

# CAPÍTULO 1

## CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DA MADEIRA LAMINADA COLADA (MLC) DA ESPÉCIE *EUCALYPTUS UROGRANDIS*

---

*Data de submissão: 01/12/2024*

*Data de aceite: 02/12/2024*

### **Mariana Natale Fiorelli Fabiche**

Docente da Universidade Estadual de Maringá - Campus Umuarama

### **João Henrique de Freitas**

Docente da Universidade Estadual de Maringá - Campus Umuarama

### **Alan Rizzato Espessato**

Docente da Universidade Estadual de Maringá - Campus Umuarama

### **Aline Naiara Zito**

Docente da Universidade Estadual de Maringá - Campus Umuarama

### **Sidnei Reina Coutinho**

Laboratorista da Universidade Estadual de Maringá – Campus Umuarama

### **Olindo Savi**

Docente da Universidade Estadual de Maringá - Campus Umuarama

**RESUMO:** Este trabalho investiga a caracterização física e mecânica da Madeira Laminada Colada (MLC) da espécie *Eucalyptus Urograndis*. A pesquisa foi realizada seguindo metodologia quali-quantitativa e experimental, em conformidade com a NBR 7190. As

amostras foram obtidas e coladas na empresa Integração Florestal localizada em Altônia/PR. Os testes foram realizados no laboratório de Materiais da Universidade Estadual de Maringá campus de Umuarama. Foram realizados testes de densidade média, resistência à compressão, tração, cisalhamento e rigidez. Os resultados indicaram uma densidade média de 642,68 kg/m<sup>3</sup> após o rompimento dos CPs no ensaio de resistência à compressão; encontrou-se uma resistência média à compressão paralela às fibras de 49,35 MPa e uma resistência média à flexão de 78,07 MPa. Destaca-se a necessidade de estudos adicionais para uma melhor caracterização da MLC da espécie *Eucalyptus Urograndis*, bem como estudos sobre o método de colagem e os tipos de cola para uma melhor caracterização da madeira estudada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resistência à compressão; Resistência à flexão; colagem; tipos de cola.

## 1.1 INTRODUÇÃO

Dentre os principais materiais utilizados na confecção de estruturas destaca-se a madeira, por ser um material de fonte renovável e de excelente relação

resistência e densidade, chegando a ser quatro vezes superior à do aço (CALIL et al., 2003).

Como soluções alternativas ao uso da madeira maciça, destaca-se a Madeira Laminada Colada (MLC), podendo ser empregada de diversas formas estruturais. Consiste em um produto que requer precisão de fabricação em todos os seus estágios (CALIL Neto, et al., 2014).

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar as principais características físicas e mecânicas da madeira laminada colada (MLC) da espécie de *Eucalyptus Urograndis*. Foram investigadas as resistências à compressão, flexão, cisalhamento e à tração, com o intuito de analisar sua aplicabilidade em projeto de estrutura de madeira na construção civil.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa é quali-quantitativa aplicada e dedutiva experimental para obter as propriedades mecânicas da madeira laminada colada (MLC) da espécie de *Eucalyptus urograndis*.

A madeira laminada e colada da espécie 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. As amostras foram obtidas de árvores de reflorestamento com 14 anos de idade.

### Nomenclatura Utilizada na pesquisa

A nomenclatura é composta por abreviações em letras maiúsculas, descritas no Quadro 1, para caracterizar os ensaios realizados

CPPL	Ensaios de rigidez
CSPL	Compressão simples paralela às fibras
TNIL	Tração paralela às fibras da madeira
SHC	Ensaio de cisalhamento na linha de cola
SHLI	Ensaio de cisalhamento
FLI	Flexão da madeira

Quadro 1 - Nomenclatura utilizada para caracterizar as amostras da MLC de *Eucalyptus urograndis*

### Método

A madeira serrada foi armazenada no laboratório da Universidade Estadual de Maringá (Campus de Umuarama) por um período de 12 meses antes da realização dos ensaios, quando então foram realizadas as análises, por meio de inspeção visual, verificação de medições e variações dimensionais.

Todos os ensaios necessários para a caracterização visual, física e mecânica da MLC foram realizados no Laboratório de Materiais da UEM (Campus de Umuarama) e os mesmos estão detalhados na sequência abaixo:

**Ensaios de rigidez para obtenção da resistência à compressão e módulo de elasticidade da madeira.** Os ensaios de rigidez da MLC de *Eucalyptus urograndis* foram realizados em uma amostra de 14 elementos. Os CP's (corpos de prova) têm dimensões conforme especificado na 7190-3 (ABNT, 2022c).

**Ensaio de densidade da madeira:** A densidade da MLC de *Eucalyptus urograndis* foi determinada conforme o item 5.3 da NBR 7190-3 (ABNT, 2022c), utilizando a mesma amostra de corpos de prova dos ensaios de rigidez. A pesagem foi realizada antes da ruptura, e a umidade foi medida imediatamente após a ruptura

**Ensaios de flexão da madeira:** Os ensaios de flexão da MLC de *Eucalyptus urograndis* foram realizados em uma amostra composta por 30 CP's com dimensões de 5 cm x 5 cm x 105 cm, dimensões conforme especificadas na 7190-3 (ABNT, 2022c).

**Ensaios de tração paralela** às fibras da madeira: Os ensaios de tração paralela às fibras da MLC de *Eucalyptus urograndis* foram realizados a partir de uma amostra composta por 35 corpos de prova com dimensões da seção de 5 x 0,7 centímetros.

**Ensaios de cisalhamento:** Os ensaios de cisalhamento paralela às fibras da MLC de *Eucalyptus urograndis* foram realizados a partir de uma amostra composta por 15 corpos de prova. Os ensaios de resistência ao cisalhamento da MLC de *Eucalyptus urograndis* na linha de cola foram feitos a partir de uma amostra com 27 elementos.

**Ensaios de resistência à compressão simples paralela às fibras da madeira:** Foram preparados 14 corpos de prova de MLC de *Eucalyptus urograndis* para a realização do ensaio. Inicialmente não foram observados defeitos na análise visual das amostras.

Todos os ensaios descritos anteriormente foram realizados utilizando uma prensa do modelo Emic 23-600 com célula de carga para 300 kN, com a deformação aferida por extensômetro com resolução de 0,0001 milímetros.

Imediatamente após a realização de todos os rompimentos dos CP's descritos anteriormente (Foram realizados testes de rigidez para determinação da resistência à compressão e do módulo de elasticidade; Ensaios de flexão da madeira; Ensaios de tração paralela às fibras da madeira; Ensaios de cisalhamento) foi extraído um CP de cada amostra para verificação da umidade da madeira, que ficaram acondicionados em um recipiente plástico selado para preservar a umidade do momento do ensaio, que ao final do ensaio foram submetidos aos ensaios de umidade de acordo com o que prescreve a NBR 7190-3 (ABNT, 2022c).

Deve-se observar que as lamelas da MLC apresentam variação, tendo em vista que no processo produtivo as peças são feitas com espessuras maiores e ao final passam por

um processo de padronização das dimensões, onde as lamelas externas acabam tendo uma espessura reduzida em relação às lamelas centrais. Importante mencionar também que o objetivo do artigo é analisar a resistência da madeira, portanto a maneira de colagem e as direções da cola isso não foi caracterizado no presente artigo.

### Ensaios de rigidez da MLC de *Eucalyptus urograndis*

Os ensaios de rigidez da MLC de *Eucalyptus urograndis* foram realizados seguindo o padrão da ABNT 7190-3 (2022c). A Figura 1 apresenta uma parcela de amostra utilizada no presente estudo.



Figura 1 - Corpos de prova para ensaios de rigidez da MLC de *Eucalyptus urograndis*.

A Tabela 1 apresenta os resultados de umidade da MLC e que servirão para a determinação da resistência da madeira na umidade padrão.

CP	Horários					Umidade (%)	
	6h		12h		18h		
	Peso	Peso	Variação (%)	Peso	Variação (%)		
01	19,82	17,53	-11,55	17,52	-0,06	13,13	
02	19,25	17,01	-11,64	17,00	-0,06	13,24	
03	18,85	16,72	-11,30	16,72	0,00	12,74	
04	19,17	16,91	-11,79	16,91	0,00	13,36	
05	18,75	16,59	-11,52	16,58	-0,06	13,09	
06	19,44	17,18	-11,63	17,18	0,00	13,15	
07	19,32	17,12	-11,39	17,11	-0,06	12,92	
08	18,69	16,47	-11,88	16,47	0,00	13,48	
09	19,05	16,76	-12,02	16,76	0,00	13,66	
10	19,28	16,93	-12,19	16,94	0,06	13,81	
11	19,73	17,43	-11,66	17,42	-0,06	13,26	
12	19,89	17,52	-11,92	17,52	0,00	13,53	
13	19,55	17,25	-11,76	17,26	0,06	13,27	
14	19,53	17,31	-11,37	17,31	0,00	12,82	

Tabela 1 – Ensaio de Umidade da madeira laminada colada de *Eucalyptus urograndis* ensaiada à rigidez (CPPL)

Os resultados do ensaio indicaram uma umidade média dos elementos amostrais de 13,25%.

## Resistência à compressão paralela às fibras da MLC

As dimensões dos CP's e os resultados do ensaio de resistência à compressão paralela às fibras da MLC de *Eucalyptus urograndis* estão apresentados na Tabela 2.

CP	B (mm)	H (mm)	L (mm)	S (cm <sup>2</sup> )	F (kN)	σ (MPa)
01	51,5	49,4	149,8	25,4410	119,27	46,88
02	52,1	49,5	149,2	25,7895	136,66	52,99
03	52,0	51,0	149,0	26,5200	117,73	44,39
04	51,1	50,5	149,3	25,8055	126,50	49,02
05	50,8	49,1	149,5	24,9428	122,06	49,04
06	50,8	49,0	149,5	24,8920	61,86	24,85
07	50,8	49,4	149,5	25,0952	115,38	45,89
08	51,3	49,7	149,5	25,4961	108,97	42,74
09	50,7	49,3	149,8	24,9951	124,73	49,90
10	51,6	49,6	149,6	25,5936	122,28	47,78
11	51,8	49,5	149,3	25,6410	120,64	47,05
12	51,3	49,4	149,5	25,3422	121,99	48,14
13	50,8	49,6	149,5	25,1968	122,50	48,62
14	51,4	49,3	150,1	25,3402	116,36	45,92

Tabela 2 - Resistência à compressão paralela às fibras da MLC de *Eucalyptus urograndis* (CPPL)

Utilizando o Boxplot foi realizada a análise da presença de elementos discrepantes na amostra, que indicou o elemento CPPL6 como um *outlier* e, portanto, foi desconsiderado nos cálculos estatísticos.

Assim, a MLC de *Eucalyptus urograndis* apresentou uma resistência média à compressão paralela às fibras de 47,57 MPa, com um desvio padrão de 2,58 MPa, apresentando valores mínimo de 42,74 MPa e máximo 52,99 MPa, com uma amplitude de 10,25 MPa e um coeficiente de variação de 5,42%. O intervalo de confiança ao nível de 99% foi obtido pela seguinte fórmula:

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

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,  $\sigma$  = desvio padrão e "n" o número de elementos amostrais.

$$t_{0,99;12} = 3,055.$$

$$I = 47,57 \pm 3,055 \cdot \frac{2,58}{\sqrt{13}} = 47,57 \pm 2,19$$

Valor mínimo = 45,38 MPa e valor máximo = 49,76 MPa.

Considerando que a umidade observada de 13,25% 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:  $\sigma_{12}$  é a resistência da madeira a 12% de umidade,  $\sigma_{\text{test}}$  é a resistência da madeira ensaiada e U a umidade da madeira, neste caso a umidade média, assim, os valores corrigidos são: Valor médio: 49,35 MPa; Valor mínimo: 47,08 MPa; Valor máximo: 51,63 MPa, portanto a Resistência característica encontrada é de 48,71 MPa.

A resistência média da MLC de *Eucalyptus urograndis*, de 49,35 MPa é 20,34% superior à observada para a madeira natural, que foi de 41,01 MPa e a resistência característica de 48,71 MPa é 61,24% superior a da madeira natural que foi de 30,21 MPa.

Os valores obtidos estão compatíveis com os observados por IPT (2003) para a madeira natural com umidade de 15%, cujo valor para madeiras de *Eucalyptus Urograndis* foi de 42,1 MPa. A resistência observada, de acordo com a NBR 7190-2 (ABNT, 2022b), permite o enquadramento da madeira na Classe I.

## Módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras da MLC de *Eucalyptus urograndis*

Dos ensaios de rigidez da MLC de *Eucalyptus urograndis* foram obtidos os resultados para caracterização do módulo de elasticidade, conforme apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.3.**

Corpo de prova	$f$ (MPa)	$\sigma_{50\%}$	$\sigma_{10\%}$	$\Sigma_{50\%}$	$\Sigma_{10\%}$	E (GPa)
01	46,88	23,440	4,688	0,13700	0,02777	17,17
02	52,99	26,495	5,299	0,11820	0,01780	21,11
03	44,39	22,195	4,439	0,09525	0,01491	22,10
04	49,02	24,510	4,902	0,03900	0,00810	63,46
05	49,04	24,520	4,904	0,13160	0,02380	18,20
06	24,85	12,425	4,000	0,11800	0,02858	9,42
07	45,89	22,945	4,589	0,12751	0,02258	17,49
08	42,74	21,370	4,274	0,19127	0,03902	11,23
09	49,90	24,950	4,990	0,11320	0,01426	20,17
10	47,78	23,890	4,778	0,12432	0,02358	18,97
11	47,05	23,525	4,705	0,14092	0,02756	16,60
12	48,14	24,070	4,814	0,13510	0,02264	17,12

Corpo de prova	$\bar{f}$ (MPa)	$\sigma_{50\%}$	$\sigma_{10\%}$	$\Sigma_{50\%}$	$\Sigma_{10\%}$	E (GPa)
13	48,62	24,310	4,862	0,14040	0,02524	16,89
14	45,92	22,960	4,592	0,12190	0,01731	17,56

Tabela 3 - Módulo de elasticidade da MLC de *Eucalyptus urograndis* (CPPL)

Pelo Boxplot avaliou-se a presença de elementos discrepantes, que indicou a existência de 3 *outliers*, CPPL04, CPPL06 e CPPL08, que não foram considerados no tratamento estatístico, cujos resultados indicam um valor médio de 18,49 GPa, com um desvio padrão de 1,86 GPa. Apresenta um valor mínimo de 16,60 GPa, com um valor máximo de 22,10 GPa, portanto com uma amplitude de 5,50 GPa e com um coeficiente de variação de 10,1%.

Considerando que o coeficiente de variação de 10,1% 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,  $\sigma$  = desvio padrão e “n” o número de elementos amostrais.

$$t_{0,99;13} = 3,169.$$

$$I = 18,49 \pm 3,169 \cdot \frac{1,86}{\sqrt{11}} = 18,49 \pm 1,78$$

Valor mínimo = 16,71 MPa e valor máximo = 20,27 MPa.

Considerando que a umidade observada de 13,25% 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,  $E_{\text{test}}$  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: 18,95 GPa = 18.950 MPa; Valor mínimo: 17,13 GPa = 17.130 MPa; Valor máximo: 20,78 GPa = 20.780 MPa. Portanto, o Módulo de elasticidade característico encontrado é de 18,65 GPa = 18.650 MPa

O valor obtido, de 18.650 MPa é superior ao observado para a madeira natural, que foi de 10.030 MPa é compatível com os valores obtidos por IPT (2003) e permite a classificação mecânica da madeira, de acordo com a NBR 7190-2 (ABNT, 2022b) como Classe 1.

## Densidade da MLC de *Eucalyptus urograndis*

Os resultados da densidade estão apresentados na Tabela 4.

CP	B (mm)	H (mm)	L (mm)	P (g)	$\delta$ (kg/m <sup>3</sup> )
01	51,5	49,4	149,8	246,83	647,67
02	52,1	49,5	149,2	249,43	648,24
03	52,0	51,0	149,0	250,73	634,52
04	51,1	50,5	149,3	243,78	632,74
05	50,8	49,1	149,5	237,76	637,61
06	50,8	49,0	149,5	238,70	641,43
07	50,8	49,4	149,5	236,83	631,26
08	51,3	49,7	149,5	237,44	622,93
09	50,7	49,3	149,8	240,13	641,33
10	51,6	49,6	149,6	248,52	649,08
11	51,8	49,5	149,3	254,25	664,15
12	51,3	49,4	149,5	251,14	662,87
13	50,8	49,6	149,5	240,71	639,01
14	51,4	49,3	150,1	245,18	644,61

Tabela 4 - Densidade da MLC de *Eucalyptus urograndis* (CPPL)

Os resultados indicam uma densidade média de 642,68 kg/m<sup>3</sup>, com um desvio padrão de 11,43 kg/m<sup>3</sup>. Apresenta um valor mínimo de 622,93 kg/m<sup>3</sup>, com um valor máximo de 664,15 kg/m<sup>3</sup>, portanto com uma amplitude 41,22 kg/m<sup>3</sup> e um coeficiente de variação de 1,8%.

## Densidade característica

Densidade característica: 642,68 kg/m<sup>3</sup>.

Considerando que a umidade observada de 13,25% 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:  $\rho_{12}$  é a densidade na umidade padrão de 12%,  $\rho_{\text{test}}$  é a densidade observada e U a umidade média da madeira em proporção. Desta forma o valor característico é de 690,95 kg/m<sup>3</sup>, o que permite a classificação mecânica da madeira como Classe 2 pela NBR 7190-2 (ABNT, 2022b). Pelo valor médio, a madeira pode ser classificada como de Classe 2.

Se observa que a MLC apresentou uma densidade compatível com a da madeira natural, que foi de 632,80 kg/m<sup>3</sup> (Espessato, et al., 2024).

Trata-se de um valor esperado, uma vez que na MLC são utilizadas madeiras tanto da área mais central da árvore (cerne) quanto da parte mais periférica da tora (alburno),

no entanto, apresenta uma vantagem em relação à madeira natural pois apresentou coeficiente de variação de 1,8%, enquanto a madeira natural apresentou 9,4%, indicando maior uniformidade

### Ensaios de flexão da MLC de *Eucalyptus urograndis*

Os ensaios de flexão da MLC de *Eucalyptus urograndis* foram realizados conforme especificado na 7190-3 (ABNT, 2022c) e a Figura 2 apresenta parte das amostras ensaiadas.



Figura 2 - Amostra de MLC ensaiadas à flexão.

A madeira serrada foi armazenada pelo período já especificado conforme a metodologia. Os resultados indicaram que a madeira sofreu encurvamento máximo de 2 mm e arqueamento máximo de 4 mm, conforme apresentado na Tabela 5. Como parâmetro, adotou-se a disposição das lâminas, diferenciadas pela coloração: o alburno (A) apresentando cores claras (branco amarelado) e o cerne (C), cores mais escuras (pardas e rosadas). A espessura da lâmina de base foi utilizada como referência posicional nos ensaios.

Corpo de prova	b (cm)	h (cm)	Encurvamento (mm)	Arqueamento (mm)	Disposição das lâminas	Espessura lâmina de base (mm)
01	4,9	5,0	1	3	AAC	16
02	4,9	5,0	1	3	CAC	16
03	4,9	5,1	1	3	CAA	16
04	5,0	5,1	1	2	CCA	13
05	4,9	5,1	0	3	ACA	17
06	4,9	5,2	1	1	CCC	17
07	5,0	5,2	1	1	CCA	14
08	5,0	5,0	1	1	ACA	16
09	4,9	5,0	1	2	CAA	16
10	5,0	5,0	1	2	AAC	13
11	4,9	5,0	1	3	CAC	18
12	5,0	5,0	1	1	CAC	15
13	5,0	5,0	1	1	ACA	11
14	5,0	5,0	0	1	ACC	15
15	5,0	5,0	1	0	AAC	11
16	5,0	5,0	1	2	AAA	13
17	5,0	5,1	0	2	AAA	13
18	5,0	5,1	2	3	ACA	15
19	5,0	5,0	1	3	ACA	16
20	5,0	5,0	0	0	AAC	23
21	4,9	5,1	0	2	CCA	11
22	4,9	5,1	0	0	CAA	16
23	4,9	5,0	0	2	CAC	17
24	5,0	5,2	2	3	CCA	15,5
25	5,0	5,1	0	4	CAC	12
26	5,0	5,1	0	0	CAC	16
27	5,0	5,1	0	2	ACC	12
28	4,9	5,1	0	1	ACA	14,5
29	5,0	5,2	0	2	AAC	17
30	4,9	5,1	1	3	ACC	13

Nota: Disposição das lâminas: a primeira letra indica a lamela superior, a última a lamela inferior e as letras A indica o alburno, caracterizado pela cor mais clara e C o cerne, também caracterizado pela cor mais escura.

Tabela 5 - Análise dimensional, disposição das lâminas e espessura da lâmina de base dos corpos de prova ensaiados a flexão da MLC de *Eucalyptus urograndis* (FL)

Os valores observados no arqueamento, de 4 mm são superiores ao limite de 3 mm para cada 2 metros estabelecido pela NBR 7190-2 (ABNT, 2022b). O encurvamento máximo observado foi de 2 mm, dentro do limite de 8 mm para cada 3 metros de comprimento

estipulado pela norma. No período observado de 12 meses, foi possível verificar que a madeira laminada colada apresenta maior estabilidade dimensional. Constatou-se que as deformações são sensíveis na análise visual, e também ficou evidente esta verificação nas medições feitas, onde, no mesmo período de tempo a madeira natural sofreu um encurvamento de 14 mm, enquanto a MLC verificou 2 mm e o arqueamento da madeira natural foi de 10 mm e a MLC apresentou variação de 4 mm. Analisou-se também pelas medições que o encurvamento da MLC foi superior ao arqueamento, indicando que no plano de colagem das peças há uma menor variação dimensional da madeira. A Figura 3 apresenta os corpos de prova da madeira natural e da MLC.



Figura 3 - Aspecto dos corpos de prova de ensaio a flexão da madeira natural (esquerda) e MLC (direita)

A Figura 4 apresenta o ensaio de flexão da MLC.



Figura 4 - Ensaio a flexão da MLC de *Eucalyptus urograndis*.

De acordo com a metodologia descrita, após os ensaios de flexão de cada elemento, foram extraídos corpos de prova para análise da umidade, cujos resultados estão apresentados na Tabela 6 e que também servirão de base para a determinação da resistência da madeira na umidade padrão.

Data	20/12/22		21/12/22		21/12/22		21/12/22		21/12/22		Umidade (%)
	Hora	18:00	0:00	Variação (%)	6:00	Variação (%)	12:00	Variação (%)	18:00	Variação (%)	
01	21,96	19,68	10,38	19,31	1,88	19,25	0,31	19,25	0,00	0,00	14,08
02	22,24	19,92	10,43	19,48	2,21	19,40	0,41	19,38	0,10	0,10	14,76
03	22,18	19,88	10,37	19,61	1,36	19,56	0,25	19,56	0,00	0,00	13,39
04	21,76	19,69	9,51	19,25	2,23	19,17	0,42	19,16	0,05	0,05	13,57
05	21,68	19,79	8,72	19,22	2,88	19,09	0,68	19,05	0,21	0,21	13,81
06	22,96	20,78	9,49	20,13	3,13	19,99	0,70	19,97	0,10	0,10	14,97
I07	22,68	20,35	10,27	19,89	2,26	19,80	0,45	19,79	0,05	0,05	14,60
08	22,47	20,39	9,26	19,70	3,38	19,55	0,76	19,52	0,15	0,15	15,11
09	21,86	19,44	11,07	19,16	1,44	19,11	0,26	19,11	0,00	0,00	14,39
10	21,96	19,82	9,74	19,32	2,52	19,24	0,41	19,23	0,05	0,05	14,20
11	22,17	19,97	9,92	19,52	2,25	19,43	0,46	19,42	0,05	0,05	14,16
12	22,45	20,12	10,38	19,71	2,04	19,64	0,36	19,64	0,00	0,00	14,31
13	22,04	20,19	8,39	19,40	3,91	19,21	0,98	19,16	0,26	0,26	15,03
14	21,82	19,50	10,63	19,10	2,05	19,04	0,31	19,03	0,05	0,05	14,66
15	22,85	20,58	9,93	20,08	2,43	19,97	0,55	19,95	0,10	0,10	14,54
16	22,18	19,96	10,01	19,49	2,35	19,41	0,41	19,41	0,00	0,00	14,27
17	22,38	20,05	10,41	19,58	2,34	19,48	0,51	19,47	0,05	0,05	14,95
18	22,08	19,95	9,65	19,30	3,26	19,17	0,67	19,15	0,10	0,10	15,30
19	22,46	20,61	8,24	19,73	4,27	19,44	1,47	19,35	0,46	0,46	16,07
20	21,57	20,19	6,40	19,58	3,02	19,43	0,77	19,40	0,15	0,15	11,19
21	21,83	19,86	9,02	19,32	2,72	19,20	0,62	19,18	0,10	0,10	13,82
22	22,47	20,15	10,32	19,50	3,23	19,41	0,46	19,39	0,10	0,10	15,88
23	22,49	20,49	8,89	19,53	4,69	19,31	1,13	19,24	0,36	0,36	16,89
24	22,90	21,09	7,90	20,20	4,22	19,98	1,09	19,90	0,40	0,40	15,08
25	22,33	20,21	9,49	19,51	3,46	19,41	0,51	19,38	0,15	0,15	15,22
26	22,05	20,05	9,07	19,44	3,04	19,36	0,41	19,32	0,21	0,21	14,13
27	22,34	20,15	9,80	19,48	3,33	19,35	0,67	19,31	0,21	0,21	15,69
28	22,85	20,53	10,15	19,70	4,04	19,52	0,91	19,46	0,31	0,31	17,42
29	22,80	20,36	10,70	19,97	1,92	19,93	0,20	19,91	0,10	0,10	14,52
30	22,68	20,76	8,47	19,87	4,29	19,68	0,96	19,62	0,30	0,30	15,60

Tabela 6 - Umidade da MLC de *Eucalyptus urograndis* utilizada para ensaio de flexão (FLI)

Diante disso, constatou-se que a madeira apresentou umidade média de 14,72%, variando de 11,19% a 17,42% conforme apresentado anteriormente.

## Resultado dos ensaios de flexão da MLC de *Eucalyptus urograndis*

Os ensaios foram realizados com a madeira com a flecha inicial ajustando a madeira à flecha inicial determinada pelo arqueamento da peça. As peças foram aleatoriamente posicionadas com o arqueamento para cima, neste caso considerada a flecha como negativa e para baixo, considerada a flecha positiva. No ensaio, o corpo de prova FLI27 teve a lamela inferior com a menor dimensão (12mm). De forma geral, se observou que a ruptura ocorreu na lamela inferior, conforme ilustra a Figura 5.



Figura 5 - Momento de ruptura da peça ensaiada a flexão da MLC de *Eucalyptus urograndis*.

A Tabela 7 apresenta 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 foram adotadas de forma aleatória, considerando flecha negativa, indicando que o arqueamento estava voltado para cima e flecha positiva, com o arqueamento voltado para baixo.

Corpo de prova	Dimensões		Deformações (mm)		Disposição das lâminas	Espessura lâmina de base (mm)	Seção transversal (cm <sup>2</sup> )	Força de ruptura (N)	Flecha no ensaio (mm)	Deslocamento (mm)
	b (cm)	h (cm)	Encurvamento	Arqueamento						
01	4,9	5,0	1	3	AAC	16	24,50	5.465,15	3	30,91
02	4,9	5,0	1	3	CAC	16	24,50	6.780,17	-3	32,26
03	4,9	5,1	1	3	CAA	16	24,99	6.415,45	3	33,63
04	5,0	5,1	1	2	CCA	13	25,50	6.242,65	-2	20,56
05	4,9	5,1	0	3	ACA	17	24,99	5.426,90	3	24,62
06	4,9	5,2	1	1	CCC	17	25,48	6.799,39	-1	40,15
07	5,0	5,2	1	1	CCA	14	26,00	3.555,33	1	13,66
08	5,0	5,0	1	1	ACA	16	25,00	6.703,38	-1	41,86
09	4,9	5,0	1	2	CAA	16	24,50	5.234,88	2	17,31
10	5,0	5,0	1	2	AAC	13	25,00	5.810,75	-2	44,58
11	4,9	5,0	1	3	CAC	18	24,50	5.206,14	-1	18,93
12	5,0	5,0	1	1	CAC	15	25,00	5.292,54	1	31,10
13	5,0	5,0	1	1	ACA	11	25,00	6.213,81	-1	31,93
14	5,0	5,0	0	1	ACC	15	25,00	6.290,70	0	52,09
15	5,0	5,0	1	0	AAC	11	25,00	4.313,61	-2	19,98
16	5,0	5,0	1	2	AAA	13	25,00	6.943,26	3	45,79
17	5,0	5,1	0	2	AAA	13	25,25	5.474,86	2	36,86
18	5,0	5,1	2	3	ACA	15	25,50	7.384,77	-3	39,54
19	5,0	5,0	1	3	ACA	16	25,00	5.484,47	3	25,25
20	5,0	5,0	0	0	AAC	23	25,00	6.194,69	0	25,57
21	4,9	5,1	0	2	CCA	11	24,99	6.137,12	2	29,12
22	4,9	5,1	0	0	CAA	16	24,99	5.110,13	0	19,23
23	4,9	5,0	0	2	CAC	17	24,50	5.589,99	2	38,55
24	5,0	5,2	2	3	CCA	15,5	26,00	5.580,48	-3	22,86
25	5,0	5,1	0	4	CAC	12	25,50	5.225,37	4	25,97
26	5,0	5,1	0	0	CAC	16	25,50	5.158,09	0	19,91
27	5,0	5,1	0	2	ACC	12	25,50	4.620,67	2	15,35
28	4,9	5,1	0	1	ACA	14,5	24,99	5.484,47	-1	33,86
29	5,0	5,2	0	2	AAC	17	26,00	5.398,17	2	27,35
30	4,9	5,1	1	3	ACC	13	24,99	6.674,55	-3	43,17

Tabela 7 - Resultados dos ensaios de flexão da MLC de *Eucalyptus urograndis* (FLI).

Com base dos resultados dos ensaios, foi determinada a resistência à flexão da MLC, conforme apresentado na Tabela 8.

Corpo de prova	b (cm)	h (cm)	Força de ruptura (N)	Momento fletor (N.m)	Módulo de resistência (m³)	Resistência a flexão (MPa)
01	4,9	5,0	5.465,15	1.434,60	0,0000204167	70,27
02	4,9	5,0	6.780,17	1.779,79	0,0000204167	87,17
03	4,9	5,1	6.415,45	1.684,06	0,0000212415	79,28
04	5,0	5,1	6.242,65	1.638,70	0,0000216750	75,6
05	4,9	5,1	5.426,90	1.424,56	0,0000212415	67,07
06	4,9	5,2	6.799,39	1.784,84	0,0000220827	80,83
07	5,0	5,2	3.555,33	933,27	0,0000225333	41,42
08	5,0	5,0	6.703,38	1.759,64	0,0000208333	84,46
09	4,9	5,0	5.234,88	1.374,16	0,0000204167	67,31
10	5,0	5,0	5.810,75	1.525,32	0,0000208333	73,22
11	4,9	5,0	5.206,14	1.366,61	0,0000204167	66,94
12	5,0	5,0	5.292,54	1.389,29	0,0000208333	66,69
13	5,0	5,0	6.213,81	1.631,13	0,0000208333	78,29
14	5,0	5,0	6.290,70	1.651,31	0,0000208333	79,26
15	5,0	5,0	4.313,61	1.132,32	0,0000208333	54,35
16	5,0	5,0	6.943,26	1.822,61	0,0000208333	87,49
17	5,0	5,1	5.474,86	1.437,15	0,0000212521	67,62
18	5,0	5,1	7.384,77	1.938,50	0,0000216750	89,43
19	5,0	5,0	5.484,47	1.439,67	0,0000208333	69,1
20	5,0	5,0	6.194,69	1.626,11	0,0000208333	78,05
21	4,9	5,1	6.137,12	1.610,99	0,0000212415	75,84
22	4,9	5,1	5.110,13	1.341,41	0,0000212415	63,15
23	4,9	5,0	5.589,99	1.467,37	0,0000204167	71,87
24	5,0	5,2	5.580,48	1.464,88	0,0000225333	65,01
25	5,0	5,1	5.225,37	1.371,66	0,0000216750	63,28
26	5,0	5,1	5.158,09	1.354,00	0,0000216750	62,47
27	5,0	5,1	4.620,67	1.212,93	0,0000216750	55,96
28	4,9	5,1	5.484,47	1.439,67	0,0000212415	67,78
29	5,0	5,2	5.398,17	1.417,02	0,0000225333	62,89
30	4,9	5,1	6.674,55	1.752,07	0,0000212415	82,48

Tabela 8 - Resistência à flexão da MLC de *Eucalyptus urograndis* (FLI)

Em análise feita com o Boxplot observou-se que FLI07 apresenta características de um elemento discrepante, possível *outliers* e foi desconsiderado nos cálculos estatísticos. Assim, o valor médio da amostra corresponde à 72,18 MPa, com um desvio padrão de 9,30 MPa, com valor mínimo observado de 54,35 MPa e máximo de 89,43 MPa, portanto com uma amplitude de 35,08 MPa e um coeficiente de variação de 12,9%.

Quando comparados os valores com a madeira natural, verifica-se uma menor variabilidade nos resultados. A MLC apresentou coeficiente de variação de 12,9%, enquanto

que na madeira natural foi 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,  $\sigma$  = desvio padrão e “n” o número de elementos amostrais.

$$t_{0,99;28} = 2,763.$$

$$I = 72,18 \pm 2,763 \cdot \frac{9,30}{\sqrt{29}} = 72,18 \pm 4,77$$

Valor mínimo = 67,41 MPa e valor máximo = 76,95 MPa.

Considerando que a umidade média observada foi de 14,72%, que 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 de acordo com o item 5.3, 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,  $f_{\text{test}}$  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: 78,07 MPa; Valor mínimo: 72,91 MPa; Valor máximo: 83,22 MPa.  
Portanto a Resistência característica encontrada é de 68,42 MPa.

De acordo com um estudo de Espessato et al (2024) o valor da média da resistência à flexão da madeira natural de *Eucalyptus urograndis* encontrado foi de 52,37 MPa. O que se conclui que os valores observados no presente estudo da MLC são superiores aos obtidos para a madeira natural da mesma espécie. Considerando o valor médio de 78,07 MPa, isso corresponde a um aumento de 49,07% se comparado com a madeira natural. Os valores são similares aos obtidos pelo IPT (2003), de 75,6 MPa. O resultado permite a classificação mecânica da madeira, de acordo com a NBR 7190-2 (ABNT, 2022b) como Classe 1.

### Módulo de elasticidade na flexão da MLC de *Eucalyptus urograndis*

Dos ensaios de flexão da madeira de *Eucalyptus urograndis* foram extraídos os esforços ( $F$ ) e a deformação ( $\epsilon$ ) para 50% e 10% da força de ruptura, conforme a Tabela 9.

Elemento	Esforços (N)		Deformação (mm)		$E_f$ (MPa)
	$F_{50\%}$	$F_{10\%}$	$\epsilon_{50\%}$	$\epsilon_{10\%}$	
01	2.732.575	546.515	9,3033	1,2552	12.834
02	3.390.085	678.017	11,7937	1,8405	12.875
03	3.207.725	641.545	10,7255	1,5488	12.451
04	3.121.325	624.265	8,5575	1,2638	14.939
05	2.713.450	542.690	9,3440	1,2590	11.955
06	3.399.695	679.939	12,6117	1,9643	10.730
07	1.777.665	355.533	5,8864	0,6011	11.076
08	3.351.690	670.338	10,4577	1,5462	13.933
09	2.617.440	523.488	7,1982	1,0263	16.031
10	2.905.375	581.075	11,9429	1,7874	10.598
11	2.603.070	520.614	7,7514	1,0886	14.768
12	2.646.270	529.254	7,9769	1,1613	14.383
13	3.106.905	621.381	9,9288	1,5481	13.733
14	3.145.350	629.070	9,3919	1,4700	14.708
15	2.156.805	431.361	8,2340	0,9771	11.010
16	3.471.630	694.326	11,9208	1,8460	12.765
17	2.737.430	547.486	9,9900	1,3490	11.390
18	36.92.385	738.477	10,9446	1,7402	14.003
19	2.742.235	548.447	10,0711	1,4051	11.722
20	3.097.345	619.469	9,3028	1,4365	14.586
21	3.068.560	613.712	10,4202	1,4882	12.237
22	2.555.065	511.013	7,5714	0,9933	13.835
23	2.794.995	558.999	11,5795	1,6607	10.652
24	2.790.240	558.048	9,0232	1,2796	11.866
25	2.612.685	522.537	9,6547	1,3815	11.024
26	2.579.045	515.809	8,2532	1,0796	12.550
27	2.310.335	462.067	6,2081	0,7645	14.815
28	2.742.235	548.447	9,6530	1,2971	11.690
29	2.699.085	539.817	9,5159	1,3497	10.885
30	3.337.275	667.455	11,0622	1,5886	12.548

Tabela 9 - Esforços, deformação e módulo de elasticidade na flexão da MLC do *eucalyptus urograndis* (FLI)

A análise feita com a ferramenta *boxplot* não indicou a presença de elementos discrepantes. Assim, os resultados indicam um valor médio de 12,75 GPa, com um desvio padrão de 1,56 GPa. Apresenta um valor mínimo de 10,60 GPa, com um valor máximo de 16,03 GPa, portanto com uma amplitude de 5,43 GPa e com um coeficiente de variação de 12,2%. Considerando que o coeficiente de variação de 12,2% é bastante expressivo o intervalo de confiança foi determinado 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,  $s$  = desvio padrão e “n” o número de elementos amostrais.

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

$$I = 12,75 \pm 2,756 \cdot \frac{1,56}{\sqrt{30}} = 12,75 \pm 0,78$$

Valor mínimo = 11,97 GPa e valor máximo = 13,53 GPa.

Considerando que a umidade observada de 14,72% 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,  $E_{\text{test}}$  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: 13,44 GPa = 13.440 MPa; Valor mínimo: 12,62 GPa = 12.620 MPa; Valor máximo: 14,27 GPa = 14.270 MPa. Portanto, a Resistência característica encontrada foi de 12,11 GPa = 12.110 MPa

## Ensaios de tração da MLC de *Eucalyptus urograndis* paralela às fibras da madeira.

Os ensaios de tração paralela às fibras da MLC de *Eucalyptus urograndis* foram realizados conforme mencionado na metodologia. A Figura 6 apresenta algumas amostras utilizadas no presente estudo. Visualmente não foram observados detalhes nas peças a serem ensaiadas.



Figura 6 - Amostra para ensaio a tração da MLC de *Eucalyptus urograndis*

A Figura 7 à esquerda apresenta a prensa utilizada no estudo e a direita se observa as linhas de ruptura da madeira ensaiada, onde se observa que em algumas peças há continuidade da linha na passagem de uma para outra lamela e em outras a ruptura ocorre em linhas paralelas em cada lamela.



Figura 7 - Ensaio a tração da MLC de *Eucalyptus urograndis* e corpos de prova que mostram as linhas de ruptura

Após os ensaios de tração, foram extraídos CPs para obtenção da umidade da madeira cujos resultados estão apresentados Tabela 10.

Data	18/01/23		19/01/23		19/01/23		19/01/23		Umidade
	Hora	19:30	1:30		7:30		13:30		
01	19,92	18,49	7,2%		17,46	5,6%	17,43	0,2%	14,29%
02	19,62	17,72	9,7%		17,26	2,6%	17,24	0,1%	13,81%
03	19,11	17,89	6,4%		16,74	6,4%	16,70	0,2%	14,43%
04	19,02	17,04	10,4%		16,70	2,0%	16,68	0,1%	14,03%
05	19,05	17,09	10,3%		16,65	2,6%	16,63	0,1%	14,55%
06	19,47	18,07	7,2%		17,08	5,5%	17,07	0,1%	14,06%
07	19,83	18,10	8,7%		17,50	3,3%	17,47	0,2%	13,51%
08	19,95	18,33	8,1%		17,50	4,5%	17,47	0,2%	14,20%
09	19,11	17,10	10,5%		16,72	2,2%	16,74	-0,1%	14,16%
10	19,38	17,42	10,1%		16,94	2,8%	16,93	0,1%	14,47%
11	19,86	18,23	8,2%		17,44	4,3%	17,44	0,0%	13,88%
12	19,68	18,03	8,4%		17,23	4,4%	17,21	0,1%	14,35%
13	19,11	17,45	8,7%		16,82	3,6%	16,80	0,1%	13,75%
14	19,05	17,15	10,0%		16,72	2,5%	16,74	-0,1%	13,80%
15	19,62	18,05	8,0%		17,22	4,6%	17,21	0,1%	14,00%
16	19,05	17,26	9,4%		16,73	3,1%	16,71	0,1%	14,00%
17	19,71	17,64	10,5%		17,23	2,3%	17,26	-0,2%	14,19%
18	19,35	17,24	10,9%		16,93	1,8%	16,96	-0,2%	14,09%
19	19,26	17,26	10,4%		16,80	2,7%	16,83	-0,2%	14,44%
20	19,83	17,77	10,4%		17,31	2,6%	17,30	0,1%	14,62%
21	19,92	18,35	7,9%		17,35	5,4%	17,37	-0,1%	14,68%
22	19,38	17,27	10,9%		16,93	2,0%	16,94	-0,1%	14,40%
23	19,32	17,35	10,2%		16,95	2,3%	16,97	-0,1%	13,85%

Data	18/01/23		19/01/23		19/01/23		19/01/23		Umidade
	Hora	19:30	1:30		7:30		13:30		
24	19,71	17,58	10,8%	17,34	1,4%	17,32	0,1%	13,80%	
25	19,50	17,63	9,6%	17,01	3,5%	16,97	0,2%	14,91%	
26	19,95	17,88	10,4%	17,43	2,5%	17,46	-0,2%	14,26%	
27	19,80	17,72	10,5%	17,33	2,2%	17,35	-0,1%	14,12%	
28	19,14	17,69	7,6%	16,73	5,4%	16,72	0,1%	14,47%	
29	19,29	17,46	9,5%	16,96	2,9%	16,98	-0,1%	13,60%	
30	19,02	17,29	9,1%	16,68	3,5%	16,68	0,0%	14,03%	
31	19,11	17,20	10,0%	16,76	2,6%	16,74	0,1%	14,16%	
32	19,35	17,94	7,3%	16,94	5,6%	16,96	-0,1%	14,09%	
33	19,92	17,79	10,7%	17,45	1,9%	17,45	0,0%	14,15%	
34	19,56	17,64	9,8%	17,07	3,2%	17,07	0,0%	14,59%	
35	19,53	18,20	6,8%	16,93	7,0%	17,08	-0,9%	14,34%	

Tabela 10 - Umidade da MLC de *Eucalyptus urograndis* ensaiada a tração (TNIL)

Os resultados indicaram uma umidade média da madeira de 14,17%, variando de 13,51% a 14,91%.

Com os resultados foi possível verificar a deformação total sofrida no ensaio, as dimensões da peça e a disposição das lamelas, classificadas visualmente onde (C) representa madeira de cerne com coloração mais escura e (A) o alburno, de coloração mais clara (esbranquiçada). A Tabela 11 apresenta o resultado dos ensaios de tração da MLC e a caracterização das peças.

Corpo de prova	b (cm)	h (cm)	Disposição das lâminas	Seção transversal (cm <sup>2</sup> )	Força de ruptura (N)	Deformação (mm)	Tensão (MPa)
01	5,0	0,7	CCC	3,50	18.389,20	5,80	52,54
02	5,0	0,7	CCA	3,50	13.120,10	4,90	37,49
03	5,0	0,7	CCA	3,50	18.552,39	8,70	53,01
04	5,0	0,8	CAC	4,00	19.876,93	8,90	49,69
05	5,0	0,7	CCA	3,50	20.376,00	7,20	58,22
06	5,0	0,7	CAA	3,50	18.149,32	7,90	51,86
07	5,0	0,7	AAA	3,50	25.875,48	22,80	73,93
08	5,0	0,7	CCC	3,50	19.521,81	6,20	55,78
09	5,0	0,7	CAA	3,50	25.443,58	10,20	72,70
10	5,0	0,7	CCA	3,50	20.759,85	6,60	59,31
11	5,0	0,7	CCA	3,50	22.861,78	9,50	65,32
12	5,0	0,7	CAA	3,50	17.794,21	6,30	50,84
13	5,0	0,7	CAC	3,50	25.146,03	8,90	71,85
14	5,0	0,7	CAC	3,50	13.264,07	5,10	37,90

Corpo de prova	b (cm)	h (cm)	Disposição das lâminas	Seção transversal (cm <sup>2</sup> )	Força de ruptura (N)	Deformação (mm)	Tensão (MPa)
15	5,0	0,7	ACA	3,50	10.883,81	3,90	31,10
16	5,0	0,8	CAA	4,00	22.756,16	7,70	56,89
17	5,0	0,7	ACA	3,50	20.183,98	11,90	57,67
18	4,9	0,7	CAA	3,43	17.074,38	6,90	49,78
19	5,0	0,8	CAC	3,75	19.771,30	6,50	52,72
20	5,0	0,7	CAA	3,50	22.372,32	9,20	63,92
21	4,9	0,8	CCA	3,92	22.794,61	8,00	58,15
22	4,9	0,8	CAC	3,92	21.364,55	6,30	54,50
23	5,0	0,8	CAA	4,00	16.076,22	8,70	40,19
24	4,9	0,7	AAA	3,43	17.727,04	12,90	51,68
25	5,0	0,7	CAA	3,47	11.267,75	4,00	32,52
26	5,0	0,8	CAA	3,75	24.349,41	10,80	64,93
27	5,0	0,9	CAA	4,25	25.347,56	15,20	59,64
28	5,0	0,8	ACA	3,75	24.483,76	9,70	65,29
29	5,0	0,8	ACA	4,00	23.619,96	9,20	59,05
30	5,0	0,7	CAA	3,50	16.306,49	6,50	46,59
31	4,9	0,8	CAA	3,68	19.118,75	8,90	52,02
32	4,9	0,7	ACA	3,43	21.585,31	18,30	62,93
33	4,9	0,8	CAA	3,92	17.343,09	5,10	44,24
34	5,0	0,7	CCA	3,66	21.182,14	8,70	57,83
35	4,9	0,8	CCC	3,71	22.487,45	8,00	60,69

Tabela 11 - Resultado dos ensaios de tração da MLC de *Eucalyptus urograndis*, as dimensões das peças, a disposição das lamelas e a deformação total observada (TNIL)

Na análise feita pelo Boxplot observou-se que os elementos TNIL15 e TNIL25 mostraram discrepância e, portanto, foram considerados *outliers* e desconsiderados nos cálculos estatísticos.

O valor médio observado é de 56,03 MPa, com um valor mínimo de 37,49 MPa e máximo de 73,93 MPa, apresentando um desvio padrão 9,06 MPa, com uma amplitude e 36,44 MPa e um coeficiente de variação 16,2%.

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, s = desvio padrão e “n” o número de elementos amostrais.

$$t_{0,99;32} = 2,740.$$

$$I = 56,03 \pm 2,740 \cdot \frac{9,06}{\sqrt{33}} = 56,03 \pm 4,32$$

Resultando no valor médio de 56,03 MPa, Valor mínimo = 51,71 MPa e valor máximo = 60,35 MPa.

Considerando que a umidade média observada foi de 14,17%, 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,  $t_{\text{test}}$  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: 59,67 MPa; Valor mínimo: 55,08 MPa; Valor máximo: 64,28 MPa. Portanto a Resistência característica encontrada foi de 47,73 MPa.

Conforme apresentado por Espessato et al (2024) o valor da resistência à tração da madeira natural de *Eucalyptus Urograndis* médio foi de 56,93 MPa. O valor encontrado no presente estudo da MLC é 4,8 % superior se comparado com o estudo da madeira natural de *Eucalyptus Urograndis*. Porém, os valores são inferiores aos obtidos por Miotto e Dias (2009), de 82,9 MPa e Magalhães e Santos (2009), de 183 MPa.

### Ensaios de cisalhamento paralelo às fibras da madeira da MLC de *Eucalyptus urograndis*

As amostras utilizadas nos ensaios de cisalhamento paralelo às fibras da MLC de *Eucalyptus urograndis* estão apresentadas na Figura 8.



Figura 8 - Amostra para ensaio de cisalhamento paralelo às fibras da MLC de *Eucalyptus urograndis*.

A Tabela 12 apresenta os resultados de umidade da MLC após os ensaios de cisalhamento paralelo às fibras, bem como classifica (A) alburno e (C) o cerne em sua composição. Essa classificação foi realizada de forma visual, classificando-se o alburno pela coloração esbranquiçada e o cerne com coloração rodada.

Data	Composição	19/01/23		20/01/23		20/01/23		20/01/23		Umidade (%)
		19:30	01:30	07:30	13:30					
01	ACA	19,02	17,36	8,7%	16,73	3,6%	16,69	0,2%	13,96	
02	CAA	19,14	17,32	9,5%	16,89	2,5%	16,82	0,4%	13,79	
03	AAA	19,38	17,39	10,3%	17,10	1,7%	17,04	0,4%	13,73	
04	ACA	19,50	17,70	9,2%	17,19	2,9%	17,14	0,3%	13,77	
05	ACA	19,89	17,69	11,1%	17,49	1,1%	17,43	0,3%	14,11	
06	CAA	19,86	17,93	9,7%	17,52	2,3%	17,46	0,3%	13,75	
07	ACA	19,41	17,48	9,9%	17,14	1,9%	17,06	0,5%	13,77	
08	AAA	19,83	17,77	10,4%	17,45	1,8%	17,42	0,2%	13,83	
09	AAA	19,20	17,59	8,4%	16,85	4,2%	16,82	0,2%	14,15	
10	CCA	19,92	17,80	10,6%	17,46	1,9%	17,42	0,2%	14,35	
11	AAA	19,56	17,62	9,9%	17,28	1,9%	17,25	0,2%	13,39	
12	CAA	19,71	17,74	10,0%	17,40	1,9%	17,33	0,4%	13,73	
13	CAA	19,41	17,39	10,4%	17,10	1,7%	17,08	0,1%	13,64	
14	CCA	19,68	17,78	9,7%	17,17	3,4%	17,14	0,2%	14,82	
15	AAA	19,80	18,17	8,2%	17,44	4,0%	17,39	0,3%	13,86	

Tabela 12 - Resultado do ensaio de umidade na MLC de *Eucalyptus urograndis* ensaiada a cisalhamento paralelo às fibras (SHLI)

Os resultados indicam uma umidade média da madeira de 13,91%, variando de 13,39% mínimo a 14,82% máximo.

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

Corpo de prova	b (cm)	h (cm)	Disposição das lâminas	Seção transversal (cm <sup>2</sup> )	Força de ruptura (N)	Deslocamento (mm)	Umidade (%)	Tensão (MPa)
01	3,20	4,90	ACA	15,6800	15.922,65	1,80	14,0	10,15
02	3,20	4,90	CAA	15,6800	19.867,31	1,80	13,8	12,67
03	3,20	4,80	AAA	15,3600	15.116,41	1,70	13,7	9,84
04	3,20	4,80	ACA	15,3600	15.788,29	1,70	13,8	10,28
05	3,20	4,87	ACA	15,5840	21.201,36	1,70	14,1	13,60
06	3,20	4,90	CAA	15,6800	17.323,87	1,90	13,8	11,05
07	3,20	4,93	ACA	15,7760	19.301,06	1,50	13,8	12,23
08	3,20	4,90	AAA	15,6800	11.248,53	1,50	13,8	7,17
09	3,20	4,90	AAA	15,6800	10.797,41	1,30	14,2	6,89
10	3,20	4,95	CCA	15,8400	16.949,54	1,40	14,4	10,70
11	3,20	4,90	AAA	15,6800	8.753,14	1,20	13,4	5,58
12	3,20	4,94	CAA	15,8080	14.377,36	1,60	13,7	9,09
13	3,20	4,90	CAA	15,6800	12.265,03	1,50	13,6	7,82
14	3,20	4,90	CCA	15,6800	12.592,19	1,30	14,8	8,03
15	3,20	4,86	AAA	15,5520	11.354,15	1,30	13,9	7,30

Tabela 13 - Resultado dos ensaios de cisalhamento paralelo às fibras da MLC de *Eucalyptus urograndis* (SHLI)

A análise feita pelo Boxplot não apresentou pontos discrepantes, assim, todos os elementos foram considerados no tratamento estatístico, que apresentou resistência média ao cisalhamento de 9,49 MPa, com uma variação de 5,58 MPa a 13,60 MPa, com uma amplitude de 8,02 MPa, apresentando um desvio padrão de 2,34 MPa, e um coeficiente de variação de 24,29%.

Considerando que a umidade observada de 13,91% 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:  $\sigma_{12}$  é a resistência da madeira a 12% de umidade,  $\sigma_{\text{test}}$  é a resistência da madeira ensaiada e  $U$  a umidade da madeira, neste caso a umidade média, assim, os valores corrigidos são:

- Valor médio: 10,04 MPa; Valor mínimo: 5,90 MPa; Valor máximo: 14,38 MPa
- Resistência característica: 7,03 MPa

O valor obtido de 10,04 MPa é 4,4% superior ao observado para a madeira natural que foi de 9,09 MPa (Espessato, et al., 2024).

Os ensaios de resistência ao cisalhamento da MLC de *Eucalyptus urograndis* na estão apresentados na Tabela 14.

Corpo de prova	B (mm)	H (mm)	Seção transversal (cm <sup>2</sup> )	Força de ruptura (N)	Tensão de cisalhamento (MPa)
01	51,0	30,9	15,7590	3.981,45	2,53
02	51,0	30,8	15,7080	4.962,24	3,16
03	51,1	31,0	15,8410	8.579,95	5,42
04	50,8	31,1	15,7988	11.267,95	7,13
05	51,0	31,2	15,9120	6.209,99	3,90
06	50,9	31,1	15,8299	7.515,20	4,75
07	50,8	31,1	15,7988	8.455,79	5,35
08	51,0	31,2	15,9120	11.863,04	7,46
09	50,5	31,1	15,7055	8.081,46	5,15
10	51,1	31,8	16,2498	9.530,74	5,87
11	50,8	31,0	15,7480	10.576,95	6,72
12	50,8	31,1	15,7988	10.634,51	6,73
13	50,8	31,0	15,7480	8.561,41	5,44
14	51,0	30,9	15,7590	15.490,94	9,83
15	51,0	30,9	15,7590	16.057,20	10,19
16	50,7	31,1	15,7677	12.045,35	7,64
17	50,8	31,1	15,7988	10.615,29	6,72
18	50,8	31,0	15,7480	9.415,60	5,98
19	51,3	31,2	16,0056	10.826,44	6,76
20	51,0	31,0	15,8100	10.231,35	6,47
21	50,7	30,8	15,6156	11.517,54	7,38
22	51,0	31,1	15,8610	12.688,39	8,00
23	51,0	30,9	15,7590	12.275,72	7,79
24	50,8	31,0	15,7480	14.243,20	9,04
25	50,5	31,2	15,7560	10.231,35	6,49
26	50,7	31,0	15,7170	12.630,83	8,04
27	50,9	30,0	15,2700	10.672,86	6,99

Tabela 14 - Resistência ao cisalhamento na linha de cola da MLC de *Eucalyptus urograndis* (SHC)

A análise feita pelo Boxplot não indicou a existência de elementos discrepantes, assim, os valores obtidos indicam uma resistência média ao cisalhamento na linha de cola de 6,55 MPa, com uma variação de 2,53 MPa a 10,19 MPa, com uma amplitude de 7,66 MPa, apresentando um desvio padrão de 1,80 MPa, e um coeficiente de variação de 27,44%.

Após os ensaios, foram extraídas de alguns elementos, testemunhos para a obtenção do teor de umidade médio, cujos resultados estão apresentados na Tabela 15.

Data	Hora	SHC01	SHC07	SHC12	SHC16	SHC19	SHC25
19/01/2023	19:30	20,05	21,39	21,22	20,90	22,34	20,45
20/01/2023	01:30	18,45	19,98	19,39	19,10	20,69	18,48
		8,0%	6,6%	8,6%	8,6%	7,4%	9,6%
20/01/2023	07:30	17,65	18,79	18,53	18,36	19,62	18,06
		4,3%	6,0%	4,4%	3,9%	5,2%	2,3%
20/01/2023	13:30	17,65	18,78	18,53	18,37	19,62	17,97
		0,0%	0,1%	0,0%	-0,1%	0,0%	0,5%
Média		13,6%	13,9%	14,5%	13,8%	13,9%	13,8%

Tabela 15 - Umidade dos testemunhos de corpos de prova para ensaio de cisalhamento na linha de cola da MLC de *Eucalyptus Urograndis*

O teor de umidade médio é de 13,91%. Considerando este teor que 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 à compressão, para a umidade padrão de 12%, pode ser feita de acordo com o item 9.1, aplicando uma redução de 3% para carga percentual de ganho de umidade, ou seja:

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

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

- Valor médio: 6,93 MPa; Valor mínimo: 2,67 MPa; Valor máximo: 10,77 MPa. Portanto a Resistência característica encontrada foi de 4,85 MPa.

O valor médio obtido de 6,93 é inferior ao observado para a MLC, que foi 9,49 MPa, portanto com uma redução de 31,0% e 27,9%. Esse resultado foi inferior se comparado com o observado para a madeira natural que foi de 9,09 MPa (Espessato, et al., 2024).

### **Ensaios de compressão simples paralela às fibras da MLC de *Eucalyptus urograndis***

A Figura 9 apresenta uma parcela dos CPs de MLC de *Eucalyptus urograndis* utilizadas no ensaio de compressão simples paralela às fibras.



Figura 9 - Amostra para ensaio de compressão simples paralela às fibras da MLC de *Eucalyptus urograndis*.

Inicialmente não foram observados defeitos na análise visual das amostras. A Tabela 16 apresenta os resultados de umidade após os ensaios de compressão simples. Também relaciona a disposição das lamelas, sendo considerado (C) o cerne e (A) o alburno, que foram classificados visualmente pela coloração. O alburno com a cor esbranquiçada e cerne com uma coloração mais rosada.

Data	Disposição das lamelas	27/12/22		27/12/22		27/12/22		Umidade (%)
		10:00	16:00	Variação (%)	22:00	Variação (%)		
01	ACC	18,80	16,78	10,74	16,73	0,30		12,37
02	CCC	19,17	17,09	10,85	17,03	0,35		12,57
03	CAC	18,93	16,85	10,99	16,78	0,42		12,81
04	CCC	18,23	16,27	10,75	16,22	0,31		12,39
05	AAA	19,13	17,04	10,93	17,00	0,23		12,53
06	AAC	18,95	16,87	10,98	16,85	0,12		12,46
07	CAC	18,35	16,39	10,68	16,37	0,12		12,10
08	ACC	19,51	17,37	10,97	17,33	0,23		12,58
09	AAA	18,85	16,78	10,98	16,74	0,24		12,60
10	ACC	18,65	16,59	11,05	16,52	0,42		12,89
11	ACC	20,00	17,78	11,10	17,75	0,17		12,68
12	CCC	18,19	16,16	11,16	16,14	0,12		12,70
13	CCC	18,23	16,17	11,30	16,14	0,19		12,95
14	ACC	18,96	16,89	10,92	16,87	0,12		12,39

Tabela 16 - Umidade da MLC de *Eucalyptus urograndis* utilizada nos ensaios de compressão simples e disposição das lamelas (CSPL)

Os resultados indicaram uma variação média de 12,57% na madeira ensaiada, sendo observados valores entre 12,10% e 12,95%, portanto com uma amplitude de 0,85%.

## Determinação da densidade da MLC de *Eucalyptus urograndis* utilizada nos ensaios de compressão simples paralela às fibras

As dimensões dos corpos de prova, o peso, a densidade e a disposição das lamelas estão apresentadas na Tabela 17.

CP	Disposição das lamelas	L (mm)	b (mm)	h (mm)	Vol (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	Densidade ( $\rho$ )	
							(g/cm <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )
01	ACC	149	51	51	388,329	245,84	0,63	633,07
02	CCC	149	50	51	379,950	240,37	0,63	632,64
03	CAC	149	51	49	373,351	230,97	0,62	618,64
04	CCC	149	51	50	377,160	229,13	0,61	607,51
05	AAA	149	51	50	374,691	241,34	0,64	644,10
06	AAC	150	51	49	380,620	235,65	0,62	619,12
07	CAC	150	51	50	381,422	228,76	0,60	599,76
08	ACC	150	51	49	375,316	244,02	0,65	650,17
09	AAA	150	50	52	384,963	241,82	0,63	628,17
10	ACC	149	52	50	384,448	238,94	0,62	621,52
11	ACC	150	49	51	375,818	245,6	0,65	653,51
12	CCC	150	52	50	382,649	227,49	0,59	594,51
13	CCC	149	53	50	391,913	238,14	0,61	607,64
14	ACC	149	50	51	383,701	240,08	0,63	625,70

Nota: A disposição das lamelas indica a composição da MLC, onde A indica o alburno e c o cerne, cuja classificação foi visual, considerando o alburno as lamelas de cores claras (esbranquiçadas) e o cerne a coloração mais escura (rosada).

Tabela 17 - Medições, pesagens e determinação da densidade da MLC do *Eucalyptus urograndis* (CSPL)

Na análise do Boxplot não se observou elementos discrepantes. Os resultados indicam uma densidade média de 624,00 kg/m<sup>3</sup>, com um desvio padrão de 17,96 kg/m<sup>3</sup>. Apresenta um valor mínimo de 594,51 kg/m<sup>3</sup>, com um valor máximo de 653,51 kg/m<sup>3</sup>, portanto com uma amplitude 58,99 kg/m<sup>3</sup> e um coeficiente de variação de 2,9%

Considerando que a umidade observada de 12,57% 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:

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

onde:  $\rho_{12}$  é a densidade na umidade padrão de 12%,  $\rho_{\text{test}}$  é a densidade observada e U a umidade média da madeira em proporção. Desta forma o valor médio é de 625,79 kg/

$m^3$ . o que permite a classificação mecânica da madeira como Classe 2 pela NBR 7190-2 (ABNT, 2022b). Pelo valor médio, a madeira pode ser classificada como de Classe 2.

A densidade característica da madeira é de 654,39 kg/ $m^3$ . Se observa que a MLC apresentou uma densidade compatível com a da madeira natural, que foi de 632,80 kg/ $m^3$ .

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão simples paralela às fibras da MLC do *Eucalyptus Urograndis* estão apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**18, onde está indicada a disposição das lamelas e a deformação da madeira observada.

Corpo de prova	Disposição das lamelas	Força de ruptura (N)	Seção (cm $^2$ )	Tensão de compressão simples (MPa)	Deformação (mm)
01	ACC	146.243,65	26,01	56,23	2,44
02	CCC	143.283,60	25,50	56,19	3,68
03	CAC	116.482,64	24,99	46,61	4,34
04	CCC	117.272,60	25,25	46,45	4,49
05	AAA	125.712,89	25,10	50,09	2,24
06	AAC	119.942,75	25,39	47,24	2,62
07	CAC	118.912,72	25,50	46,64	2,50
08	ACC	137.823,36	25,09	54,94	2,45
09	AAA	141.753,52	25,75	55,05	2,59
10	ACC	139.953,44	25,75	54,35	2,90
11	ACC	136.993,30	25,09	54,61	2,57
12	CCC	118.632,73	25,54	46,44	2,51
13	CCC	117.582,69	26,25	44,79	2,59
14	ACC	141.723,51	25,70	55,15	2,68

Nota: A disposição das lamelas indica a composição da MLC, onde A indica o alburno e (C) o cerne, cuja classificação foi visual, considerando o alburno as lamelas de cores claras (esbranquiçadas) e o cerne a coloração mais escura (rosada).

Tabela 18 - Resultados dos ensaios a compressão simples paralela às fibras da MLC do *Eucalyptus urograndis*, a disposição das lamelas e a deformação do corpo de prova no ensaio (CSPL)

A análise para verificação de dados discrepantes pelo Boxplot não indicou a existência destes. A MLC de *Eucalyptus urograndis* apresentou uma resistência média à compressão simples paralela às fibras de 51,06 MPa, com um desvio padrão de 4,48 MPa, apresentando valores mínimo de 44,79 MPa e máximo 56,23 MPa, com uma amplitude de 11,44 MPa e um coeficiente de variação de 8,78%.

O intervalo de confiança ao nível de 99% será obtido pela seguinte fórmula:

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

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,  $\sigma$  = desvio padrão e “n” o número de elementos amostrais.

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

$$I = 51,06 \pm 3,012 \cdot \frac{4,48}{\sqrt{14}} = 51,06 \pm 3,61$$

Valor mínimo = 47,45 MPa e valor máximo = 54,67 MPa.

Considerando que a umidade observada de 12,57% 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:  $\sigma_{12}$  é a resistência da madeira a 12% de umidade,  $\sigma_{\text{test}}$  é a resistência da madeira ensaiada e U a umidade da madeira, neste caso a umidade média, assim, os valores corrigidos são:

- Valor médio: 51,93 MPa; Valor mínimo: 48,26 MPa; Valor máximo: 55,60 MPa.  
Portanto a Resistência característica encontrada foi de 47,75 MPa.

Diante disso, a resistência média a compressão da MLC de *Eucalyptus urograndis*, de 51,93 MPa é 18,9% superior à observada para a madeira natural, que foi de 43,69 MPa segundo Espessatto et al (2024).

A resistência observada pelo presente estudo e de acordo com a NBR 7190-2 (ABNT, 2022b), permite o enquadramento da MLC na Classe I.

### 3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo destacou a caracterização física e mecânica da Madeira Laminada Colada (MLC) da espécie de *Eucalyptus urograndis*. As propriedades mecânicas estudadas foram a resistência à compressão, tração, cisalhamento e flexão. Por meio 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. Importante mencionar também que o objetivo do artigo foi analisar a resistência da madeira, portanto a maneira de colagem e as direções da cola isso não foi caracterizado no presente artigo.

Um ponto positivo relacionado a MLC de *Eucalyptus urograndis* foi de que durante o período de observação de 12 meses a MLC apresentou o mesmo comportamento em relação a madeira natural, ou seja, a mesma apresentou uma instabilidade dimensional sem encurvamentos e abaulamentos que atrapalhassem o desempenho da peça.

O estudo também abre caminho para futuras investigações sobre o tratamento e aprimoramento das propriedades da MLC da espécie de *Eucalyptus Urograndis*.

Recomenda-se que pesquisas futuras explorem métodos de colagem e tratamento da madeira, bem como as formas da introdução da cola 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, 2022.

\_\_\_\_\_. **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.

CALIL, C. JR.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A. **Dimensionamento de elementos estruturais de madeira**. Barueri: Manole, 2003.

CALIL NETO, Carlito., CHISTOFORO André Luis., RIBEIRO FILHO, Sérgio Luiz Moni Ribeiro., LAHR, Francisco Antonio Rocco., CALIL JUNIOR, Carlito., Avaliação da resistência ao cisalhamento e à delaminação em madeira laminada colada. **Ciência Florestal**. v. 24, n. 4, p. 989-996. 2014.

ESPESSATO, Alan Rizzato., ZITO, Aline Naiara., FREITAS, João Henrique de., FABICHE, Mariana Natale Fiorelli., COUTINHO, Sidnei., SAVI, Olindo., Caracterização visual e mecânica da espécie da madeira *Eucalyptus Urograndis*. **Engenharia em Perspectiva, ciência, tecnologia e inovação**. Atena, v. 5, 2024.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas: SVMA: Sinduscon-SP, 2003.

\_\_\_\_\_. **Informações sobre madeira: Eucalipto-grandis**. São Paulo: Disponível em <https://madeiras. ipt.br/eucalipto-grandis/>. Acesso em 17 de Dezembro de 2024.

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.

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.