

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA UMIDADE NO COMPORTAMENTO À FLEXÃO DE VIGAS DE MADEIRA CAMBARÁ (*Qualea ssp.*)

Isabel Heloisa Mendes Ortiz (1); Marcio Vito (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1) isabelhm.ortiz@gmail.com (2) marciovito@unesec.net

RESUMO

A aplicação de materiais alternativos em sistemas construtivos faz-se essencial. Sob tal perspectiva pode-se citar a madeira, recurso renovável com menor consumo energético quando comparado a outros materiais. O objetivo deste estudo é analisar a influência da umidade na resistência mecânica de vigas de madeira Cambará, através de ensaios experimentais. Foram utilizadas 09 amostras de 06x12x180 cm, com teor de umidade de 12,37% para o grupo A, 14,72% para o grupo B e 17,63% para o grupo C. Para cada grupo de amostras foi efetuado o ensaio de flexão estática a quatro pontos, com vão teórico de 170 cm, onde foi possível obter as cargas solicitadas, deformações longitudinais e o módulo estático E_M e E_{CO} . Após análise dos resultados o Grupo B suportou maior carga de 3790,14 kgf e o grupo A menor carga de 3442,43 kgf. Referente às deformações, O Grupo B deformou 49,37 mm enquanto o Grupo A, 32,82 mm. O Teste T bilateral e a ANOVA fator único comprovaram, com 95% de probabilidade, que as diferenças de cargas e deformações não foram estatisticamente significativas. O cálculo do intervalo de confiança apresentou, com 95% de probabilidade, os intervalos que podem contemplar valores de cargas e deformações considerando análises futuras de amostras com as mesmas características estudadas. Foram elaborados gráficos de dispersão com linhas de tendência polinomial que resultaram em equações para explicar o comportamento mecânico das amostras. Conclui-se que os teores de umidade alcançados em laboratório para vigas com dimensões estruturais apresentaram diferenças nas médias dos valores de carga aplicada e deformação das amostras. Entretanto, tais resultados não foram considerados significativos, de acordo com as análises estatísticas aplicadas.

Palavras-chave: *Madeira. Cambará. Umidade. Flexão Estática. Deformação. Módulo de elasticidade.*

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável é uma temática contemporânea com significativa importância na engenharia. A construção civil é um setor que exerce constante modificação na natureza e no cenário social e, neste contexto, a aplicação de

materiais alternativos em processos construtivos, com características igualmente ou mais satisfatórias que os tradicionais, faz-se essencial. Sob tal perspectiva, Falk (2010) argumenta que poucos materiais possuem benefícios ambientais como a madeira, recurso renovável com menor consumo energético se comparado a outros materiais, como concreto e aço.

De acordo com Pfeil (2014), a madeira é considerada um dos mais antigos materiais de construção dada a sua disponibilidade na natureza e sua relativa facilidade de manuseio. Coutinho (1999) afirma que, por exibir características como leveza e resistência, a madeira possibilitou ao ser humano abandonar sua habitação em cavernas e desenvolver técnicas construtivas na criação de cabanas.

Estudos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), sob organização de Zenid (2009) demonstram as diversas aplicações da madeira na construção civil, tais como: estacas marítimas, pontes, obras imersas, vigas, coberturas, andaimes, fôrmas para concretagem, forros, esquadrias, estruturas pesadas, entre outros.

Ainda que seu uso e técnicas de processamento tenham sido disseminados durante centenas de anos, deve-se ressaltar que o conhecimento científico relacionado ao comportamento da madeira ainda é relativamente recente (MACHADO, 2006).

Tão logo a árvore é derrubada e retirada do solo, a madeira começa a perder a maior parte de sua umidade. [...] é um material higroscópico, e sua massa, dimensões e densidade, bem como suas propriedades mecânicas, elásticas, elétricas, térmicas e de movimento são afetadas por seu teor de umidade. (LOGSDON; 1998; p. 11)

Para que se compreenda a respeito da ação da umidade na madeira, a Eurocode 5 (2004) conceitua teor de umidade como a relação de proporção entre a massa de água na madeira e sua massa seca. Machado (2006) explica que o teor, em geral, é expresso por percentual mas também em termos de quilogramas de água por quilogramas de material seco. Oliveira, Hellmeister e Tomazello Filho (2005) complementam que determinar o teor de umidade é fundamental para o desempenho e utilização da madeira.

A água encontra-se presente na madeira em duas formas: água livre nas cavidades celulares, semelhantes a uma proveta, e água de impregnação nas paredes celulares. Exposta ao ambiente, a água livre evapora rapidamente até que a madeira alcance seu ponto de saturação das fibras (PSF) (CALIL JUNIOR et al, 1998; SOMAYAJI, 2001).

O PSF é um valor importante visto que a maioria das propriedades físicas e mecânicas dependem das mudanças no teor de umidade que existe abaixo do PSF e o teor de umidade comumente aplicado em típicos elementos estruturais encontra-se abaixo do PSF. (CHEN, 1997, p. 9-4, tradução do autor).

A evaporação prossegue lentamente e cessa ao se alcançar a umidade de equilíbrio (UE). A NBR 7190:1997 determina que este valor corresponde a 12% e que os cálculos de rigidez e resistência em elementos de madeira devem considerar esta umidade padrão.

O processo descrito refere-se à secagem natural do material. Entretanto, existe também a secagem artificial, que consiste no uso de estufas ou câmaras de vácuo para que se alcancem valores inferiores à 12% (CALIL JUNIOR; LAH; BRAZOLIN apud ISAIA, 2007) ou para que se acelere o processo de secagem até determinado percentual desejado.

Existem cuidados a se observar no planejamento de uma estrutura de madeira. Devido à sua natureza biológica, a madeira está sujeita a variações em sua estrutura, o que pode influenciar em suas propriedades. Fatores ambientais, anatômicos e de utilização contribuem para tal afirmativa. (CALIL JUNIOR; LAHR; DIAS; 2003). Além de verificar a umidade e suas derivações, é necessário que se escolha a espécie que melhor atenda às especificações prévias de projeto. Para Longsdon, Finger e Rosa (2007), é essencial recuperar o conhecimento a respeito das características mecânicas da madeira de todas as espécies florestais brasileiras. Como exemplo, o Cambará, madeira nativa das regiões norte e centro-oeste brasileiras. Zenid (2009) afirma que tal espécie, também conhecida como Mandioqueira, é moderadamente dura ao corte devido à presença de sílica nas células do raio. Além disso, o Cambará não apresenta defeitos quando seca ao ar livre e requer cuidados especiais na secagem artificial. Sua aplicação na construção civil é classificada como leve interna estrutural, contemplando a estrutura de telhados, leve interna de uso geral, como forro e guarnições, além de usos em mobiliário e temporários, como andaimes e pontaletes.

É importante, também, a realização de ensaios com peças em tamanho real.

A NBR 7190/1997 – Projeto de estruturas de madeira, da Associação Brasileira e Normas Técnicas (ABNT) tem como base ensaios realizados em corpos-de-prova de pequenas dimensões e isentos de defeitos (CPs). [...] seria conveniente usar dados de resistência e rigidez obtidos em peças de tamanho estrutural. No entanto, esses dados ainda são raros no Brasil (MINÁ; DIAS, 2008, p. 130-131)

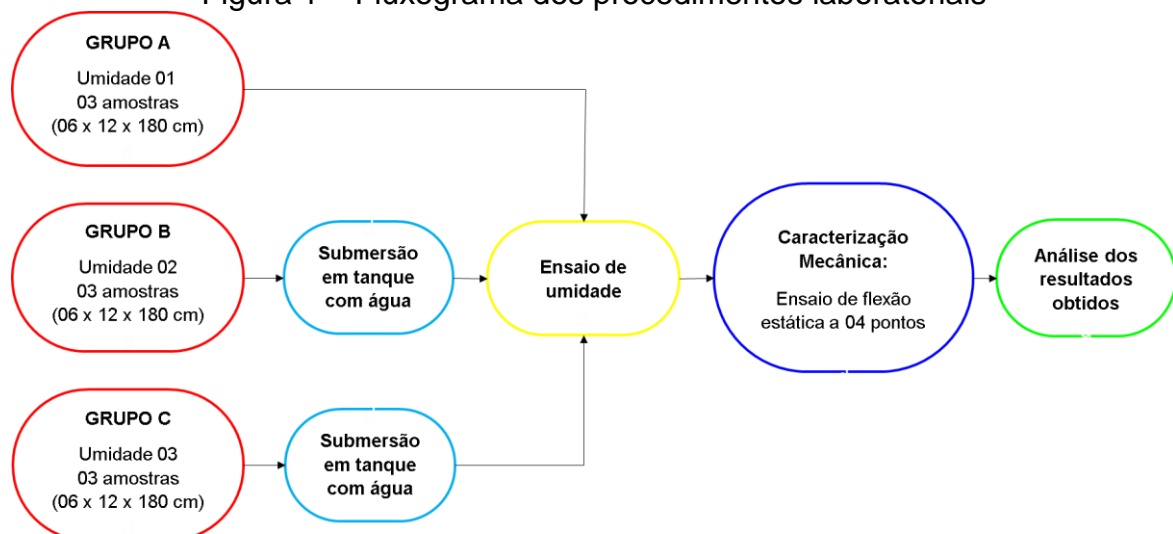
Este artigo, portanto, tem como objetivo analisar a influência da umidade no comportamento à flexão de vigas de madeira Cambará (*Qualea ssp.*) em tamanho real. Como objetivos específicos, pretende-se realizar ensaios laboratoriais com diferentes percentuais de umidade e, assim, contribuir com a NBR 7190:1997, apresentando informações fundamentadas teórica e experimentalmente a respeito do comportamento mecânico da madeira como elemento estrutural sob a ação da umidade. Espera-se, também, colaborar com a desconstrução de paradigmas desfavoráveis ao uso da madeira na construção de edificações seguras.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento das etapas experimentais referentes ao estudo proposto neste artigo foram utilizados os equipamentos disponibilizados pelo Parque Científico e Tecnológico (I-Parque) da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC).

A amostra utilizada para verificar o comportamento mecânico do Cambará sob diferentes percentuais de umidade consistiu em um total de nove vigas de madeira e uma viga “piloto”, que foi submetida a todo o processo laboratorial a fim de prever possíveis situações durante os ensaios e possibilitar medidas preventivas. A Figura 1 apresenta o fluxograma com os procedimentos laboratoriais deste estudo:

Figura 1 – Fluxograma dos procedimentos laboratoriais



Fonte: Do autor, 2017.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

As vigas de madeira Cambará foram retiradas das florestas do Mato Grosso do Sul e fornecidas por uma madeireira situada na cidade de Criciúma (SC). O material não apresentou nós e fissuras. A Tabela 1 apresenta a caracterização das amostras, de acordo com a Tabela E.2 da NBR 7190:1997:

Tabela 1 – Valores médios de madeiras dicotiledôneas nativas e de florestamento

Nome comum (dicotiledôneas)	Nome científico	ρ_{ap} (12%) kg/m ³	f_{c0} MPa	f_{t0} MPa	f_{t90} MPa	f_v MPa	E_{c0} MPa	n
Mandioqueira	Qualea spp	856	71,4	89,1	2,7	10,6	18 971	16

Fonte: NBR 7190 (1997, p.91)

2.2 ENSAIO DE UMIDADE

O ensaio de umidade foi realizado em todas as nove vigas de Cambará estudadas. Inicialmente, separou-se três amostras, que formaram o Grupo A, para a realização direta do ensaio de umidade, e seis amostras, que formaram os Grupos B e C, para submersão em tanque de água durante 40 dias, em busca da condição de saturação da madeira para posterior ensaio de umidade. O ensaio foi executado de acordo com as diretrizes previstas na NBR 7190:1997 e na norma europeia EN 13183-1, que preconizam temperaturas até $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. A estufa (Figura 2a) utilizada para a secagem das amostras possui capacidade térmica máxima de 300°C e a balança (Figura 2b) para as pesagens das vigas é da marca Toledo e capacidade máxima para 100 kg. Sua precisão é de 0,01g.

O processo de secagem foi realizado de forma artificial, tendo-se em vista que o tempo hábil para o desenvolvimento do presente estudo não possibilitou secagem natural da madeira.

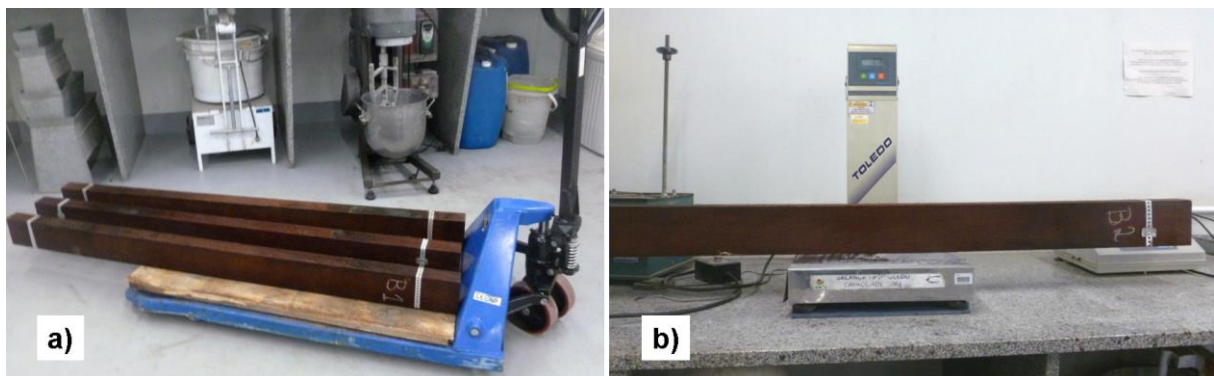
Figura 2 – a) Estufa; b) Balança



Fonte: Do autor (2017)

As vigas de madeira Cambará foram transportadas em um porta pallet manual (Figura 3a), com capacidade para 3000 kg, até a balança (Figura 4b). Posteriormente, o material foi levado até a estufa, que secou cada grupo de amostras separadamente.

Figura 3 - a) Transporte das vigas; b) Pesagem na balança



Fonte: Do autor (2017)

Os Grupos B e C, que permaneceram 40 dias submersos em tanque de água no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) do Iparque, também foram submetidos ao ensaio de umidade e foram classificados de acordo com os diferentes teores de umidade resultantes da Equação 01:

$$U(\%) = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100 \quad \text{Equação 01}$$

Em que:

$U(\%)$ = teor de umidade da madeira

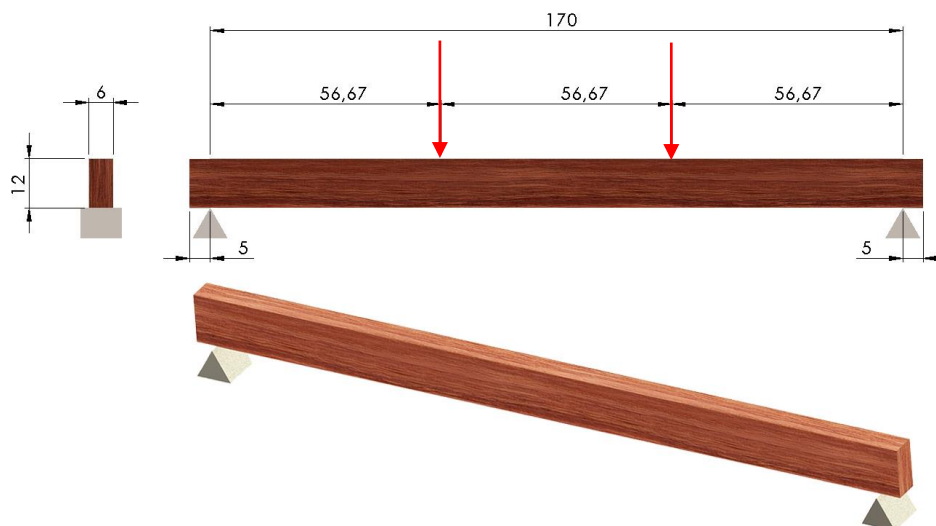
m_i = massa inicial da madeira (g)

m_s = massa da madeira seca (g)

2.2 FLEXÃO ESTÁTICA A QUATRO PONTOS

O ensaio de flexão estática a quatro pontos foi realizado com todas as amostras. As dimensões determinadas foram vigas com seção transversal de 06 cm de largura, 12 cm de altura e 180 cm de comprimento, totalizando 72 cm² de área da seção transversal, de acordo com o proposto pela NBR 7190:1997 para peças isoladas, que apresenta um valor mínimo de 50 cm². Tais medidas foram selecionadas para que fosse possível observar o comportamento mecânico da viga quando aplicada em situações reais na construção civil.

Figura 4 – Viga utilizada no ensaio de Flexão Estática a Quatro Pontos



Fonte: Do autor, 2017.

O equipamento utilizado foi o pórtico de reação do Laboratório Experimental de Estruturas (LEE) e a leitura dos dados foi realizada com *QuantumX* modelo MX840B, um amplificador universal compacto com 08 canais. Os deslocamentos verticais foram coletados com o uso de medidores LVTD (*Linear Variable Differential*

Transformer – Transformador Diferencial Variável Linear) e os dados obtidos foram armazenados eletronicamente.

Figura 5 – Ensaio de Flexão Estática a Quatro Pontos



Fonte: Do autor, 2017.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 ENSAIO DE UMIDADE

O ensaio de umidade realizado com as vigas de madeira Cambará possibilitou a classificação das amostras em três grupos distintos conforme os teores de umidade U_m (%) e os cálculos de densidade básica $\rho_{bás}$ (kg/m^3).

Para a determinação do valor de densidade básica das amostras foi utilizado um paquímetro digital de precisão 0,01mm (Figura 6) e balança (Figura 2b) e as informações foram calculadas através da Equação 02:

$$\rho_{bás} = \frac{m_s}{V_{sat}} \quad \text{Equação 02}$$

Em que:

m_s = massa da madeira seca (kg)

V_{sat} = volume da madeira saturada (m^3)

Figura 6 - Paquímetro digital



Fonte: Do autor, 2017.

Tabela 2 – Teor médio de umidade (%) e densidade básica média (kg/m³)

Grupo	Umidade (%)	Densidade Básica $\rho_{bás}$ (kg/m ³)
A	12,37 ± 0,47	888,85 ± 90,44
B	14,72 ± 0,73	959,41 ± 77,60
C	17,63 ± 0,35	927,89 ± 64,67

Fonte: Do autor (2017)

A densidade básica média calculada para o Grupo A apresentou-se menor que as densidades dos demais grupos (888,85 ± 90,44 kg/m³). O Grupo B, classificado com teor de umidade intermediário (14,72 ± 0,73 %) demonstrou um valor de densidade básica maior que os demais grupos de amostras (927,89 ± 64,67 kg/m³). “Quanto maior a densidade, maior é a quantidade de madeira por volume e, como consequência, a resistência também aumenta.” (CALIL JUNIOR; LARH; DIAS; 2003, p. 42)

3.2 ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA A QUATRO PONTOS

Os resultados do ensaio de flexão estática a quatro pontos estão descritos na Tabela 3, que demonstra a carga máxima, em quilograma-força (kgf), que cada uma das vigas suportou e a deformação máxima, em milímetros (mm), mensurada pelo LVDT. Utilizou-se dois medidores LVDT no ensaio, contudo considerou-se o LVDT com maiores valores de deformação.

Tabela 3 – Ensaio de flexão estática a quatro pontos com vigas de madeira
Cambará

Grupo	Amostra	Carga máxima (kgf)	Deformação máxima (mm)
A Um (%) = 12,37 ± 0,47	A1	3941,87	34,276
	A2	3262,98	47,511
	A3	3932,34	35,686
Média		3712,40 ± 389,24	39,16 ± 7,27
B Um (%) = 14,72 ± 0,73	B1	3563,215	38,201
	B2	3820,31	56,553
	B3	3986,9	53,3455
Média		3790,14 ± 213,45	49,37 ± 9,80
C Um (%) = 17,63 ± 0,35	C1	3380,47	33,5025
	C2	3975,405	35,9255
	C3	2971,41	29,0215
Média		3442,43 ± 504,86	32,82 ± 3,50

Fonte: Do autor (2017)

Verifica-se que, considerando a média aritmética das amostras analisadas, o grupo com a maior carga (3790,14 kgf) foi o Grupo B, que possui um percentual intermediário de umidade $U_m = 14,72\%$ e apresentou também o maior valor de deformação, igual a 49,37mm. Já o grupo que suportou menor carga, 3473,41 kgf, foi o Grupo A, que contempla as amostras de percentual médio de umidade (14,72%) e cuja deformação máxima foi de 32,47mm. A amplitude total dos grupos analisados com relação à variável “carga máxima” foi 238,99 kgf (8,36%). Em relação ao carregamento aplicado nas vigas e às suas deformações, para o Grupo A os coeficientes de variação corresponderam a 10,48% e 18,56%, enquanto para o Grupo B as relações foram de 5,63% e 19,85% e para o Grupo C, 14,53% e 10,78%, respectivamente.

Os resultados obtidos com a aplicação do Teste T de Student bilateral para amostras independentes, com nível de confiança de 95%, estão expressos na Tabela 4:

Tabela 4 – Teste T para as vigas de madeira Cambará

Grupo	Média		Teste t			
	Carga máxima (kgf)	Deformação máxima (mm)	Carga máxima	valor p	Deformação máxima	valor p
A	3712,40	39,16	0,3033	0,7815	1,4491	0,2432
B	3790,14	49,37				
A	3712,40	39,16	0,7335	0,5164	1,3613	0,3065
C	3442,43	32,82				
B	3790,14	49,37	1,099	0,3865	2,7540	0,1104
C	3442,43	32,82				

Fonte: Do autor (2017)

Com base no Teste T, foi possível verificar quais os intervalos de confiança para as amostras estudadas, considerando 95% de confiança (Tabela 5).

Tabela 5 – Intervalos de confiança para as vigas de madeira Cambará

Grupo	Intervalo de confiança			
	Carga máxima (kgf)		Deformação máxima (mm)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
A	3088,47	4336,33	27,51	50,81
B	3447,99	4132,29	33,66	65,08
C	2633,16	4251,70	27,21	38,43

Fonte: Do autor (2017)

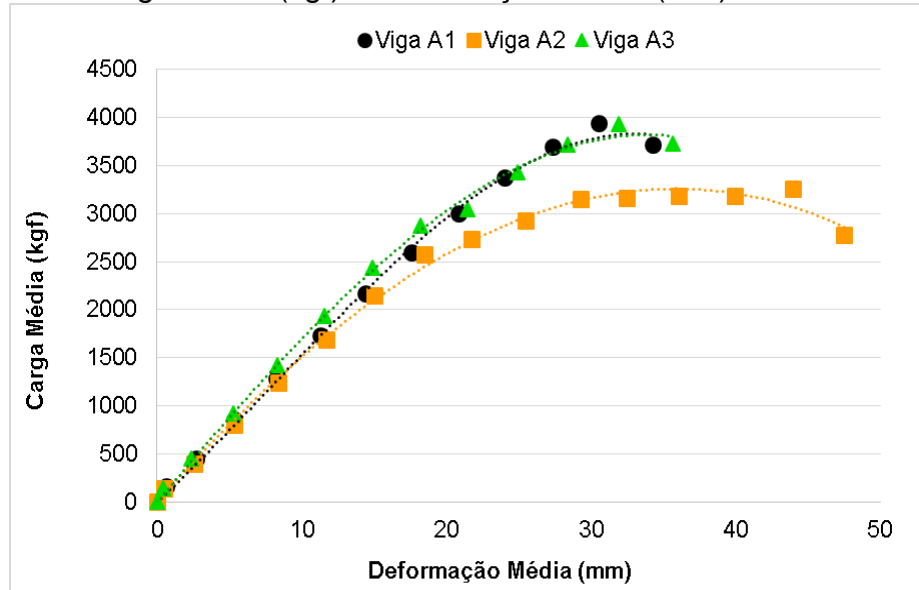
Tabela 6 – Análise de Variância (ANOVA) para as vigas de madeira Cambará

Grupo	Carga máxima (kgf)	ANOVA (Fator único)			Deformação máxima (mm)	ANOVA (Fator único)		
		F	valor-p	F _{CRÍTICO}		F	valor-p	F _{CRÍTICO}
A	3712,40	0,0920	0,7768	7,7086	39,16	2,0997	0,2209	7,7086
B	3790,14				49,37			
A	3712,40	0,5380	0,5039	7,7086	39,16	1,8530	0,2451	7,7086
C	3442,43				32,82			
B	3790,14	1,207	0,3336	7,7086	49,37	7,584	0,0512	7,7086
C	3442,43				32,82			

Fonte: Do autor (2017)

A seguir apresentam-se os gráficos de Carga Média (kgf) x Deformação Média (mm) comparando cada amostra dentro de seu grupo, e os gráficos de Carga Média (kgf) x Deformação Média (mm) com a curva que representa cada grupo de amostras. O modelo de gráfico adotado foi de dispersão e a linha de tendência utilizada foi a linha polinomial de ordem 3.

Figura 7 – Carga Média (kgf) x Deformação Média (mm): Amostras Grupo A



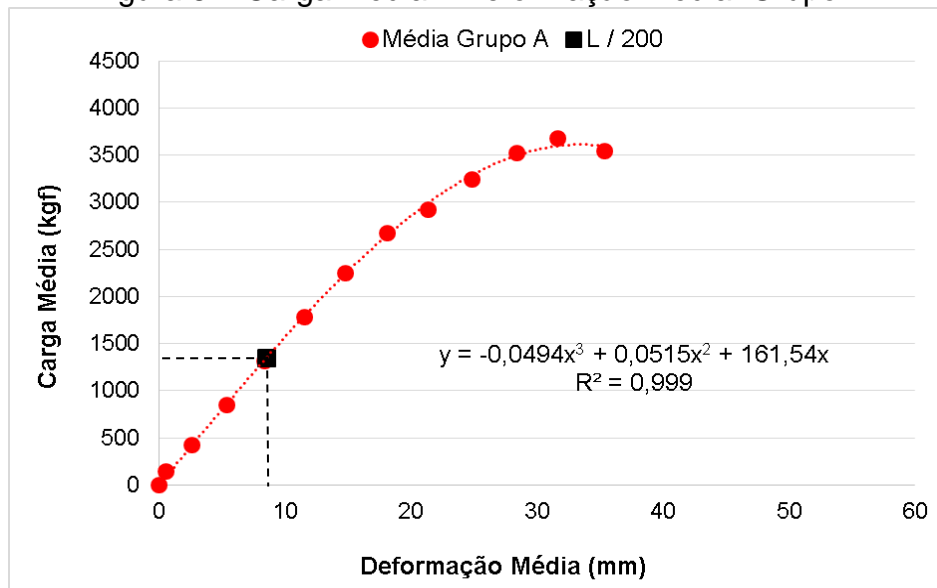
Fonte: Do autor (2017)

A Figura 7 mostra que as vigas A1 e A2 apresentaram comportamento semelhante e que, com base na Tabela 3, a amplitude do grupo foi de 678,89 kgf.

O gráfico da Figura 8 demonstra a curva que representa a média aritmética entre os valores das vigas A1, A2 e A3. O comportamento mecânico do Grupo A, considerando o ensaio de flexão estática e o percentual de umidade a que o grupo está submetido, pode ser estudado através da Equação 03:

$$y = -0,0494x^3 + 0,0515x^2 + 0,16154x \quad \text{Equação 03}$$

Figura 8 – Carga Média x Deformação Média: Grupo A



Fonte: Do autor (2017)

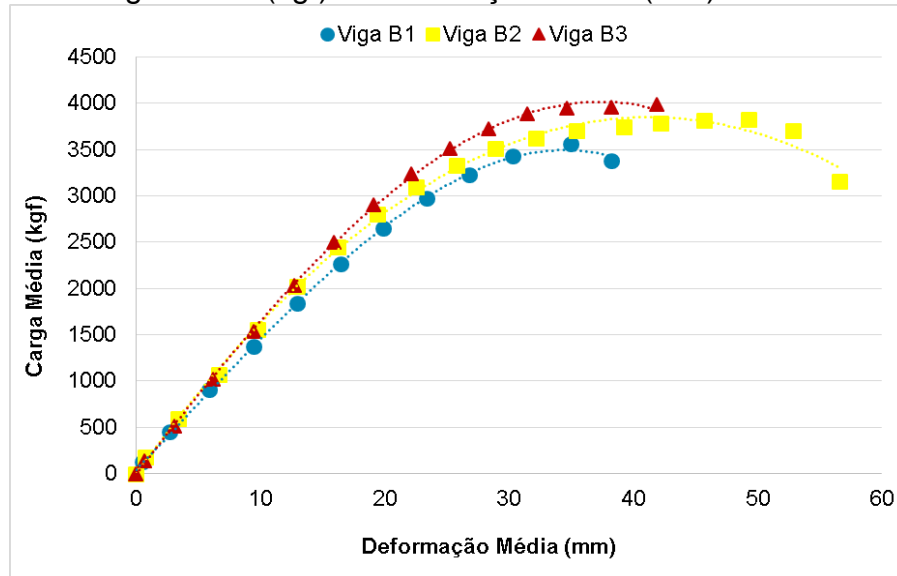
A partir da equação 03 foi calculado o valor da carga necessária para se alcançar o deslocamento admissível f_{adm} (mm) das vigas de madeira Cambará do Grupo A. O cálculo do f_{adm} é comum a todos os grupos de amostras, visto que considera o vão teórico das vigas, que neste estudo foi equivalente a 170 cm (Figura 4). Utilizou-se a equação 04, prevista na NBR 7190:1997.

$$f_{adm} = \frac{L}{200} \quad \text{Equação 04}$$

Onde L é o vão teórico da viga, em mm.

O f_{adm} resultou em 8,5mm e a carga aplicada para o alcance de f_{adm} no Grupo A de amostras foi equivalente a 1346,47 kgf.

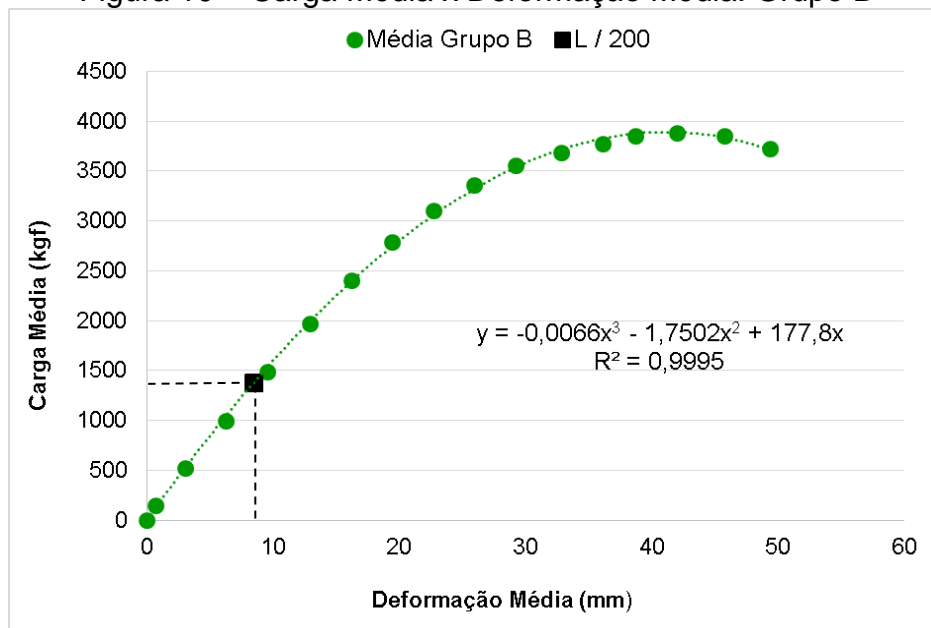
Figura 9 – Carga Média (kgf) x Deformação Média (mm): Amostras Grupo B



Fonte: Do autor (2017)

Com o gráfico da Figura 9, observa-se que a viga B2 deformou mais que as demais vigas do grupo. A amplitude da deformação máxima foi de 18,35 mm.

Figura 10 – Carga Média x Deformação Média: Grupo B



Fonte: Do autor (2017)

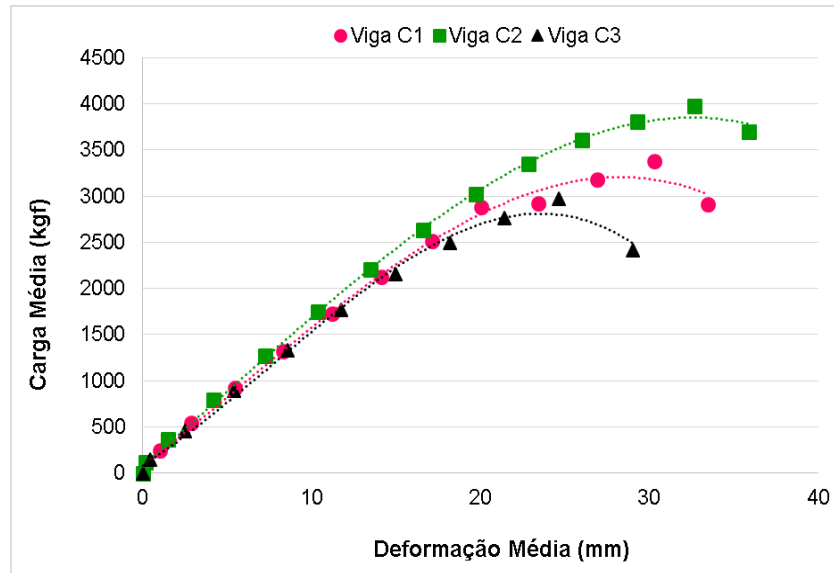
Na Figura 10, constata-se que o Grupo B, caracterizado com umidade $U_m = 14,72\%$, suportou 77,44kgf a mais que o Grupo A, no entanto sua deformação foi 20,68% maior. A equação 05 representa o comportamento mecânico das vigas deste grupo:

$$y = -0,0066x^3 - 1,7502x^2 + 177,8x$$

Equação 05

Deste modo, considerando o $f_{adm} = 8,5\text{mm}$, a carga necessária para promover o deslocamento admissível equivale a 1380,79 kgf.

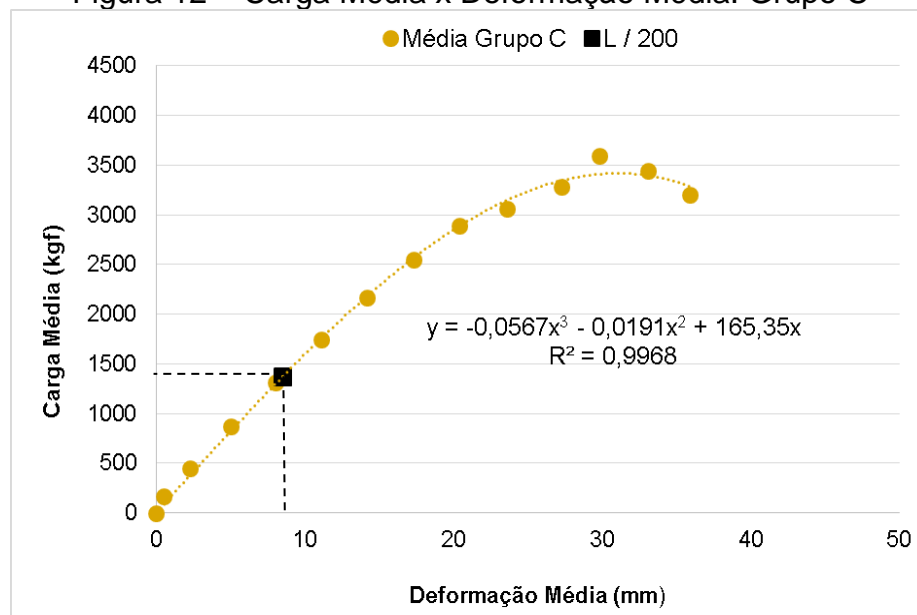
Figura 11 – Carga Média (kgf) x Deformação Média (mm): Amostras Grupo C



Fonte: Do autor (2017)

Com a Figura 11 pode-se verificar o comportamento mecânico das amostras não apresentou diferenças relevantes até 10 mm de deformação, suportando carregamento médio de 560 kgf e deformação média de 3,20mm.

Figura 12 – Carga Média x Deformação Média: Grupo C



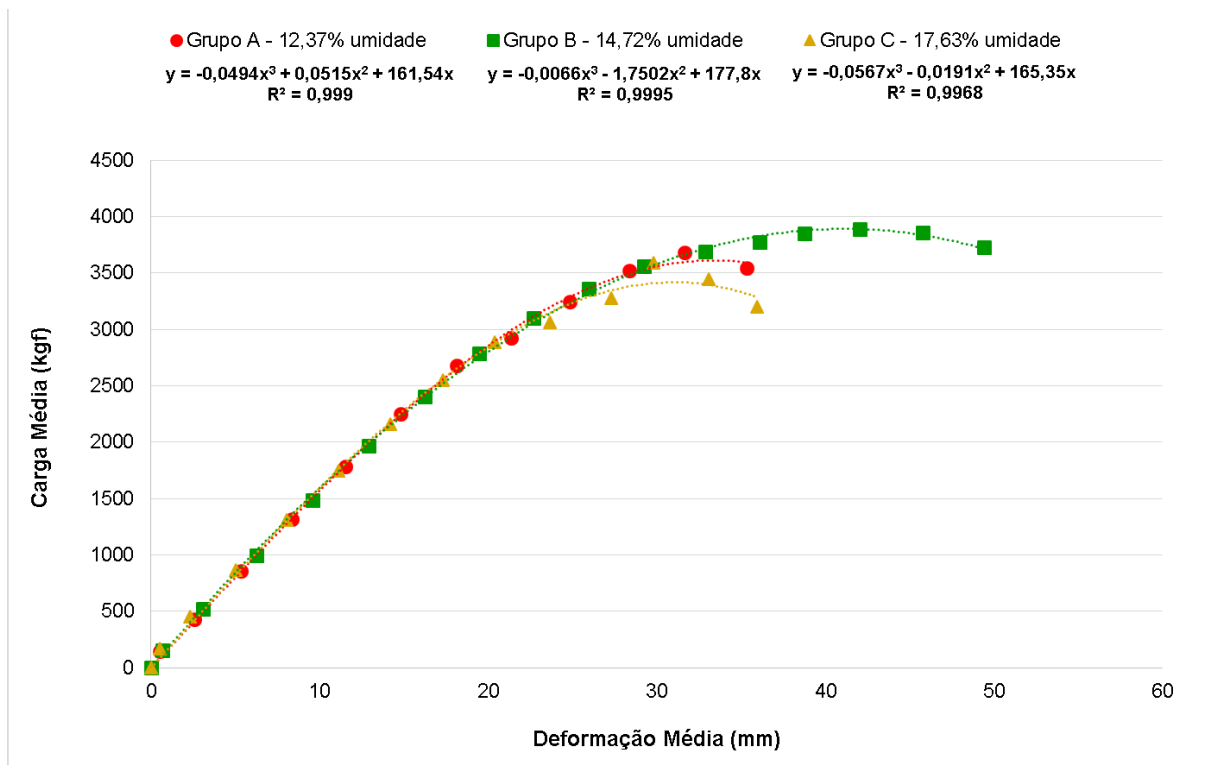
Fonte: Do autor (2017)

Caracterizado com o maior percentual de umidade de todos os grupos analisados ($U_m = 17,63\%$), o Grupo C suportou menor valor de carregamento (3473,41 kgf) e menor valor de deformação (32,47mm), de acordo com a Tabela 3. Com a equação 06 verifica-se o comportamento mecânico com ensaio de flexão das vigas deste grupo:

$$y = -0,0567x^3 - 0,0191x^2 + 165,35x \quad \text{Equação 06}$$

A carga para o Grupo C de amostras correspondente ao f_{adm} de 8,5mm é de 1372,03 kgf, de acordo com a aplicação direta na de f_{adm} na equação 06.

Figura 13– Carga média (kgf) x deformação média (mm) em função do percentual médio de umidade U_m (%)



Fonte: Do autor (2017)

De acordo com o item B.14.2 da NBR 7190 (1997, p. 62), “A rigidez da madeira à flexão é caracterizada pelo módulo de elasticidade determinado no trecho linear do diagrama carga x deslocamento”. Os módulos de elasticidade E_M obtidos nos

ensaios de flexão estática a quatro pontos foram calculado pela Equação 07 e apresentados na Tabela 4:

$$E_M = \frac{(F_{M,50\%} - F_{M,10\%}) L^3}{(V_{50\%} - V_{10\%}) 4bh^3} \quad \text{Equação 07}$$

Em que:

$F_{M,10\%}$ e $F_{M,50\%}$ = cargas correspondentes a 10% e 50% da carga máxima estimada, aplicada ao corpo-de-prova (N)

$V_{10\%}$ e $V_{50\%}$ são as deformações no meio do vão correspondentes a 10% e 50% da carga estimada (m).

Tabela 7 – Módulos de elasticidade E_M e E_{c0} para madeira Cambará

Grupo	Amostra	Módulo de Elasticidade E_M (MPa)	Módulo de Elasticidade E_{c0} (MPa)
A $U_m (\%) = 12,37 \pm 0,47$	A1	18009	20010
	A2	16816	18685
	A3	19096	21218
Média		17974 ± 1140	19971 ± 1267
B $U_m (\%) = 14,72 \pm 0,73$	B1	16498	18331
	B2	17829	19810
	B3	18745	20827
Média		17691 ± 1130	19656 ± 1255
C $U_m (\%) = 17,63 \pm 0,35$	C1	18221	20245
	C2	19277	21419
	C3	18263	20292
Média		18587 ± 598	20652 ± 665

Fonte: Do autor (2017)

A partir da Tabela 7 é possível constatar que o maior módulo de elasticidade foi apresentado pelo grupo de maior teor de umidade, equivalendo a 18587 MPa. O menor módulo, por sua vez, foi obtido com as amostras do grupo de umidade intermediária (17691 MPa) A amplitude do módulo de elasticidade corresponde a 4,82%. Calil Junior, Lahr e Dias (2003) explicam que o módulo de elasticidade da

madeira determina o seu comportamento na fase elástico-linear e que a umidade presente pode alterar suas propriedades de resistência e elasticidade.

4. CONCLUSÕES

Considerando que, à medida que a variável “carga máxima aplicada” cresce e a variável “deformação” também cresce, é possível classificar a correlação existente como positiva.

O valor médio de densidade básica calculado para o Grupo B explica o fato de ter suportado maior carga máxima, quando comparado aos demais grupos de amostras. Os resultados dos coeficientes de variação mostraram que todos os grupos classificam-se como homogêneos, visto que os valores estão abaixo de 20%. Dentre os grupos, o que representou maior homogeneidade quanto ao carregamento aplicado foi o Grupo B, com 5,63% e menor homogeneidade o Grupo C, com 14,53%. Em relação às deformações, o grupo mais homogêneo foi o Grupo C (10,78%) e o menos homogêneo foi o Grupo B (19,85%).

O teste T e a ANOVA fator único realizados para as comparações entre os grupos A e B, A e C e B e C de amostras confirmaram, com 95% de probabilidade, que as diferenças entre as médias das cargas máximas suportadas pelas vigas e das deformações não são significativas.

Através dos intervalos de confiança calculados para os grupos de vigas, pode-se constatar que, ao se analisar um grupo com diversas amostras de mesmas características que as estudadas, há 95% de probabilidade de que as suas médias de carregamento e de deformação estejam contidas nos intervalos calculados e dispostos na Tabela 5.

A partir do gráfico da Figura 7, representando o grupo com $U_m (\%) = 12,37 \pm 0,47$, foi possível observar a proximidade entre os resultados das vigas A1, A2 e A3 até a deformação média de, aproximadamente, 10 mm e carga média de 1500 kgf. Ou seja, até esta faixa de valores, o comportamento mecânico quanto à flexão das amostras manteve-se com variação menor que 15% nos valores de carga média e 3% quanto à deformação média. A partir disto, as amostras A1 e A3 seguiram com resultados próximos, enquanto a amostra A2 apresentou-se menos resistente.

Com o gráfico da Figura 9, observa-se que as amostras B1, B2 e B3 mostraram comportamento mecânico mais próximo, se comparado às vigas do Grupo A. Pode-

se constatar que a viga B2 obteve maior valor de deformação (56,55mm) em relação às vigas B1 e B3.

Com base nos resultados de módulo de elasticidade e na sua definição, constatou-se que o comportamento da Figura 13 é explicado pela variação de 4,82% entre os valores de E_M para os Grupos B e C. Visualmente, as curvas apresentam-se sobrepostas.

Em relação ao objetivo proposto, conclui-se que o teor de umidade alcançado em laboratório para as vigas de Cambará com dimensões estruturais, contemplando três percentuais distintos de umidade, apresentou diferenças nas médias dos valores de carga aplicada e deformação das amostras. Entretanto, tais valores não são considerados significativos, de acordo com as análises estatísticas aplicadas.

Um fator que explica o resultado é o curto intervalo entre os percentuais de umidade, com amplitude de 5,26%, mesmo com as amostras submersas em tanque de água por 40 dias.

Portanto, uma viga de Cambará com 12,37% de umidade apresentará o mesmo comportamento mecânico que uma viga com 17,63% de umidade, podendo suportar um carregamento próximo a 3700 kgf.

5. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como recomendação para trabalhos futuros, sugere-se:

- ✓ Ampliar o número de amostras para garantir maior confiabilidade dos resultados;
- ✓ Manter as vigas submersas em tanque de água durante mais tempo para atingir maior teor de umidade;
- ✓ Testar os ensaios e procedimentos deste trabalho em diferentes espécies de madeira;
- ✓ Estudar microscopicamente a influência da umidade no interior das vigas.

REFERÊNCIAS

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

CALIL JUNIOR, Carlito et al. **SET 406 - Estruturas de madeira**. São Carlos: EDUSP, 1998. Disponível em: <<http://www.civilnet.com.br/Files/MADEIRA/Apostila-madeiras.pdf>>. Acesso em: 03 set. 2016.

CALIL JUNIOR, Carlito; LAHR, Francisco Antonio Rocco; BRAZOLIN, Sérgio. Madeiras na Construção Civil. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de Construção Civil**: e princípios de ciência e engenharia de materiais. 2. ed. São Paulo: IIBRACON, 2007. Cap. 34. p. 1149-1179.

CALIL JUNIOR Carlito; LAHR, Francisco Antonio Rocco; DIAS, Antonio Alves. **Dimensionamento de elementos estruturais de madeira**. São Paulo: Manole, 2003. 152 p.

CHEN, Wai-Fah (Ed.). **Handbook of structural engineering**. New York: CRC Press, 1997.

COUTINHO, Joana de Sousa. **Materiais de Construção 1: Madeiras**. Porto: FEUP, 1999. 36 p. Disponível em: <http://paginas.fe.up.pt/~jcouti/Madeiras_99.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2016.

EN 1995-1-1:2004. Eurocode 5: **Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings**. CEN, 2004.

EN 13183:2002. **Moisture content of a piece of sawn timber – Part 1: Determination by oven dry method**. CEN, 2002.

FALK, Robert H. Wood as a Sustainable Building Material. In: US. Forest Products Laboratory. Department Of Agriculture. **Wood handbook**: Wood as an engineering material. Madison: Forest Products Laboratory, 2010. Cap. 1. p. 1-6.

LOGSDON, Norman Barros. **Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira**. 1998. 200 f. Tese (Doutorado) - Doutorado em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998. Disponível em:

<http://www.set.eesc.usp.br/static/media/producao/1998DO_NormanBarrosLogsdon.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2016.

LOGSDON, Norman Barros; FINGER, Zenesio; ROSA, Leonardo Machado. Caracterização da madeira de Cambará, *Vochysia guianensis* Aubl. **Engenharia Civil UM**, Cuiabá, v. 29, n. 1, p.57-69, 10 maio 2017. Mensal.

MACHADO, Nuno Cláudio de Carvalho Mendes. **Variação dimensional da madeira devida ao seu comportamento higroscópico**. 2006. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2006. Disponível em: <[https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/12372/2/Texto integral.pdf](https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/12372/2/Texto%20integral.pdf)>. Acesso em: 25 ago. 2016.

MINÁ, Alexandre José Soares; DIAS, Antonio Alves. Estacas de madeira para fundações de pontes de madeira. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 10, n. 44, p.129-155, maio 2008. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/nova_versao/pdf/cee44_129.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2016.

OLIVEIRA, José Tarcísio da Silva; HELLMEISTER, João Cesar; TOMAZELLO FILHO, Mário. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, Minas Gerais, v. 29, n. 1, p.115-127, jan. 2005. Bimestral. Disponível em: <<http://dspace2.ufes.br/jspui/bitstream/10/607/1/24241.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2016.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de madeira: dimensionamento segundo a norma brasileira NBR 7190/97 e critérios das normas norte-americanas NDS e europeia EUROCODE 5**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014. 224 p. Reimpressão.

SOMAYAJI, Shan. **Civil Engineering Materials**. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001.

ZENID, Geraldo José. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. 2. ed. São Paulo: IPT, 2009. 99p.