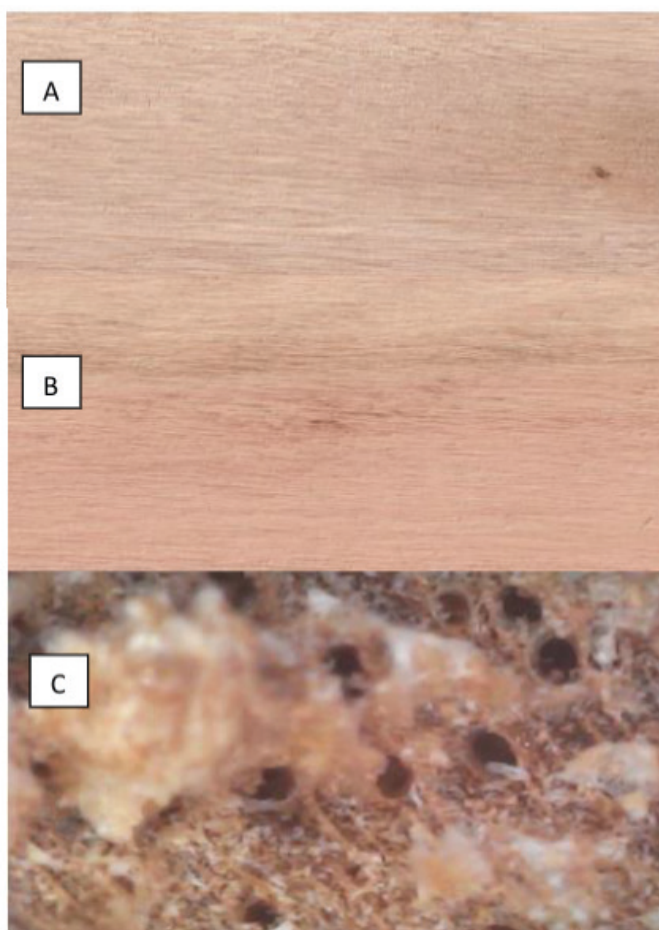


Figura 1 - Textura da madeira natural de *Eucalyptus urograndis* nas faces tangencial e radial.

A NBR 7190 (ABNT, 2022) estabelece diretrizes detalhadas para a caracterização das propriedades da madeira.

Propriedades e Ensaios de Caracterização da Madeira Maciça

Teor de Umidade: O teor de umidade é determinado pela diferença entre a massa inicial da madeira e sua massa após secagem, expresso como porcentagem da massa seca.

Densidade: A densidade define a massa específica da madeira e a NBR 7190 (ABNT, 2022) define como “densidade básica” como a massa específica convencional, obtida pela razão entre a massa seca e o volume saturado. De acordo com a norma, a massa seca é obtida pela redução da umidade em estufa a 103°C até obter massa constante enquanto para a obtenção do volume saturado os corpos de prova são submersos em água até que atinjam peso constante.

Resistência: A resistência é definida pela NBR 7190 (ABNT, 2022) como a capacidade de um material suportar tensões, e é determinada pela máxima tensão suportada pelo corpo de prova isento de defeito até que apareçam fenômenos cujo comportamento de ruptura ou deformação excessiva que imponham restrição de uso deste material em elementos estruturais. De acordo com a norma, na determinação da resistência devem ser consideradas a duração do carregamento e a umidade, que devem ser corrigidos para a umidade e duração de carregamento padrão. A NBR 7190 (ABNT, 2022) estabelece que os ensaios de resistência devem ser feitos com teores de umidade entre 10% e 25% e os resultados devem ser corrigidos para a umidade padrão de 12%. Para o ensaio utilizou-se de uma prensa da marca Emic 23-600 com célula de carga para 300 kN, com a deformação aferida por extensômetro com resolução de 0,0001 milímetros.

Resistência à Compressão Paralela às Fibras: Ensaio são feitos em corpos de prova com seção transversal quadrada, medindo-se a máxima força de compressão e calculando a resistência característica.

Resistência à Compressão Normal às Fibras: Utiliza-se o diagrama tensão x deformação específica para determinar a resistência e o módulo de elasticidade na direção normal às fibras.

Resistência à Tração Paralela às Fibras: Ensaio em corpos de prova alongados para determinar a máxima força de tração suportada, calculando também a resistência característica e o módulo de elasticidade.

Nomenclatura Utilizada na pesquisa

A nomenclatura utilizada para caracterizar os elementos amostrais de cada ensaio é um conjunto de letras maiúsculas que caracterizam os ensaios e a origem da madeira natural (N) e números, indicados como NXX no Quadro 1, para indicar a sequencial das quantidades de corpos de prova de cada amostra.

CPPNXX	Ensaio de rigidez da madeira
CSPNXX	Compressão simples paralela às fibras da madeira
CTNIXX	Compressão simples normal às fibras da madeira
TNINXX	Tração paralela às fibras da madeira
SHNI	Cisalhamento paralelo à fibras da madeira
FNIXX	Flexão da madeira

Quadro 1 - Nomenclatura utilizada para caracterizar as amostras ensaiadas

A madeira utilizada no presente estudo é a madeira natural da espécie *Eucalyptus urograndis*. Todos os ensaios necessários para a caracterização visual e mecânica foram realizados e os mesmos estão detalhados na sequência abaixo:

- Ensaio de rigidez para obtenção da resistência à compressão e módulo de elasticidade da madeira.
- Ensaio de densidade da madeira.
- Ensaio de flexão da madeira.
- Ensaio de tração paralela às fibras da madeira.
- Ensaio de cisalhamento
- Ensaio de resistência à compressão normal às fibras da madeira.
- Ensaio de resistência à compressão simples paralela às fibras da madeira, com a finalidade de verificar a correlação entre o ensaio normatizado e ensaio simplificado.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ensaio de rigidez

Os ensaios de rigidez da madeira natural de *Eucalyptus urograndis* foram realizados em uma amostra de 14 elementos, conforme a Figura 4, com dimensões conforme especificado na NBR 7190-3 (ABNT, 2022c).

Após os ensaios de rigidez foi extraído um corpo de prova para o ensaio de verificação da umidade da madeira que foram feitos de acordo com a NBR 7190-3 (ABNT, 2022c), na data de 12/03/2023, cujos resultados estão apresentados na Tabela 1, e que servirão para a determinação da resistência da madeira na umidade padrão.

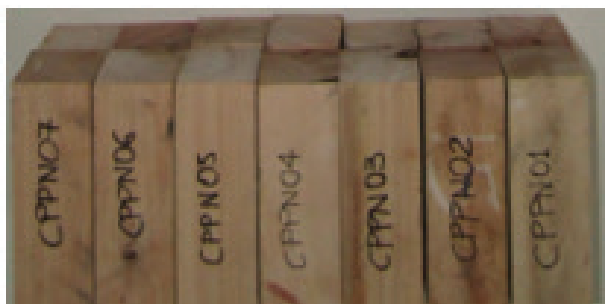


Figura 4 – Amostra de corpos de prova para ensaios de rigidez.

Corpo de prova	6 h	12 h		18 h		Umidade
	Peso (g)	Peso (g)	Variação	Peso (g)	Variação	
01	21,58	19,12	-11,40%	19,12	0,00%	12,87%
02	14,92	13,10	-12,20%	13,09	-0,08%	13,98%
03	21,30	18,77	-11,88%	18,78	0,05%	13,42%
04	20,00	17,62	-11,90%	17,62	0,00%	13,51%
05	19,04	16,85	-11,50%	16,84	-0,06%	13,06%
06	17,34	15,33	-11,59%	15,33	0,00%	13,11%
07	20,40	18,05	-11,52%	18,05	0,00%	13,02%
08	24,25	21,38	-11,84%	21,37	-0,05%	13,48%
09	17,60	15,52	-11,82%	15,53	0,06%	13,33%
10	24,82	21,82	-12,09%	21,82	0,00%	13,75%
11	16,94	14,93	-11,87%	14,98	0,33%	13,08%
12	19,09	16,82	-11,89%	16,86	0,24%	13,23%
13	26,85	23,65	-11,92%	23,67	0,08%	13,43%
14	21,09	18,60	-11,81%	18,65	0,27%	13,08%

Tabela 1 - Umidade dos corpos de prova utilizados nos ensaios de rigidez da madeira (CPPN)

De acordo com os resultados do ensaio, a umidade média dos elementos amostrais é de 13,31%.

Resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0})

A Tabela 2 apresenta os resultados da resistência à compressão da madeira paralela às fibras, que foram extraídos dos ensaios de rigidez.

Corpo de prova	Dimensões				Peso (gr)	Peso específico γ (gr/cm ³)	Força de ruptura F (kN)	f_{c0} - Resistência à compressão paralela às fibras (MPa)
	B (mm)	H (mm)	L (mm)	Seção (cm ²)				
01	48,1	48,1	151,1	23,1361	225,60	0,65	87,70	37,90
02	49,0	48,3	151,5	23,6670	225,14	0,63	68,32	28,87
03	48,4	48,6	151,6	23,5224	220,63	0,62	96,00	40,81
04	50,2	47,8	151,3	23,9956	230,59	0,64	69,01	28,76
05	49,2	48,4	151,5	23,8128	221,39	0,61	109,09	45,81
06	48,2	47,0	150,2	22,6540	211,08	0,62	99,57	43,95
07	47,8	47,9	151,5	22,8962	207,01	0,60	93,73	40,94
08	49,3	51,0	151,4	25,1430	275,22	0,72	124,97	49,70
09	48,0	47,1	151,8	22,6080	197,22	0,57	76,57	33,87
10	47,2	49,4	151,3	23,3168	239,00	0,68	93,10	39,93
11	49,2	48,2	151,5	23,7144	187,98	0,52	79,79	34,71
12	48,3	47,6	151,3	22,9908	225,40	0,65	82,89	34,96
13	48,8	47,9	151,4	23,3752	271,92	0,77	139,91	59,85
14	47,5	48,3	150,9	22,9425	223,30	0,64	104,08	45,36

Tabela 2 - Resultado dos ensaios de resistência à compressão paralela às fibras (CPPN)

A madeira de *Eucalyptus urograndis* apresentou uma resistência média à compressão paralela às fibras (f_{c0}) de 40,39 MPa, com um desvio padrão de 8,37 MPa, apresentando valores mínimo de 28,76 MPa e máximo 59,85 MPa, com uma amplitude de 31,09 MPa e um coeficiente de variação de 20,72%.

Os limites intervalares, mínimo e máximo, são definidos de acordo com o item 9.2.2 da NBR 7190-4 (ABNT, 2022d), para 5-percentil, assim, o nível de confiança é de 90%.

$$I = \bar{X} \pm t_{1-\alpha; n-1} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

onde: I = limites intervalares; \bar{X} = a média amostral; $t_{1-\alpha; n-1}$ = distribuição “t” de Student para o nível de confiança para o número de elementos amostrais menos 1, σ desvio padrão e “n” o número de elementos amostrais.

$$t_{0,90;13} = 1,771.$$

$$I = 40,39 \pm 1,771 \cdot \frac{8,37}{\sqrt{14}} = 40,39 \pm 3,96$$

Valor mínimo = 36,43 MPa e valor máximo = 44,35 MPa.

A resistência característica a compressão da madeira foi determinada de acordo com o item 4.6 da NBR 7190-3 (ABNT, 2022c), da seguinte forma:

$$X_{wk} = \left(2 \cdot \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2} - 1} - X_{\frac{n}{2}} \right) \cdot 1,1$$

Onde os valores são colocados em ordem crescente $X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq X_n$, desprezando-se o maior valor caso o número de corpos de prova for ímpar, não se tomando para X_{wk} valor inferior a X_1 , nem a 0,7 do valor médio da amostra completa (X_m), nem superior a X_m .

Desta forma, a resistência característica será: $f_{c0,k} = 30,06$ MPa.

Considerando que a umidade observada de 13,31% ficou no intervalo de 10% a 20%, de acordo com a NBR 7090-2 (ABNT, 2022) a correção da resistência à compressão, para a umidade padrão de 12%, pode ser feita de acordo com o item 9.1, aplicando uma redução de 3% para cada percentual de ganho de umidade, ou seja:

$$\sigma_{12} = \sigma_{test} (1 + 0,03 (U\% - 12\%))$$

onde:

σ_{12} é a resistência da madeira a 12% de umidade,

σ_{test} é a resistência da madeira ensaiada e

U a umidade da madeira.

Neste caso os valores corrigidos são respectivamente para a resistência característica, resistência média, mínima e máxima: $f_{c0,k} = 30,21$ MPa, $f_{c0,med} = 41,98$ MPa, $f_{c0,min} = 37,86$ MPa e $f_{c0,max} = 46,09$ MPa.

Resistência característica encontrada foi de 30,06 MPa. Os valores obtidos são inferiores aos observados por IPT (2003) com umidade de 15%, cujo valor para madeiras de *Eucalyptus urograndis* foi de 42,1 MPa. Porém, a resistência observada de 30,06 MPa, de acordo com a NBR 7190-1 (ABNT, 2022a), permite o enquadramento da madeira na Classe de resistência C50 para peças estruturais.

Correção da resistência para umidade padrão de 12% utilizando a regressão linear

A análise da correção da umidade foi realizada também utilizando método de regressão, assim foi formulado modelo que relacione a tensão resultante com a força de ruptura, a seção transversal do corpo de prova e a umidade da madeira. Para o melhor ajuste, as variáveis tiveram sua escala transformada de forma a obter o melhor coeficiente de correlação, desta forma:

{Força (F): $\ln(x)$; Seção transversal (S): x ; Umidade (U): $1/x^2$ e Tensão: $\ln(y)$ }.

O modelo foi simulado com a utilização da ferramenta de análise de dados da planilha de cálculo do Excel e apresentou os seguintes resultados conforme sequência a seguir.

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,998
R-Quadrado	0,997
R-quadrado ajustado	0,996
Erro padrão	0,013
Observações	14

ANOVA

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	3	0,51655	0,17218	1016,47	1E-12
Resíduo	10	0,00169	0,00017		
Total	13	0,51825			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	-0,039	0,18647	-0,20658	0,84048	-0,45399	0,37695	-0,45399	0,37695
Força - F	0,991	0,01898	52,2001	1,6E-13	0,94847	1,03305	0,94847	1,03305
Seção - S	-0,036	0,00614	-5,83535	0,00016	-0,04952	-0,02215	-0,04952	-0,02215
Umidade - U	0,001	0,00158	0,77179	0,45809	-0,00231	0,00475	-0,00231	0,00475

O modelo apresentou uma fortíssima correlação e um nível de significância superior a 99%, com a seguinte equação:

$$\sigma = e^{-0,039 + 0,991 \cdot \ln(F) - 0,036 \cdot S + \frac{0,001}{U^2}}$$

Aplicando-se o modelo de estimação dos valores, e tomando a umidade com o teor de 12%, obteve-se os seguintes resultados:

CP	F (kN)	S (cm ²)	Umidade	Simulação por Inferência
01	87,70	23,1361	12,87%	38,46
02	68,32	23,6670	13,98%	29,46
03	96,00	23,5224	13,42%	41,49
04	69,01	23,9956	13,51%	29,41
05	109,09	23,8128	13,06%	46,60
06	99,57	22,6540	13,11%	44,38
07	93,73	22,8962	13,02%	41,43
08	124,97	25,1430	13,48%	50,84
09	76,57	22,6080	13,33%	34,26
10	93,10	23,3168	13,75%	40,54
11	79,79	23,7144	13,08%	34,30
12	82,89	22,9908	13,23%	36,56
13	139,91	23,3752	13,43%	60,58
14	104,08	22,9425	13,08%	45,89

Tabela 3 – Simulação por inferência (CPPN)

De acordo com os resultados obtidos com o uso da regressão linear, tem-se:

- Valor médio: 41,01 MPa
- Valor mínimo: 34,20 MPa
- Valor máximo: 47,83 MPa

Os valores estão compatíveis com os obtidos utilizando o critério da NBR 7190-3 (ABNT, 2022c), apresentando uma variação de -2,31% na resistência média da madeira ensaiada.

Módulo de elasticidade paralela às fibras da madeira natural de *Eucalyptus urograndis*

Dos ensaios de rigidez da madeira de *Eucalyptus urograndis* foram extraídos os resultados para caracterização do módulo de elasticidade, conforme a Tabela 4.

Corpo de prova	σ (MPa)	s 50%	σ 10%	ε 50%	ε 10%	Ec (GPa)
01	38,63	19,315	4,000	0,14777	0,03657	13,77
02	29,07	14,535	4,000	0,39783	0,25404	7,33
03	40,81	20,405	4,081	0,13247	0,02713	15,50
04	28,76	14,380	4,000	0,02596	-0,02958	18,69
05	45,81	22,905	4,581	0,17030	0,04335	14,43
06	43,95	21,975	4,395	0,17660	0,04210	13,07
07	40,94	20,470	4,094	0,15171	0,03097	13,56
08	49,70	24,850	4,970	0,12620	0,02778	20,20
09	35,19	17,595	4,000	0,14704	0,03980	12,68
10	39,93	19,965	4,000	0,13080	0,02119	14,57
11	34,71	17,355	4,000	0,19906	0,06066	9,65
12	35,17	17,585	4,000	0,16505	0,04192	11,03
13	59,85	29,925	5,985	0,10310	0,02891	32,27
14	45,36	22,680	4,536	0,14120	0,03505	17,09

Tabela 4 - Módulo de elasticidade da madeira de *Eucalypto urograndis* (CPPN)

A análise feita com a ferramenta *boxplot* indicou que o elemento amostral CPPN13 pode ser um dado discrepante. Como não se observou qualquer condição que pudesse justificar a variação apresentada, o dado foi excluído do processo de obtenção dos valores característicos da amostra. Desta forma, os resultados indicam um valor médio de 13,97 GPa, com um desvio padrão de 3,51 GPa. Apresenta um valor mínimo de 7,33 GPa, com um valor máximo de 20,20 GPa, portanto com uma amplitude de 12,87 GPa e com um coeficiente de variação de 21,1%.

Considerando que o coeficiente de variação de 21,1% é bastante expressivo, será determinado o intervalo de confiança ao nível de 99%.

$$I = \bar{X} \pm t_{1-\alpha; n-1} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

onde: I = limites intervalares; \bar{X} = a média amostral; $t_{1-\alpha; n-1}$ = distribuição “t” de Student para o nível de confiança para o número de elementos amostrais menos 1, σ = desvio padrão e “n” o número de elementos amostrais.

$$t_{0,99;13} = 3,055.$$

$$I = 13,97 \pm 3,055 \cdot \frac{3,51}{\sqrt{13}} = 13,97 \pm 2,97$$

Valor mínimo = 11,00 GPa e valor máximo = 16,94 GPa.

Considerando que a umidade observada de 13,31% ficou no intervalo de 10% a 20%, de acordo com a NBR 7090-2 (ABNT, 2022) a correção do módulo de elasticidade, para a umidade padrão de 12%, pode ser feita de acordo com o item 9.1, aplicando uma redução de 2% para cada percentual de ganho de umidade, ou seja:

$$E_{12} = E_{\text{test}} (1+0,02(U\%-12\%))$$

Onde: E_{12} é o módulo de elasticidade da madeira a 12% de umidade, E_{test} é o módulo de elasticidade da madeira ensaiada e U a umidade da madeira, neste caso a umidade média, assim, os valores corrigidos são:

- Valor médio: 14,34 GPa = 14.340 MPa
- Valor mínimo: 11,29 GPa = 11.290 MPa
- Valor máximo: 17,41 GPa = 17.410 MPa
- Resistência característica: 10,03 GPa = 10.030 MPa

A resistência característica obtida é inferior aos valores obtidos por IPT (2003), no entanto, o valor médio de 14.340 MPa é compatível com os valores obtidos por IPT (2003), pela resistência característica, a classificação mecânica da madeira, de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 2022) é Classe 3.

Densidade da madeira

A densidade da madeira natural foi determinada de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 2022), utilizando a mesma amostra de corpos de prova utilizada para os ensaios de rigidez, fazendo a pesagem no momento anterior à ruptura e obtendo-se a umidade no momento imediatamente posterior ao da ruptura, cujos resultados estão apresentados na Tabela 5. Utilizou-se também o ajuste da umidade para 12%.

CP	B (mm)	H (mm)	L (mm)	S (cm ²)	P (gr)	p (kg/m ³)	p ₁₂ (kg/m ³)
01	48,1	48,1	151,1	23,1361	225,60	645,33	648,14
02	49,0	48,3	151,5	23,6670	225,14	627,91	634,13
03	48,4	48,6	151,6	23,5224	220,63	618,71	623,10
04	50,2	47,8	151,3	23,9956	230,59	635,14	639,94
05	49,2	48,4	151,5	23,8128	221,39	613,67	616,92
06	48,2	47,0	150,2	22,6540	211,08	620,34	623,78
07	47,8	47,9	151,5	22,8962	207,01	596,78	599,82
08	49,3	51,0	151,4	25,1430	275,22	723,00	728,35
09	48,0	47,1	151,8	22,6080	197,22	574,67	578,49
10	47,2	49,4	151,3	23,3168	239,00	677,47	683,40
11	49,2	48,2	151,5	23,7144	187,98	523,22	526,05
12	48,3	47,6	151,3	22,9908	225,40	647,98	651,97
13	48,8	47,9	151,4	23,3752	271,92	768,35	773,84
14	47,5	48,3	150,9	22,9425	223,30	645,00	648,48

Tabela 5 - Ensaio de obtenção da densidade da madeira

A análise feita com a ferramenta Boxplot indicou que os elementos CPPN8, CPPN11 e CPPN13 apresentaram-se como dados discrepantes, podendo ser caracterizados como outliers, assim, no tratamento estatístico, foram eliminados da amostra.

Os resultados indicam uma densidade média de 631,65 kg/m³, com um desvio padrão de 28,13 kg/m³. Apresenta um valor mínimo de 578,49 kg/m³, com um valor máximo de 683,40 kg/m³, portanto com uma amplitude 104,91 kg/m³ e um coeficiente de variação de 4,5%

Os resultados permitem a classificação mecânica da madeira como Classe 2 pela NBR 7190-2 (ABNT, 2022b).

A densidade característica da madeira de *Eucalyptus urograndis* ensaiado é de 643,93 kg/m³.

Ensaio de flexão

Os ensaios de flexão da madeira natural de *Eucalyptus urograndis* foram realizados em uma amostra composta por 30 corpos de prova com dimensões de 5 x 5 x 105 centímetros, conforme a Figura 5, cujas dimensões estão de acordo com o especificado na 7190 (ABNT, 2022).

A madeira serrada foi armazenada no laboratório pelo período de 12 meses antes da realização dos ensaios. Após esse período foi realizada a caracterização visual, onde observou-se que as peças sofreram encurvamento de até 14 mm e arqueamento de até 10 mm, conforme se observa na Figura 5

Observou-se ainda que cinco corpos de prova apresentaram detalhes: FNI04 apresentou torcimento, FNI05 e FNI06 apresentaram fissuras próximas à região central, FNI17 apresentou um nó e o FNI28 apresentou fissuras ao longo da peça.



Figura 5 - Corpos de prova de madeira natural de *eucalyptus urograndis* para ensaios de flexão

Os valores observados no arqueamento e encurvamento estão apresentados na Tabela 6. Os valores observados no arqueamento e encurvamento é superior ao admitido pela NBR 7190 (ABNT, 2022), que respectivamente estabelece os limites de 3 mm para cada 2 metros de comprimento e 8 mm para cada 3 metros de comprimento.

Corpo de prova	Dimensões		Deformações	
	b (cm)	h (cm)	Encurvamento (mm)	Arqueamento (mm)
01	4,9	4,9	5	2
02	4,9	5,0	2	3
03	4,8	4,9	4	3
04	4,8	5,0	2	8
05	4,7	4,9	2	8
06	4,8	4,9	6	3
07	4,8	5,0	2	3
08	4,7	4,9	4	5
09	4,8	5,0	6	3
10	4,8	4,9	6	9
11	5,0	5,0	7	7
12	4,8	4,9	3	3
13	4,8	5,0	3	10
14	4,8	5,0	4	5
15	5,0	5,0	10	3
16	4,9	4,9	8	6
17	4,9	5,0	5	5
18	4,9	4,9	14	2
19	4,8	4,9	3	3
20	4,8	4,9	4	1
21	4,8	4,9	2	3
22	5,0	5,0	5	5
23	4,7	5,0	2	5
24	5,0	5,0	5	3
25	4,7	4,9	10	1
26	4,7	5,0	1	1
27	4,9	5,0	5	4
28	4,8	4,8	5	3
29	4,8	5,0	10	4
30	4,9	4,9	4	2

Tabela 6 - Dimensões e deformações observadas na amostra para ensaio de flexão (FNI)

A madeira foi ensaiada à flexão conforme apresentado na Figura 6 e cujos resultados são apresentados na Tabela 7.



Figura 6 - Ensaio de flexão

Após os ensaios de flexão de cada elemento, foi extraído um corpo de prova para o ensaio de verificação da umidade da madeira, que ficou acondicionado em um recipiente plástico selado para preservar a umidade do momento do ensaio.

Os corpos de prova foram então ensaiados de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 2022), cujos resultados estão apresentados na Tabela 7 e que servirão para a determinação da resistência da madeira na umidade padrão.

Data	19/12/22		19/12/22		20/12/22		20/12/22		20/12/22		Umidade
Hora	18:00	0:00		6:00		12:00		18:00			
01	25,09	22,78	9,21%	21,91	3,82%	21,76	0,68%	21,72	0,18%	15,52%	
02	23,31	21,85	6,26%	20,23	7,41%	20,13	0,49%	20,10	0,15%	15,97%	
03	24,34	22,21	8,75%	21,42	3,56%	21,20	1,03%	21,15	0,24%	15,08%	
04	23,09	21,03	8,92%	19,99	4,95%	19,94	0,25%	19,92	0,10%	15,91%	
05	22,80	20,79	8,82%	19,85	4,52%	19,75	0,50%	19,73	0,10%	15,56%	
06	25,56	23,54	7,90%	22,47	4,55%	22,12	1,56%	22,01	0,50%	16,13%	
07	28,26	26,26	7,08%	24,12	8,15%	23,99	0,54%	23,98	0,04%	17,85%	
08	29,80	28,89	3,05%	26,23	9,21%	25,52	2,71%	25,42	0,39%	17,23%	
09	26,07	24,64	5,49%	22,50	8,69%	22,29	0,93%	22,24	0,22%	17,22%	
10	24,87	22,84	8,16%	21,52	5,78%	21,42	0,46%	21,39	0,14%	16,27%	
11	26,71	24,92	6,70%	23,64	5,14%	23,26	1,61%	23,14	0,52%	15,43%	
12	25,70	24,55	4,47%	21,99	10,43%	21,85	0,64%	21,82	0,14%	17,78%	
13	24,53	23,33	4,89%	21,15	9,34%	20,98	0,80%	20,92	0,29%	17,26%	
14	24,46	23,05	5,76%	21,35	7,38%	20,89	2,15%	20,88	0,05%	17,15%	
15	27,09	25,04	7,57%	23,33	6,83%	23,19	0,60%	23,16	0,13%	16,97%	
16	28,75	26,79	6,82%	24,97	6,79%	24,66	1,24%	24,57	0,36%	17,01%	
17	32,59	31,56	3,16%	27,99	11,31%	27,92	0,25%	27,89	0,11%	16,85%	
18	27,20	25,55	6,07%	24,21	5,24%	23,33	3,63%	23,22	0,47%	17,14%	
19	29,46	28,37	3,70%	25,77	9,16%	25,22	2,13%	25,11	0,44%	17,32%	
20	22,68	21,13	6,83%	20,06	5,06%	19,87	0,95%	19,81	0,30%	14,49%	
21	23,74	21,98	7,41%	20,65	6,05%	20,44	1,02%	20,39	0,24%	16,43%	
22	26,80	24,93	6,98%	23,49	5,78%	23,32	0,72%	23,29	0,13%	15,07%	
23	26,08	25,20	3,37%	23,19	7,98%	22,35	3,62%	22,25	0,45%	17,21%	
24	28,02	26,14	6,71%	24,15	7,61%	23,87	1,16%	23,83	0,17%	17,58%	
25	27,68	25,98	6,14%	23,73	8,66%	23,65	0,34%	23,63	0,08%	17,14%	
26	24,94	22,96	7,94%	22,26	3,05%	22,14	0,54%	22,11	0,14%	12,80%	
27	24,55	22,10	9,98%	21,01	4,93%	20,96	0,24%	20,95	0,05%	17,18%	
28	26,78	24,76	7,54%	23,41	5,45%	23,23	0,77%	23,18	0,22%	15,53%	
29	23,45	21,68	7,55%	20,50	5,44%	20,34	0,78%	20,30	0,20%	15,52%	
30	26,02	24,14	7,23%	22,77	5,68%	22,64	0,57%	22,62	0,09%	15,03%	

Tabela 7 - Variação da pesagem e umidade resultante dos corpos de prova da madeira utilizada no ensaio de flexão (FNI)

A madeira apresentou umidade média de 16,32%, variando de 12,80% a 17,85%.

Na Tabela 8 estão apresentados os resultados dos ensaios de flexão. Consta ainda da tabela as informações do encurvamento da madeira, medido no plano horizontal da peça e o arqueamento, medido no plano vertical da peça (plano do ensaio de flexão). Está também indicada a flecha da madeira no início dos ensaios, que de forma aleatória as peças foram ensaiadas com flecha negativa, indicando que o arqueamento estava voltado para cima e positiva, com o arqueamento voltado para baixo.

Corpo de prova	Seção		Deformação observada		Seção transversal (cm ²)	Força de ruptura (kg)	Flecha no ensaio (mm)	Deslocamento (mm)
	b (cm)	h (cm)	Encurvamento (mm)	Arqueamento (mm)				
01	4,9	4,9	5	2	24,01	391,890	-2	20,27
02	4,9	5	2	3	24,50	481,920	-3	36,28
03	4,8	4,9	4	3	23,52	326,320	3	23,06
04	4,8	5	2	8	24,00	403,640	-8	31,39
05	4,7	4,9	2	8	23,03	383,080	-8	25,08
06	4,8	4,9	6	3	23,52	209,860	3	13,44
07	4,8	5	2	3	24,00	198,110	-3	13,96
08	4,7	4,9	4	5	23,03	284,240	5	16,84
09	4,8	5	6	3	24,00	250,970	3	13,75
10	4,8	4,9	6	9	23,52	379,160	9	16,47
11	5	5	7	7	25,00	434,950		27,72
12	4,8	4,9	3	3	23,52	278,370	3	16,83
13	4,8	5	3	10	24,00	448,650	-10	32,86
14	4,8	5	4	5	24,00	483,880	-5	27,19
15	5	5	10	3	25,00	473,120		32,33
16	4,9	4,9	8	6	24,01	506,390		34,97
17	4,9	5	5	5	24,50	284,240		19,16
18	4,9	4,9	14	2	24,01	425,160		23,33
19	4,8	4,9	3	3	23,52	340,020		18,90
20	4,8	4,9	4	1	23,52	314,580		15,84
21	4,8	4,9	2	3	23,52	306,740	3	20,07
22	5	5	5	5	25,00	129,610		10,22
23	4,7	5	2	5	23,50	341,980		17,46
24	5	5	5	3	25,00	557,280		35,89
25	4,7	4,9	10	1	23,03	412,440		19,47
26	4,7	5	1	1	23,50	331,220	-1	20,09
27	4,9	5	5	4	24,50	268,580		15,40
28	4,8	4,8	5	3	23,04	217,690		16,26
29	4,8	5	10	4	24,00	365,470		22,70
30	4,9	4,9	4	2	24,01	427,120		19,06

Tabela 8 - Resultados dos ensaios de flexão (FNI)

Com base nos resultados dos ensaios, foi determinada a resistência à flexão da madeira, conforme a Tabela 9.

Corpo de prova	Dimensões			Força de ruptura (N)	Cálculos		
	b (cm)	h (cm)	Seção transversal (cm ²)		Momento fletor (N.m)	Módulo de resistência (m ³)	Resistência a flexão (MPa)
01	4,9	4,9	24,01	3.843,27	1.008,86	0,0000196082	51,45
02	4,9	5,0	24,50	4.726,19	1.240,62	0,0000204167	60,76
03	4,8	4,9	23,52	3.200,22	840,06	0,0000192080	43,73
04	4,8	5,0	24,00	3.958,50	1.039,11	0,0000200000	51,95
05	4,7	4,9	23,03	3.756,87	986,18	0,0000188078	52,43
06	4,8	4,9	23,52	2.058,10	540,25	0,0000192080	28,13
07	4,8	5,0	24,00	1.942,86	510,00	0,0000200000	25,50
08	4,7	4,9	23,03	2.787,54	731,73	0,0000188078	38,90
09	4,8	5,0	24,00	2.461,26	646,08	0,0000200000	32,30
10	4,8	4,9	23,52	3.718,42	976,09	0,0000192080	50,82
11	5,0	5,0	25,00	4.265,55	1.119,71	0,0000208333	53,75
12	4,8	4,9	23,52	2.729,97	716,62	0,0000192080	37,31
13	4,8	5,0	24,00	4.399,91	1.154,98	0,0000200000	57,75
14	4,8	5,0	24,00	4.745,41	1.245,67	0,0000200000	62,28
15	5,0	5,0	25,00	4.639,89	1.217,97	0,0000208333	58,46
16	4,9	4,9	24,01	4.966,17	1.303,62	0,0000196082	66,48
17	4,9	5,0	24,50	2.787,54	731,73	0,0000204167	35,84
18	4,9	4,9	24,01	4.169,54	1.094,50	0,0000196082	55,82
19	4,8	4,9	23,52	3.334,58	875,33	0,0000192080	45,57
20	4,8	4,9	23,52	3.085,09	809,84	0,0000192080	42,16
21	4,8	4,9	23,52	3.008,20	789,65	0,0000192080	41,11
22	5,0	5,0	25,00	1.271,09	333,66	0,0000208333	16,02
23	4,7	5,0	23,50	3.353,80	880,37	0,0000195833	44,95
24	5,0	5,0	25,00	5.465,24	1.434,63	0,0000208333	68,86
25	4,7	4,9	23,03	4.044,80	1.061,76	0,0000188078	56,45
26	4,7	5,0	23,50	3.248,27	852,67	0,0000195833	43,54
27	4,9	5,0	24,50	2.633,96	691,41	0,0000204167	33,86
28	4,8	4,8	23,04	2.134,89	560,41	0,0000184320	30,40
29	4,8	5,0	24,00	3.584,16	940,84	0,0000200000	47,04
30	4,9	4,9	24,01	4.188,77	1.099,55	0,0000196082	56,08

Tabela 9 - Resistência a flexão (FNI)

A verificação da presença de dados discrepantes na amostra, utilizando a metodologia do boxplot não indicou a presença de outliers, portanto o tratamento estatístico será feito com todos os elementos amostrais.

O resultado indicou que o valor médio da amostra corresponde à 46,32 MPa, com um desvio padrão de 12,74 MPa, valor mínimo de 16,02 MPa e máximo de 68,86 MPa, com uma amplitude de 52,84 MPa e um coeficiente de variação de 27,5%.

Considerando um intervalo de confiança ao nível de 99%, os limites mínimo e máximo são.

$$I = \bar{X} \pm t_{1-\alpha; n-1} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

onde: I = limites intervalares; \bar{X} = a média amostral; $t_{1-\alpha; n-1}$ = distribuição “t” de Student para o nível de confiança para o número de elementos amostrais menos 1, σ = desvio padrão e “n” o número de elementos amostrais.

$t_{0,99;29} = 2,756$.

$$I = 46,32 \pm 2,756 \cdot \frac{12,74}{\sqrt{30}} = 46,32 \pm 6,41$$

Valor mínimo = 39,91 MPa e valor máximo = 52,73 MPa.

Considerando que a umidade média observada foi de 16,32%, ficou no intervalo de 10% a 25%, de acordo com a NBR 7090-1 (ABNT, 2022) a correção da resistência à flexão, para a umidade padrão de 12%, pode ser feita em conformidade com o item 5.3 da norma, aplicando uma redução de 3% para cada percentual de ganho de umidade, ou seja:

$$f_{12} = f_{\text{test}} (1 + 0,03 (U\% - 12\%))$$

onde: f_{12} é a resistência à flexão da madeira a 12% de umidade, f_{test} é a resistência à flexão da madeira ensaiada e U a umidade da madeira, neste caso a umidade média, assim, os valores corrigidos são:

- Valor médio: 52,37 MPa
- Valor mínimo: 45,08 MPa
- Valor máximo: 59,56 MPa
- Resistência característica: 36,66 MPa

Os valores são inferiores aos obtidos pelo IPT (2003), de 75,6 MPa e Oliveira (2013), de 75,7 Mpa. O resultado permite a classificação mecânica da madeira, de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 2022) como Classe 3.

Módulo de elasticidade a flexão paralela às fibras da madeira natural de *Eucalyptus urograndis*

Dos resultados dos ensaios de flexão da madeira de *Eucalyptus urograndis* foram extraídos os esforços (F) e a deformação (ϵ) para 50% e 10% da força de ruptura, conforme a Tabela 1.

Como os ensaios foram iniciados com uma pré-carga de 196,2 N, os elementos FNI07 e FNI22 apresentaram forças de 10% inferiores a este valor, assim foram desconsiderados dos cálculos e tratamentos estatísticos.

Elemento	Esforços		Deformações		E_t (MPa)
	$F_{50\%}$	$F_{10\%}$	$\epsilon_{50\%}$	$\epsilon_{10\%}$	
01	1.921,60	384,32	7,7904	0,9237	11.239
02	2.363,05	472,61	10,9992	1,2680	9.179
03	1.600,10	320,02	7,1561	0,6324	10.056
04	1.979,20	395,84	9,2720	0,9964	9.229
05	1.878,40	375,68	9,3916	1,0014	9.374
06	1.029,05	205,81	8,4452	0,0656	5.035
08	1.393,75	278,75	6,0171	0,4066	10.401
09	1.230,60	246,12	5,1932	0,2682	9.642
10	1.859,20	371,84	6,9138	0,7018	12.271
11	2.132,75	426,55	9,7124	1,0843	9.157
12	1.364,95	272,99	6,3480	0,3569	9.341
13	2.199,90	439,98	9,5816	1,1206	10.033
14	2.372,65	474,53	9,3040	1,1457	11.222
15	2.319,90	463,98	9,8154	1,1379	9.904
16	2.483,05	496,61	10,5420	1,3300	10.825
17	1.393,75	278,75	6,9428	0,4437	8.106
18	2.084,75	416,95	8,7089	0,9622	10.808
19	1.667,25	333,45	7,3779	0,6427	10.149
20	1.542,50	308,50	6,3311	0,5804	10.997
21	1.504,10	300,82	7,1450	0,5486	9.348
23	1.676,85	335,37	6,9859	0,6021	10.352
24	2.732,55	546,51	10,1650	1,4020	11.551
25	2.022,35	404,47	8,4590	0,8964	11.197
26	1.624,10	324,82	7,8891	0,7102	8.915
27	1.316,95	263,39	6,3837	0,3839	8.297
28	1.067,45	213,49	5,6230	0,1119	8.448
29	1.792,05	358,41	8,9230	0,8176	8.531
30	2.094,35	418,87	7,1248	0,8134	13.327

Tabela 1 - Esforços, deformação e módulo de elasticidade na flexão (FNI)

A análise feita com a ferramenta *boxplot* indicou que o elemento amostral FNI06 pode ser um dado discrepante, possível *outlier*, portanto foi excluído do processo de obtenção dos valores característicos da amostra. Desta forma, os resultados indicam um valor médio de 10,07 GPa, com um desvio padrão de 1,26 GPa. Apresenta um valor mínimo de 8,11 GPa, com um valor máximo de 13,33 GPa, portanto com uma amplitude de 5,22 GPa e com um coeficiente de variação de 12,5%.

Considerando que o coeficiente de variação de 12,5% é bastante expressivo, será determinado o intervalo de confiança ao nível de 99%.

$$I = \bar{X} \pm t_{1-\alpha; n-1} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

onde: I = limites intervalares; \bar{X} = a média amostral; $t_{1-\alpha; n-1}$ = distribuição “t” de Student para o nível de confiança para o número de elementos amostrais menos 1, σ = desvio padrão e “n” o número de elementos amostrais.

$$t_{0,99;27} = 2,771.$$

$$I = 10,07 \pm 2,771 \cdot \frac{1,26}{\sqrt{27}} = 10,07 \pm 0,67$$

Valor mínimo = 9,70 GPa e valor máximo = 10,74 GPa.

Considerando que a umidade observada de 16,32% ficou no intervalo de 10% a 20%, de acordo com a NBR 7090-2 (ABNT, 2022) a correção do módulo de elasticidade, para a umidade padrão de 12%, pode ser feita de acordo com o item 9.1, aplicando uma redução de 2% para cada percentual de ganho de umidade, ou seja:

$$E_{12} = E_{\text{test}} (1 + 0,02(U\% - 12\%))$$

onde: E_{12} é o módulo de elasticidade da madeira a 12% de umidade, E_{test} é o módulo de elasticidade da madeira ensaiada e U a umidade da madeira, neste caso a umidade média, assim, os valores corrigidos são:

- Valor médio: 10,94 GPa = 10.940 MPa
- Valor mínimo: 10,54 GPa = 10.540 MPa
- Valor máximo: 11,67 GPa = 11.670 MPa
- Resistência característica: 9,56 GPa = 9.560 MPa

Ensaio de tração paralela às fibras da madeira.

Os ensaios de tração paralela às fibras da madeira natural de *Eucalyptus urograndis* foram realizados a partir de uma amostra composta por 34 corpos de prova com dimensões da seção de 5 x 0,7 centímetros, cujo aspecto é apresentado a Figura 7.



Figura 7 - Corpos de prova para ensaios de tração da madeira natural de *Eucalyptus urograndis*

Em análise de inspeção visual, observou-se que os corpos de prova TNIN09 e TNIN18 apresentaram defeitos conforme ilustram a Figura 8.



Figura 8 - Corpos de prova TNIN09 e TNIN18 que apresentam defeitos

Os ensaios foram realizados utilizando a prensa EMIC, com célula de carga para 300 kN, conforme imagem da Figura 9, cujos resultados são apresentados na Tabela 35.



Figura 9 - Ensaios de tração da madeira

Imediatamente após os ensaios de tração, foram extraídos corpos de prova de cada peça ensaiada para obtenção da umidade da madeira no momento da ruptura, cujos resultados estão apresentados Tabela 10.

Data	17/01/23			18/01/23		18/01/23		18/01/23		Umidade
	Hora	19:30	1:30	Variação	7:30	Variação	13:30	Variação	19:30	
01	20,97	19,17	8,58%	18,51	3,44%	18,40	0,59%	18,36	0,22%	14,22%
02	18,69	17,09	8,56%	16,50	3,45%	16,43	0,42%	16,40	0,18%	13,96%
03	20,79	18,95	8,85%	18,24	3,75%	18,21	0,16%	18,14	0,38%	14,61%
04	18,90	17,23	8,84%	16,61	3,60%	16,58	0,18%	16,52	0,36%	14,41%
05	21,00	19,23	8,43%	18,54	3,59%	18,43	0,59%	18,39	0,22%	14,19%
06	18,93	17,36	8,29%	16,71	3,74%	16,63	0,48%	16,55	0,48%	14,38%
07	17,16	15,58	9,21%	15,06	3,34%	15,03	0,20%	15,02	0,07%	14,25%
08	20,19	18,52	8,27%	17,80	3,89%	17,74	0,34%	17,68	0,34%	14,20%
09	20,52	18,79	8,43%	18,15	3,41%	18,09	0,33%	18,06	0,17%	13,62%
10	18,96	17,54	7,49%	16,93	3,48%	16,87	0,35%	16,81	0,35%	12,79%
11	19,20	17,71	7,76%	17,04	3,78%	16,98	0,35%	16,94	0,23%	13,34%
12	21,45	19,72	8,07%	18,94	3,96%	18,83	0,58%	18,78	0,26%	14,22%
13	18,63	17,14	8,00%	16,47	3,91%	16,35	0,73%	16,29	0,36%	14,36%
14	19,98	18,24	8,71%	17,56	3,73%	17,48	0,46%	17,42	0,34%	14,70%
15	19,17	17,66	7,88%	17,10	3,17%	16,89	1,23%	16,84	0,29%	13,84%
16	21,12	19,38	8,24%	18,59	4,08%	18,53	0,32%	18,47	0,32%	14,35%
17	19,08	17,45	8,54%	16,82	3,61%	16,77	0,30%	16,74	0,18%	13,98%
18	19,47	17,84	8,37%	17,21	3,53%	17,13	0,46%	17,06	0,41%	14,13%
19	18,99	17,42	8,27%	16,78	3,67%	16,63	0,89%	16,58	0,30%	14,54%
20	18,42	16,90	8,25%	16,25	3,85%	16,13	0,74%	16,11	0,12%	14,34%
21	19,26	17,70	8,10%	17,00	3,95%	16,94	0,35%	16,88	0,35%	14,10%
22	21,45	19,71	8,11%	18,97	3,75%	18,90	0,37%	18,82	0,42%	13,97%
23	19,08	17,49	8,33%	16,80	3,95%	16,68	0,71%	16,63	0,30%	14,73%
24	18,51	16,96	8,37%	16,23	4,30%	16,17	0,37%	16,15	0,12%	14,61%
25	18,36	16,76	8,71%	16,17	3,52%	16,12	0,31%	16,05	0,43%	14,39%
26	19,62	17,99	8,31%	17,33	3,67%	17,27	0,35%	17,22	0,29%	13,94%
27	19,74	18,04	8,61%	17,41	3,49%	17,27	0,80%	17,20	0,40%	14,77%
28	19,38	17,76	8,36%	17,07	3,89%	16,95	0,70%	16,91	0,23%	14,61%
29	18,63	17,11	8,16%	16,43	3,97%	16,33	0,61%	16,27	0,37%	14,51%
30	20,28	18,61	8,23%	17,83	4,19%	17,78	0,28%	17,73	0,28%	14,38%
31	21,33	19,42	8,95%	18,64	4,02%	18,59	0,27%	18,51	0,43%	15,24%
32	18,00	16,55	8,06%	15,86	4,17%	15,81	0,32%	15,79	0,13%	14,00%
33	20,19	18,48	8,47%	17,81	3,63%	17,79	0,11%	17,71	0,45%	14,00%
34	18,06	16,44	8,97%	15,84	3,65%	15,73	0,69%	15,70	0,19%	15,03%

Tabela 10 - Resultados dos ensaios de pesagem para obtenção da umidade da madeira ensaiada à tração (TNIN)

Os resultados indicam umidade média da madeira de 14,26%, variando de 12,79% a 15,24%.

A Tabela 11 apresenta os resultados dos ensaios a tração da madeira natural de *Eucalyptus urograndis*.

Corpo de prova	Dimensões			Resultados		
	b (cm)	h (cm)	Seção transversal (cm²)	Força de ruptura (N)	Deformação	Tensão (MPa)
01	5,0	0,7	3,5	21.335,72	5,7	60,96
02	5,0	0,7	3,5	33.668,80	20,4	96,20
03	5,0	0,7	3,5	15.490,74	5,5	44,26
04	5,0	0,7	3,5	20.788,68	5,2	59,40
05	5,0	0,7	3,5	24.541,33	14,6	70,12
06	5,0	0,8	4,0	20.865,47	6,2	52,16
07	5,0	0,8	4,0	25.453,19	7,7	63,63
08	5,0	0,7	3,5	17.141,56	7,3	48,98
09	5,0	0,7	3,5	14.396,58	11,2	41,13
10	5,0	0,7	3,5	11.363,67	12,3	32,47
11	5,0	0,7	3,5	24.954,11	7,4	71,30
12	5,0	0,6	3,0	15.356,39	8,1	51,19
13	5,0	0,7	3,5	18.955,46	4,9	54,16
14	5,0	0,7	3,5	21.498,91	10,3	61,43
15	5,0	0,7	3,5	16.527,25	6,0	47,22
16	5,0	0,7	3,5	23.946,34	9,6	68,42
17	5,0	0,7	3,5	10.883,81	4,1	31,10
18	5,0	0,7	3,5	14.223,78	5,1	40,64
19	5,0	0,7	3,5	15.836,25	5,0	45,25
20	5,0	0,7	3,5	18.504,44	5,2	52,87
21	5,0	0,7	3,5	24.176,71	13,0	69,08
22	5,0	0,8	4,0	14.319,79	4,6	35,80
23	5,0	0,7	3,5	21.940,42	8,0	62,69
24	4,9	0,7	3,4	34.532,60	18,1	100,68
25	5,0	0,7	3,5	14.386,97	5,0	41,11
26	5,0	0,7	3,5	20.558,32	6,4	58,74
27	5,0	0,7	3,5	19.972,84	6,3	57,07
28	5,0	0,7	3,5	19.560,16	7,2	55,89
29	5,0	0,8	4,0	21.777,23	7,6	54,44
30	5,0	0,8	4,0	18.274,07	9,5	45,69
31	5,0	0,7	3,5	23.869,26	12,1	68,20
32	5,0	0,7	3,5	17.362,31	8,3	49,61
33	5,0	0,7	3,5	23.504,83	10,2	67,16
34	5,1	0,7	3,6	16.248,92	4,4	45,52

Tabela 11 - Resultado dos ensaios de tração (TNIN)

A análise para verificar a presença de dados discrepantes na amostra, utilizando a metodologia do *boxplot* indicou a presença de 2 *outliers*, TNIN02 e TNIN24, portanto para o tratamento estatístico estes foram desconsiderados.

O valor médio observado, neste caso, é de 53,36 MPa, com um valor mínimo de 31,10 MPa e máximo de 71,30 MPa, apresentando um desvio padrão 11,27 MPa, com uma amplitude e 40,20 MPa e um coeficiente de variação 21,1%.

Considerando o alto coeficiente de variação, será definido o intervalo de confiança ao nível de 99%, estabelecendo assim os limites intervalares.

$$I = \bar{X} \pm t_{1-\alpha; n-1} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

onde: I = limites intervalares; \bar{X} = a média amostral; $t_{1-\alpha; n-1}$ = distribuição “t” de Student para o nível de confiança para o número de elementos amostrais menos 1, σ = desvio padrão e “n” o número de elementos amostrais.

$$t_{0,99;31} = 2,745.$$

$$I = 53,36 \pm 2,745 \cdot \frac{11,27}{\sqrt{32}} = 53,36 \pm 5,47$$

Resultando no valor médio de 53,36 MPa, Valor mínimo = 47,89 MPa e valor máximo = 58,83 MPa.

Considerando que a umidade média observada foi de 14,26%, que ficou no intervalo de 10% a 25%, de acordo com a NBR 7090-1 (ABNT, 2022) a correção da resistência à tração, para a umidade padrão de 12%, pode ser feita de acordo com o item 5.3, aplicando uma redução de 3% para cada percentual de ganho de umidade, ou seja:

$$t_{12} = t_{\text{test}} (1 + 0,03(U\% - 12\%))$$

onde: t_{12} é a resistência à tração da madeira a 12% de umidade, t_{test} é a resistência à tração da madeira ensaiada e U a umidade da madeira, neste caso a umidade média, assim, os valores corrigidos são:

- Valor médio: 56,93 MPa
- Valor mínimo: 51,14 MPa
- Valor máximo: 62,81 MPa
- Resistência característica: 39,91 MPa

Os valores são inferiores aos obtidos por Miotto e Dias (2009), de 82,9 MPa e Magalhães e Santos (2009), de 183 MPa.

Ensaio de cisalhamento paralelo à fibras da madeira

Os ensaios de cisalhamento paralela às fibras da madeira natural de *Eucalyptus urograndis* foram realizados a partir de uma amostra composta por 15 corpos de prova, conforme a imagem da Figura 10.



Figura 10- Corpos de prova para ensaios de cisalhamento da madeira natural de *Eucalyptus urograndis*

Os corpos de prova foram ensaiados utilizando prensa EMIC-300 com um dispositivo acoplado ao equipamento para a realização do ensaio, conforme ilustra a imagem esquerda da Figura 11. Na imagem direita da Figura 11 se observa o corpo de prova após o ensaio.

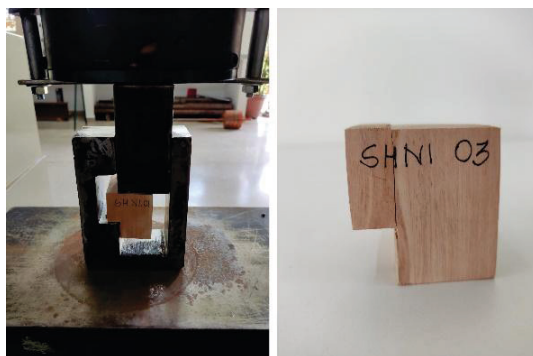


Figura 11- Esquerda: Equipamento utilizado no ensaio. Direita: Corpo de prova após o ensaio.

Imediatamente após os ensaios de tração, foram extraídos corpos de prova de cada peça ensaiada para obtenção da umidade da madeira no momento da ruptura, cujos resultados estão apresentados na Tabela 12.

Data	19/01/23	20/01/23		20/01/23		20/01/23		Umidade
Hora	19:30	01:30		07:30		13:30		
C P	Peso (g)	Peso (g)	Variação	Peso (g)	Variação	Peso (g)	Variação	
01	19,47	17,91	8,0%	17,14	4,3%	17,13	0,1%	13,66%
02	19,62	18,33	6,6%	17,24	5,9%	17,23	0,1%	13,87%
03	20,40	18,64	8,6%	17,82	4,4%	17,82	0,0%	14,48%
04	20,43	18,94	7,3%	17,88	5,6%	17,88	0,0%	14,26%
05	20,49	18,73	8,6%	18,00	3,9%	18,00	0,0%	13,83%
06	19,71	18,11	8,1%	17,28	4,6%	17,27	0,1%	14,13%
07	19,29	17,61	8,7%	16,91	4,0%	16,90	0,1%	14,14%
08	20,88	19,34	7,4%	18,34	5,2%	18,33	0,1%	13,91%
09	19,56	18,07	7,6%	17,14	5,1%	17,14	0,0%	14,12%
10	19,44	17,73	8,8%	17,03	3,9%	17,02	0,1%	14,22%
11	20,85	19,37	7,1%	18,28	5,6%	18,28	0,0%	14,06%
12	20,94	19,29	7,9%	18,36	4,8%	18,35	0,1%	14,11%
13	20,64	19,28	6,6%	18,08	6,2%	18,08	0,0%	14,16%
14	19,47	17,91	8,0%	17,12	4,4%	17,12	0,0%	13,73%
15	18,42	17,87	3,0%	17,12	4,2%	16,19	5,4%	13,77%

Tabela 12 - Umidade da madeira natural dos ensaios de cisalhamento (SHNI)

Os resultados indicam umidade média da madeira de 14,03%, variando de 13,66% a 14,48%.

Os resultados dos ensaios de cisalhamento da madeira natural de *Eucalyptus urograndis* estão apresentados na Tabela 13.

Corpo de prova	Medidas			Resultados	
	b (cm)	h (cm)	Seção transversal (cm ²)	Força de ruptura (N)	Tensão (MPa)
01	3,240	4,994	16,1806	17.179,80	10,62
02	3,200	4,840	15,4880	16.104,96	10,40
03	3,200	5,005	16,0160	11.008,55	6,87
04	3,200	5,000	16,0000	14.310,18	8,94
05	3,200	5,000	16,0000	13.494,43	8,43
06	3,200	5,000	16,0000	13.974,29	8,73
07	3,200	4,900	15,6800	15.049,23	9,60
08	3,200	4,996	15,9872	11.037,39	6,90
09	3,200	4,992	15,9744	14.761,30	9,24
10	3,200	5,000	16,0000	12.601,80	7,88
11	3,200	4,700	15,0400	16.364,16	10,88
12	3,200	5,000	16,0000	14.070,30	8,79

Corpo de prova	Medidas			Resultados	
	b (cm)	h (cm)	Seção transversal (cm ²)	Força de ruptura (N)	Tensão (MPa)
13	3,200	4,975	15,9200	14.934,10	9,38
14	3,200	5,000	16,0000	16.268,15	10,17
15	3,200	4,945	15,8240	14.972,44	9,46

Tabela 13 - Resultado dos ensaios de resistência ao cisalhamento (SHNI)

Os valores obtidos indicam uma resistência média ao cisalhamento de 9,09 MPa, com uma variação de 6,87 MPa a 10,88 MPa, com uma amplitude de 4,01 MPa, apresentando um desvio padrão de 1,22 MPa, e um coeficiente de variação de 13,41%.

Considerando que a umidade observada de 14,03% ficou no intervalo de 10% a 20%, de acordo com o item 5.6.1 da NBR 7090-1 (ABNT, 2022) a correção da resistência a compressão, para a umidade padrão de 12%, pode ser feita de acordo com o item 9.1, aplicando uma redução de 3% para cada percentual de ganho de umidade, ou seja:

$$\sigma_{12} = \sigma_{\text{test}} (1 + 0,03(U\% - 12\%))$$

onde: σ_{12} é a resistência da madeira a 12% de umidade, σ_{test} é a resistência da madeira ensaiada e U a umidade da madeira, neste caso a umidade média, assim, os valores corrigidos são:

- Valor médio: 9,64 MPa
- Valor mínimo: 7,29 MPa
- Valor máximo: 11,54 MPa
- Resistência característica: 8,06 MPa

Os valores são ligeiramente superiores aos obtidos por Miotto e Dias (2009) que observaram valores de 7,5 MPa.

Ensaio de compressão simples

Ensaio de compressão simples normal às fibras

Os ensaios de compressão simples normal às fibras da madeira natural de *Eucalyptus urograndis* foram realizados a partir de uma amostra composta por 14 corpos de prova, conforme a imagem da Figura 12.



Figura 12 - Amostra para ensaio de resistência à compressão normal às fibras da madeira

Os corpos de prova foram ensaiados conforme ilustra a Figura 13.



Figura 13- Ensaio a compressão normal às fibras da madeira natural de *Eucalyptus urograndis*.

Imediatamente após os ensaios foram extraídos corpos de prova de duas peças para obtenção da umidade da madeira no momento da ruptura, cujos resultados estão apresentados na Tabela 14.

Data	Hora	Medições	CTNI7	CTNI8
27/12/2022	10:00	Peso (g)	20,02	19,24
27/12/2022	16:00	Peso (g)	18,08	17,43
		Variação	9,69%	9,41%
27/12/2022	22:00	Peso (g)	17,77	17,03
		Variação	1,71%	2,29%
28/12/2022	04:00	Peso (g)	17,71	16,97
		Variação	0,34%	0,35%
Umidade			13,04%	13,38%

Tabela 14 - Ensaios de umidade da madeira natural de *Eucalyptus urograndis* utilizadas para obtenção da resistência à compressão normal às fibras.

Os resultados indicam umidade média da madeira de 13,21%.

A Tabela 15 apresenta os resultados dos ensaios a compressão normal às fibras da madeira natural de *Eucalyptus urograndis*.

CP/ Lote	L (mm)	b (cm)	h (cm)	A (cm ²)	Força Ruptura (N)	Tensão Ruptura (MPa)
01	95	5,2	5,0	26,00	41.241,38	15,86
02	95	5,2	5,0	26,00	40.809,48	15,70
03	98	5,2	5,0	26,00	53.516,90	20,58
04	93	5,2	5,0	26,00	46.712,11	17,97
05	97	5,2	5,0	26,00	35.473,19	13,64
06	98	4,8	5,2	24,96	36.356,22	14,57
07	98	5,0	5,2	26,00	40.617,55	15,62
08	97	4,9	5,1	24,99	44.034,31	17,62
09	93	4,9	5,2	25,48	26.077,01	10,23
10	97	5,1	5,2	26,52	31.163,80	11,75
11	94	5,1	5,2	26,52	25.539,59	9,63
12	94	5,0	5,2	26,00	50.032,96	19,24
13	93	5,0	5,1	25,50	42.997,81	16,86
14	94	5,0	5,2	26,00	43.955,07	16,91

Tabela 15 - Resultado dos ensaios de compressão normal às fibras da madeira (CPTN)

Os valores obtidos indicam uma resistência média à compressão normal de 15,44 MPa, com uma variação de 9,63 MPa a 20,58 MPa, com uma amplitude de 10,95 MPa, apresentando um desvio padrão de 3,22 MPa, e um coeficiente de variação de 20,85%.

Considerando que a umidade observada de 13,21% ficou no intervalo de 10% a 20%, de acordo com o item 5.6.1 da NBR 7090-1 (ABNT, 2022) a correção da resistência a compressão, para a umidade padrão de 12%, pode ser feita de acordo com o item 9.1, aplicando uma redução de 3% para cada percentual de ganho de umidade, ou seja:

$$\sigma_{12} = \sigma_{\text{test}} (1 + 0,03(U\% - 12\%))$$

onde: σ_{12} é a resistência da madeira a 12% de umidade, σ_{test} é a resistência da madeira ensaiada e U a umidade da madeira, neste caso a umidade média, assim, os valores corrigidos são:

- Valor médio: 16,00 MPa
- Valor mínimo: 9,98 MPa
- Valor máximo: 21,33 MPa
- Resistência característica: 11,20 MPa

Os resultados apresentaram valores inferiores aos obtidos por Magalhães e Santos (2009), de 19,5 MPa.

Ensaio de compressão simples paralela às fibras da madeira

Além do ensaio de rigidez especificado pela NBR 7190 (ABNT, 2022), nesta pesquisa foram feitos ensaios de compressão simples paralela às fibras de uma forma semelhante ao utilizado para ensaios de concreto, neste caso, aplicando uma carga axial de forma contínua e medida a deformação do corpo de prova em todo o seu comprimento, que é de 15 centímetros. O objetivo da aplicação deste método é o de avaliar a diferença de valores obtidos quando se aplica um carregamento contínuo até a ruptura com o realizado de acordo com o da norma pertinente, para ver se a fluência da madeira pode apresentar resultados muito significativos.

O ensaio foi realizado com madeira extraída de árvores com idade de 14 anos. Foram preparados 14 corpos de prova, conforme ilustra a imagem da Figura 14.



Figura 14 - Corpos de prova para ensaio de compressão simples da madeira paralela às fibras.

Dos 14 corpos, o CSPN07 e CSPN08 apresentam defeito, que consistiu na existência de nós em uma das faces, localizados entre 1/4 e o meio da peça ao longo de seu comprimento.

Além do ensaio de compressão simples, os corpos de prova foram avaliados em relação ao peso específico e imediatamente após os ensaios, foram extraídos testemunhos para a verificação do teor de umidade.

Determinação da umidade dos corpos de prova

Os testemunhos obtidos após o ensaio de compressão foram submetidos foram ensaiados para a determinação de umidade. Os corpos de prova foram extraídos na sequência do ensaio a compressão e foram acondicionados em envelopes de plástico para evitar a perda de umidade até que se obtivesse a amostra completa para o ensaio.

Os ensaios de determinação do teor de umidade foram feitos através de medições da variação de peso até que apresentassem uma variação cujo percentual fosse igual ou inferior a 0,5%, quando então foi considerado como peso constante, e cujos os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 16.

Data	27/12/2022	27/12/2022		27/12/2022		28/12/2022		Umidade (%)
Hora	10h 0m	16h 0m		22h 0m		4h 0m		
Elemento	Peso (gr)	Peso (gr)	Variação (%)	Peso (gr)	Variação (%)	Peso (gr)	Variação (%)	
01	18,36	16,31	11,20	16,28	0,20	16,27	0,10	12,85
02	17,95	15,89	11,50	15,85	0,30	15,84	0,10	13,32
03	17,73	15,93	11,80	15,56	0,40	15,55	0,10	14,02
04	19,12	16,87	11,80	16,82	0,30	16,81	0,10	13,74
05	21,02	18,50	12,00	18,44	0,30	18,43	0,10	14,05
06	18,20	16,03	11,90	15,95	0,50	15,94	0,10	14,18
07	18,52	16,39	11,50	16,34	0,30	16,33	0,10	13,41
08	18,81	16,60	11,70	16,54	0,40	16,53	0,10	13,79
09	19,46	17,12	12,00	17,00	0,70	16,99	0,10	14,54
10	17,70	15,46	12,70	15,38	0,50	15,38	0,00	15,08
11	17,81	15,54	12,70	15,50	0,30	15,50	0,00	14,90
12	20,15	17,53	13,00	17,48	0,30	17,47	0,10	15,34
13	20,82	18,23	12,40	18,07	0,90	18,06	0,10	15,28
14	18,20	16,04	11,90	16,00	0,20	16,00	0,00	13,75

Tabela 16 - Umidade dos corpos de prova utilizados nos ensaios a compressão simples paralela as fibras da madeira (CSPN)

Fonte: Dos autores.

Os resultados indicaram uma variação média de 14,16% na madeira ensaiada, sendo observados valores entre 12,85% e 15,34%, portanto com uma amplitude de 2,49%.

Determinação da massa específica (densidade) da madeira utilizada nos ensaios de compressão simples paralela às fibras

As dimensões dos corpos de prova foram obtidas por 3 medições em cada face, utilizando paquímetro de precisão, com valores considerados na resolução de um milímetro. O peso foi obtido utilizando balança de precisão com resolução de 0,01 grama. A densidade observada foi corrigida para a umidade padrão de 12%, de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 2022), cujos resultados estão apresentados na Tabela 17.

CP/Lote	L (mm)	b (mm)	h (mm)	Vol (cm³)	Peso (g)	Densidade (ρ)	
						(g/cm³)	(kg/m³)
01	150	47	50	352,500	215,73	0,61	612,00
02	152	48	48	350,208	209,52	0,60	598,27
03	152	50	50	380,000	226,84	0,60	596,95
04	152	48	47	342,912	216,33	0,63	630,86
05	152	48	47	342,912	237,93	0,69	693,85
06	152	49	49	364,952	221,40	0,61	606,66
07	152	49	50	372,400	229,90	0,62	617,35
08	151	48	50	362,400	222,80	0,61	614,79
09	152	50	48	364,800	236,60	0,65	648,57
10	152	50	50	380,000	224,15	0,59	589,87
11	152	49	50	372,400	221,03	0,59	593,53
12	152	48	50	364,800	240,19	0,66	658,42
13	152	47	48	342,912	233,28	0,68	680,29
14	152	47	48	342,912	216,16	0,63	630,37

Tabela 17 - Medições, pesagens e determinação da densidade da madeira (CSPN)

A densidade média da madeira natural do *Eucalyptus urograndis* observada foi de 626,56 kg/m³, com variação de 589,87 kg/m³ a 693,85 kg/m³, portanto com uma amplitude de 103,98 kg/m³, apresentando um desvio padrão de 32,69 kg/m³ e um coeficiente de variação de 5,22%.

Considerando que a umidade observada de 14,16% está no intervalo de 10% a 20%, de acordo com a NBR 7090-2 (ABNT, 2022) a correção da densidade, para a umidade padrão de 12%, pode ser feita de acordo com o item 5.3, ou seja:

$$\rho_{12} = \rho_{\text{test}} (1 - 0,005 (U\% - 12\%))$$

onde: ρ_{12} é a densidade na umidade padrão de 12%, ρ_{test} é a densidade observada e U a umidade média da madeira em proporção, desta forma o valor médio é de 633,36 kg/m³, com uma densidade característica de 650,20 kg/m³.

O valor médio é superior ao obtido pelo IPT (2003) que foi de 500 kg/m³ para umidade de 15%, que corrigido equivale a 492,5 kg/m³.

A densidade mínima observada, com a correção da umidade é de 584,56 kg/m³, assim, permite relacionar a madeira de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 2022) como Classe 3.

Determinação da resistência a compressão simples paralela às fibras

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão simples paralela às fibras da madeira estão apresentados na Tabela 18.

CP/Lote	Força de ruptura (N)	Seção (cm ²)	Tensão de ruptura (MPa)	Deformação (mm)
01	108.692,35	23,50	46,25	3,3
02	87.618,58	23,04	38,03	2,7
03	105.882,26	25,00	42,35	3,2
04	98.502,49	22,56	43,66	3,6
05	98.742,96	22,56	43,77	3,8
06	98.416,19	24,01	40,99	2,7
07	95.517,83	24,50	38,99	2,6
08	83.444,82	24,00	34,77	2,9
09	107.572,30	24,00	44,82	2,9
10	98.032,93	25,00	39,21	2,6
11	97.994,00	24,50	40,00	2,6
12	99.683,06	24,00	41,53	2,7
13	94.250,86	22,56	41,78	2,4
14	86.188,53	22,56	38,20	2,0

Tabela 18 - Resultados dos ensaios a compressão simples paralela às fibras da madeira (CSPN)

A madeira de *Eucalyptus urograndis* apresentou uma resistência média à compressão paralela às fibras de 41,03 MPa, com um desvio padrão de 3,08 MPa, apresentando valores mínimo de 34,77 MPa e máximo 46,25 MPa, com uma amplitude de 11,48 MPa e um coeficiente de variação de 7,51%. Considerando que o coeficiente de variação de 7,51% é bastante expressivo, será determinado o intervalo de confiança ao nível de 99%.

$$I = \bar{X} \pm t_{1-\alpha; n-1} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

onde: I = limites intervalares; \bar{X} = a média amostral; $t_{1-\alpha; n-1}$ = distribuição “t” de Student para o nível de confiança para o número de elementos amostrais menos 1, σ = desvio padrão e “n” o número de elementos amostrais.

$$t_{0,99;13} = 3,012.$$

$$I = 41,03 \pm 3,012 \cdot \frac{3,08}{\sqrt{14}} = 41,03 \pm 2,48$$

Valor mínimo = 38,55 MPa e valor máximo = 43,51 MPa.

Considerando que a umidade observada de 14,16% ficou no intervalo de 10% a 20%, de acordo com a NBR 7090-2 (ABNT, 2022) a correção da resistência a compressão, para a umidade padrão de 12%, pode ser feita de acordo com o item 9.1, aplicando uma redução de 3% para cada percentual de ganho de umidade, ou seja:

$$\sigma_{12} = \sigma_{\text{test}} (1 + 0,03(U\% - 12\%))$$

onde: σ_{12} é a resistência da madeira a 12% de umidade, σ_{test} é a resistência da madeira ensaiada e U a umidade da madeira, neste caso a umidade média, assim, os valores corrigidos são:

- Valor médio: 43,69 MPa
- Valor mínimo: 41,04 MPa
- Valor máximo: 46,33 MPa
- Resistência característica: 41,19 MPa.

O valor médio obtido está compatível com os verificados nos ensaios de rigidez, que apresentou um valor médio à compressão de 41,98 MPa, portanto com uma variação de 3,00%.

A resistência observada, de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 2022), permite o enquadramento da madeira na Classe de resistência C40.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo destacou a caracterização visual e mecânica da espécie de madeira *Eucalyptus urograndis* como material de aplicação na área da construção civil. As propriedades mecânicas estudadas foram a resistência à compressão, tração, cisalhamento e flexão. Através da metodologia estabelecida pela NBR 7190 (ABNT, 2022), foi possível analisar a rigidez, a densidade e a resistência da madeira, fornecendo uma base técnica para sua recomendação em projetos de engenharia civil.

O estudo também abre caminho para futuras investigações sobre o tratamento e aprimoramento das propriedades do *Eucalyptus Urograndis*. Recomenda-se que pesquisas futuras explorem métodos de tratamento da madeira que possam melhorar sua durabilidade e resistência a condições ambientais adversas, além de estender a análise para outras espécies de rápido crescimento.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7190 - Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 7190-1 - Projeto de estruturas de madeira, Parte 1: Critérios de dimensionamento**. Rio de Janeiro, 2022a.

_____. **NBR 7190-2 - Estruturas de madeira – Parte 2: Métodos de ensaio para classificação visual e mecânica de peças estruturais de madeira.** Rio de Janeiro, 2022b.

_____. **NBR 7190-3 - Estruturas de madeira – Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas.** Rio de Janeiro, 2022c.

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

_____. **NBR 7190-6 - Projeto de estruturas de madeira Parte 6: Métodos de ensaio para caracterização de madeira lamelada colada estrutural.** Rio de Janeiro, 2022e.

FERREIRA, Dereck Halley Anthony Alves; LELES, Paulo Sérgio dos Santos; OLIVEIRA NETO, Silvio Nolasco de; PAULA, Tafarel Rodrigues; COUTINHO, Rodolfo Pellegrini e SILVA, Rogério Luiz da. **Crescimento e Produção de Eucalipto na Região do Médio Paraíba do Sul, RJ.** Floresta e Ambiente. Seropédica-RJ, 2017.

_____. **Informações sobre madeira: Eucalipto-grandis.** São Paulo: Disponível em http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/13.htm. Acesso em 09 de setembro de 2023a.

MAGALHÃES, Luciana Nunes de, SANTOS, Paulo Roberto Duarte Luso dos. **A madeira laminada colada como material estrutural de uma construção sustentável.** Belo Horizonte: Construindo, v. 1, n. 2, p. 25-27, 2009.

MARTINS, Tomás Francisco Ribeiro Mendes. **Dimensionamento de Estruturas em Madeira: Coberturas e Pavimentos.** Dissertação de mestrado - Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, p. 151. 2010.

MIOTTO, José Luiz e DIAS, Antonio Alves. **Produção e avaliação de vigas de madeira laminada colada confeccionadas com lâminas de eucalipto.** Maringá: Revista Tecnológica, Edição Especial ENTECA 2009, p. 35-45, 2009.

PFEIL, Walter e PFEIL, Michèle. **Estruturas de Madeira.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2003.

PONS, Cristiano e KNOP, Alexandre. **Construções utilizando estruturas de madeira.** Canoas-RS: Revista Cippus - Unilasalle, 2020. Disponível em: <http://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/cippus>. Acesso em 19 jun 2021

PREZOTTO, Sandro. **Estrutura metálica ganha espaço no mercado com uma série de vantagens com relação à madeira.** Revista Habitare, 2017. Disponível em: <https://www.revistahabitare.com.br/arquitetura/mais-economia-e-praticidade-com-telhados-de-aco-galvanizado/>. Acesso em 19 jun 2021