

MÉTODO ATENUANTE PARA O DESLOCAMENTO VERTICAL EM VIGAS DE MADEIRA

Felipe Ramos Machado (1), Marcio Vito (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)Felipe@unesc.net, (2) marciovito@unesc.net

RESUMO

A madeira é um material abundante, de fácil manuseio e que possui propriedades mecânicas excelentes. Porém no dimensionamento das vigas à flexão há um problema relacionado com o deslocamento vertical máximo, fazendo com que vigas com grandes vãos tenham que ser redimensionadas para perfis maiores, redução dos vãos ou até mesmo a substituição por outro material como aço ou concreto. Esse estudo propõe através de uma barra de aço fixada na parte tracionada da madeira por meio de parafusos, atenuar o deslocamento vertical, comparando-as com vigas de seção bruta. A viga foi ensaiada de forma a simular a realidade, estando biapoiada na horizontal. O carregamento aplicado foi vertical de cima para baixo. Observou-se com ensaios de laboratório que o aço não entrou em serviço e por consequência a madeira foi o único material que absorveu a carga, fazendo com que o deslocamento vertical não fosse atenuado. Porém este fato não desqualifica o método caso se aplique uma pré – tensão na barra de aço, conforme realizado em uma das vigas onde se constatou uma melhora significativa no suporte de carga. As vigas de madeira bruta suportaram 100,18% a mais de carga se comparado com o cálculo realizado de acordo com a NBR 7190/97.

Palavras-Chave: Barra de aço, Deformação vertical, Madeira, Resistência à tração.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Gesualdo (2003), a madeira é um material abundante (árvores nativas ou plantadas). Essa diversidade de espécies favorece seu emprego em múltiplos ramos do mercado incluindo o da construção civil.

Na construção civil a madeira é utilizada para usos temporários (fôrmas, andaimes, escoramentos, etc.) e permanentes (pisos, forros, vigas, coberturas, janelas, etc.). (ZENID, 2009, p.20).

Conforme Gesualdo (2003) a madeira demanda um baixo consumo de energia para sua confecção, enquanto o aço e o concreto requerem um processo mais refinado.

Com relação ao dimensionamento da viga à flexão há uma preocupação muito grande relacionada com o deslocamento vertical máximo, isso acontece porque as células da madeira quando comprimidas são achatadas precocemente, apresentando grandes deformações, fazendo com que vigas de grandes vãos



tenham que ser redimensionadas, reduzindo o vão, aumentando a seção transversal ou até mesmo substituindo a madeira por outro material como concreto ou aço.

Os aços por sua vez de acordo com Pfeil (2000), são aqueles que devido as suas propriedades, são utilizados em estruturas para suportarem e transmitirem esforços mecânicos. A sua classificação pode ser feita sob diversas formas, onde podemos citar suas propriedades mecânicas, quantidade de carbono, elementos de liga etc. A resistência à ruptura por tração do aço varia em um amplo limite chegando a valores acima 1200 MPa, podendo ser encontrado no mercado sob diversas formas como cordoalhas, cabos chapas, barras, etc.

A união desses materiais tem o objetivo de reduzir o deslocamento vertical da viga de madeira de forma a cumprir o recomendado por norma, por meio da introdução de uma barra de aço na parte tracionada da madeira.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram ensaiadas seis vigas de madeira, sendo três reforçadas com uma barra de aço e três sem o reforço. As vigas serão ensaiadas até o limite de deslocamento máximo permitido por norma.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA VIGA A SER ENSAIADA

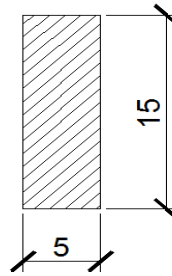
A seção a ser utilizada no ensaio possui geometria retangular, onde foram levadas em consideração a sua aplicação no mercado da construção civil e pelas facilidades que esse tipo de seção proporciona como a instrumentação do ensaio.

No ensaio serão utilizadas barras de aço não aderente com traçado curvo próximo aos bordos e retilíneo no terço médio da viga.

A espécie de madeira escolhida foi o *Eucalyptus grandis*, por se tratar de uma espécie de grande disponibilidade e com características mecânicas boas. Essas características foram retiradas da norma brasileira NBR 7190/97. Esses parâmetros são: ρ_p (12%) é a massa específica aparente a 12% de umidade = 640 Kg/m³; f_{c0} é a resistência à compressão paralela às fibras = 40,3 MPa; f_{t0} é a resistência à tração paralela às fibras = 70,2 MPa; f_{t90} é a resistência à tração normal às fibras = 2,6 MPa; f_v é a resistência ao cisalhamento = 7,0 MPa; E_{c0} é o módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras = 12813 MPa

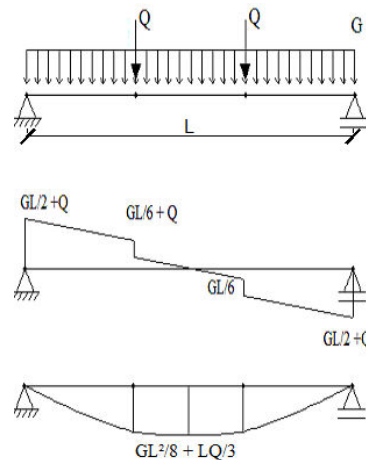
A seção transversal da viga escolhida foi de acordo com a figura 1 com área 75 cm^2 respeitando assim o mínimo de norma que é de 50 cm^2 com espessura mínima de 5 cm . O comprimento da viga será de 2,50m, sendo o vão teórico é igual a 2,40m já que os apoios possuem 10 cm cada.

Figura 1 - Seção transversal da viga de madeira



Ficando a representação esquemática do ensaio e os seus respectivos diagramas apresentados na figura 2.

Figura 2 - Esforços solicitantes na viga

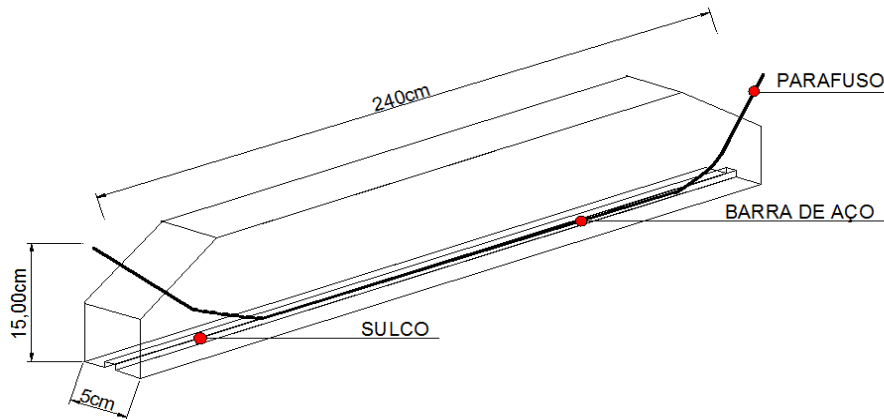


2.2 MONTAGEM DA VIGA A SER ENSAIADA

Na viga de madeira será feito um sulco na face inferior de modo que a barra de aço fique alojada e que se possa fazer um preenchimento com algum material como pó de serra, escondendo assim a barra de aço.

Esta barra entrará pela face lateral percorrendo 15 cm e seguindo pelo sulco feito na face inferior conforme Figura 3.

Figura 3 - Modelo da viga



2.3 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA O ENSAIO DE FLEXÃO EM 4 PONTOS DAS VIGAS

A instrumentação utilizada no ensaio tem como objetivo medir a evolução do deslocamento vertical máximo no centro do vão com acréscimo de carga.

Utilizaram-se sensores de deslocamento linear (LVDT) para medir os deslocamentos verticais no centro do vão, célula de carga para mensurar a força aplicada durante o carregamento da peça, nos pontos de aplicação do carregamento.

Os equipamentos de registros eletrônicos serão conectados em um equipamento de aquisição de dados, que será conectado a um computador para armazenamento dos dados.

A célula de carga (Figura 4) é utilizada como transdutor de força, o princípio de funcionamento da célula de carga baseia-se na variação da resistência ôhmica de um sensor denominado extensômetro.

Os extensômetros são colados a uma peça metálica (alumínio, aço ou liga cobre-berílio), denominada corpo da célula de carga e inteiramente solidários à sua deformação. A força atua, portanto sobre o corpo da célula de carga e a sua deformação é transmitida aos extensômetros, que por sua vez medirão sua intensidade.

A célula de carga utilizada no ensaio possui capacidade de leitura de 500kN sendo posicionada entre o cilindro hidráulico e a viga de distribuição.

Figura 4 - Célula de carga



Fonte: Dados do pesquisador (2012)

Aquisição de dados (Figura 5) significa obter informações através da medição de suas grandezas, que serão convertidas de um parâmetro qualquer em um sinal eletrônico o qual é monitorado, analisado e por fim de comparado com grandezas padronizadas. Após isso ele é armazenado em um computador.

Após o sistema de aquisição ser conectado a um transdutor todos os dados podem ser recolhidos e as informações de acordo com a intensidade serão interpretadas e transmitidas para um computador que registrará as leituras.

O sistema de aquisição de dados que será utilizado será o QuantumX MX840A de 8 canais, com interface ao programa computacional CatmanEasy -ambos da empresa HBM.

Figura 5 - Sistema de aquisição de dados



Fonte: Dados do pesquisador (2012)

Os LVDTs (Figura 6) são sensores para medição de deslocamentos lineares. O funcionamento desse sensor é baseado em três bobinas e um núcleo cilíndrico de material ferromagnético de alta permeabilidade. Ele dá como saída um sinal linear, proporcional ao deslocamento do núcleo, que está fixado ou em contato com o que se deseja medir.

A bobina central é chamada de primária e as demais são chamadas de secundárias. O núcleo é preso no objeto cujo deslocamento deseja-se medir e a movimentação dele em relação às bobinas é o que permite esta medição.

O LVDT que será utilizado mede até 100 mm de deslocamento linear.

Figura 6 – LVDT



Fonte: Dados do pesquisador (2012)

O pórtico de reação (Figura 7) possui a função de reagir ao esforço aplicado no material de estudo, por esse motivo ele possui uma rigidez que garante que as deformações geradas pelas forças de reação, não influenciam no estudo.

O pórtico que será utilizado no ensaio será o pórtico que está instalado no Laboratório Experimental de Estruturas (LEE), localizado no I.Parque -I.DT-UNESC.

Figura 7 - Pórtico de reação



Fonte: Dados do pesquisador (2012)

O cilindro hidráulico (Figura 8) funciona acoplado com atuadores de cargas, esses atuadores também apresentam certa capacidade, essa capacidade desenvolve-se convertendo a energia em trabalho que é transmitida à carga.

O cilindro hidráulico disponível para a realização do ensaio tem capacidade máxima de carga de 500kN.

Figura 8 - Cilindro hidráulico



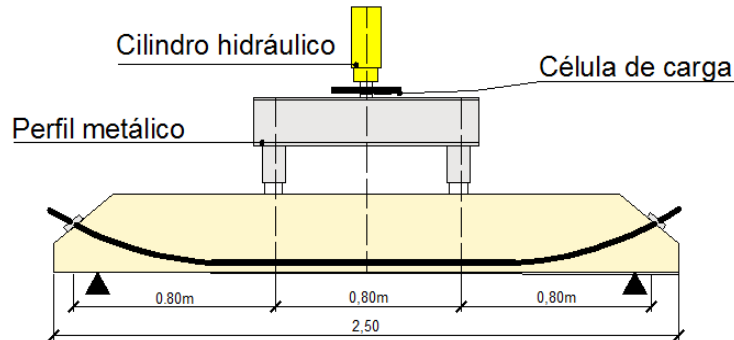
Fonte: Dados do pesquisador (2012)

2.4 POSICIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO NO ENSAIO DE FLEXÃO

A viga será posicionada sobre dois roletes nas extremidades, de modo a simular uma viga biapoiada, O carregamento aplicado será vertical de cima para baixo.

Por meio de uma viga metálica rígida com perfil I, o carregamento será distribuído para a viga de madeira nos terços médios do vão, conforme ilustra a Figura 9.

Figura 9 - Modelo de aplicação da carga para o ensaio à flexão



3 DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

3.1 CÁLCULO NO ESTADO LIMITE ÚLTIMO

Segundo a norma NBR 7190/97, as ações usuais que devem ser consideradas em estruturas de madeira são: Carga permanente; cargas acidentais verticais; impacto vertical; impacto lateral; forças longitudinais, força centrífuga; vento.

Para esse trabalho serão utilizadas as ações de carga permanente e carga acidental, visto que as outras ações não se enquadram na situação em estudo.

- a) Carga permanente – A carga permanente foi feita com a densidade média das vigas, sendo de 509 Kg/m^3 , sendo esta considerada a densidade para 12% de umidade.

A viga possui 2,5m e seção transversal de 5x15 cm, então temos:

$$509 \times 0,01875 = 9,54 \text{ Kg. Distribuindo temos } 3,97 \text{ Kg/m}$$

- b) Carga acidental – As cargas acidentais verticais são consideradas como de longa duração.

3.2 PROPRIEDADE DAS MADEIRAS – VALORES REPRESENTATIVOS

3.2.1 COEFICIENTE DE MODIFICAÇÃO (KMOD)

De acordo com a NBR 7190/97, Os coeficientes de modificação afetam os valores de cálculo das propriedades da madeira em função da classe de carregamento da estrutura, da classe de umidade admitida, e do eventual emprego de madeira de segunda qualidade, o seu valor é dado pela equação 1.

$$K_{mod} = K_{mod,1} \times k_{mod,2} \times K_{mod,3} \quad (\text{equação 1})$$

O coeficiente parcial de modificação $K_{mod,1}$, que leva em conta a classe de carregamento e o tipo de material empregado, é dado pela tabela 10 da NBR 7190/97. Como o carregamento é de longa duração o $K_{mod,1} = 0,7$

O coeficiente $K_{mod,2}$ leva em consideração a classe de umidade e o tipo de material empregado, é dado pela tabela 11 da NBR 7190/97. A umidade relativa de criciúma é de 80% sendo o $K_{mod,2} = 0,8$

O coeficiente $K_{mod,3}$ leva em conta se a madeira é de primeira ou de segunda categoria. Para se classificar como primeira categoria todas as peças estruturais devem estar isentas de defeitos. As vigas ensaiadas possuíam defeitos como nós e o $K_{mod,3}=0,8$

Utilizando a equação 1obtem-se o valor de $K_{mod}=0,448$

3.2.2 CORREÇÃO DOS PARÂMETROS PARA A UMIDADE DE 12%

De acordo com a NBR 7190/97, na caracterização usual das propriedades de resistência e de rigidez de um dado lote de material, os resultados de ensaios realizados com diferentes teores de umidade da madeira, contidos no intervalo entre 10% e 20%, devem ser apresentados com os valores corrigidos para a umidade padrão de 12%, classe 1 .

A massa seca foi determinada de acordo com o anexo B item 5.4.

A massa inicial e seca de cada amostra foi anotada na tabela 1.

Tabela 1- Tabela de umidade real das amostras

Tabela de umidade real das amostras			
Amostra	Massa Inicial (g)	Massa seca (g)	Umidade%
1	373,21	332,01	12,4
2	276,92	247,29	11,98
3	309,41	275,42	12,34
4	299,28	265,94	12,53
5	279,89	244,25	14,5
Média=			12,4
Desvio Padrão=			0,93

Fonte: Dados do pesquisador (2012)

A resistência deve ser corrigida pela equação 2:

$$f_{12} = f_{u\%} \cdot \left(1 + \frac{3(u\% - 12)}{100}\right) \quad (\text{equação 2})$$

Onde o f_{12} = Resistência corrigida para 12% de umidade; $f_{u\%}$ = Resistência na umidade real $u\%$ = Umidade real.

A rigidez deve ser corrigida pela equação 3

$$E_{12} = E_{u\%} \cdot \left(1 + \frac{2(u\% - 12)}{100}\right) \quad (\text{equação 3})$$

Onde o E_{12} = Rigidez corrigida para 12% de umidade; $E_{u\%}$ = Rigidez na umidade real; $u\%$ = Umidade real.

Logo corrigindo os parâmetros de norma se obtêm os valores da resistência à compressão paralela as fibras (F_{c0}) de 40,78 MPa; Resistência ao cisalhamento (F_v) de 7,08 MPa; Resistência a tração paralela as fibras (F_{t0}) de 71,04 MPa. O módulo de elasticidade (E) passa a possuir o valor de 12915,5 MPa

3.2.3 COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO DA RESISTÊNCIA PARA ESTADOS LÍMITES ÚLTIMOS

O coeficiente de ponderação para estados limites último decorrentes de tensões de compressão paralela às fibras tem o valor básico $\gamma_{wc} = 1,4$

O coeficiente de ponderação para estados limites último decorrentes de tensões de tração paralela às fibras tem o valor básico $\gamma_{wt} = 1,8$

O coeficiente de ponderação para estados limites último decorrentes de tensões de cisalhamento paralelo às fibras tem o valor básico $\gamma_{wv} = 1,8$

Multiplicando o coeficiente K_{mod} pelas tensões e reduzindo pelos coeficientes de ponderação temos segundo a equação 4 os seguintes resultados:

$$F_{wd} = K_{mod} \cdot \frac{f_{wk}}{\gamma_w} \quad (\text{equação 4})$$

Onde o F_{wd} =Resistência de cálculo; K_{mod} = Coeficiente de Modificação; F_{wk} =Resistência característica; γ_w =Coeficientes de ponderação (Segundo a NBR 7190/97) 0,54 para o cisalhamento e 0,7 para compressão tração).



Substituindo nas equações acima temos:

$$F_{c0d} = 91,35 \text{ MPa}$$

$$F_v = 9,52 \text{ MPa}$$

$$F_{t0d} = 123,77 \text{ MPa}$$

Onde o F_{c0d} = Tensão resistente à compressão paralela as fibras de cálculo; F_v = Tensão resistente ao cisalhamento; F_{t0d} = Tensão resistente à tração paralela as fibras de cálculo.

3.2.4 ESTIMATIVA DA RIGIDEZ

De acordo com a NBR 7190/97, nas verificações de segurança que dependem da rigidez da madeira, o módulo de elasticidade paralelamente às fibras deve ser tomado como valor efetivo segundo a equação 5.

$$E_{c0,ef} = K_{mod,1} \times k_{mod,2} \times K_{mod,3} \times E_{c0,m} \quad (\text{equação 5})$$

$$E_{c0,ef} = 0,7 \times 0,8 \times 0,8 \times 12915,5 = 5786,14 \text{ MPa}$$

3.3 SOLICITAÇÕES NORMAIS

3.3.1 FLEXÃO SIMPLES RETA

Segundo o item 7.3.3 da NBR 7190/97, Para peças fletidas, considera-se o vão teórico com o menor dos seguintes valores:

- a) A distância entre eixos
- b) O vão livre acrescido da altura da seção transversal da peça no meio do vão, não se considerando acréscimo maior que 10 cm.

Para a situação a – 230 cm (vão livre) + 10 cm (apoios)

Para a situação b – 230 cm (vão livre) + 10 cm (máximo acréscimo por altura da seção transversal)

Logo o vão teórico é igual a 240 cm.

Nas barras submetidas a momento fletor cujo plano de ação contém um eixo central de inércia da seção transversal resistente, a segurança fica garantida pela observância simultânea das seguintes condições expressas nas equações 6 e 7.

$$\sigma_{c1,d} \leq \frac{M_d}{W_c} \quad (\text{equação 6})$$

$$\sigma_{t2,d} \leq \frac{M_d}{W_t} \quad (\text{equação 7})$$

Onde W_c e W_t são os respectivos módulos de resistência, que podem ser calculados pelas expressões 8 e 9.

$$W_c = \frac{I}{F_{c1}} = \frac{1406,25 \text{ cm}^4}{7,5 \text{ cm}} = 187,5 \text{ cm}^3 \quad (\text{equação 8})$$

$$W_t = \frac{I}{F_{t2}} = \frac{1406,25 \text{ cm}^4}{7,5 \text{ cm}} = 187,5 \text{ cm}^3 \quad (\text{equação 9})$$

O peso próprio é dado pela área da seção transversal pelo comprimento.

$$V = 0,15 \times 0,05 \times 2,50 \text{ m} = 0,018 \text{ m}^3$$

Carga distribuída na viga é igual a:

$$0,018 \times 509/2,40 = 3,54375 \text{ Kg/m} = 0,039 \text{ Kg/cm}$$

Substituindo temos para a tensão de flexão:

$$91,355 \leq \frac{286,3125 + 80Q}{187,5} \quad Q \leq 210,53 \text{ Kgf}$$

3.3.2 SOLICITAÇÃO TANGENCIAL

Conforme a NBR 7190/97 item 7.4.1, nas vigas submetidas à flexão com força cortante, a condição de segurança em relação às tensões tangenciais é expressa por:

$$\delta_d \leq f_{v0,d}$$

Onde δ_d é a máxima tensão de cisalhamento atuando no ponto mais solicitado da peça. Em vigas de seção transversal retangular, de largura b e altura h , tem-se para o cisalhamento a tensão expressa pela equação 10:

$$\delta_d = \frac{3 V_d}{2 b h} \quad (\text{equação 10})$$

$$9,520 = \frac{3 \times (6 + Q)}{2 \times 5 \times 15} \quad Q \leq 471,27 \text{ Kgf}$$

3.3.3 DESLOCAMENTO VERTICAL MÁXIMO – FLECHA

O cálculo do deslocamento máximo segue as recomendações da NBR 7190/97 expressas pela equação 11.

$$\frac{L}{200} = \frac{5q l^4}{384EI} + \frac{23PL^3}{648EI} \quad (\text{equação 11})$$

$$\frac{L}{200} = \frac{5q l^4}{384EI} + \frac{23PL^3}{648EI} = \frac{240}{200} = \frac{5.(0,039766+Q).240^4}{384.57861,4579.1406,25} + \frac{23.Q.240^3}{648.57861,4579.1406,25}$$

Para flecha: $Q \leq 195,49 \text{ Kgf}$

O valor de Q de cálculo que poderá ser executado será de $195,49 \times 2 = 390,99 \text{ Kgf}$.

3.4 CÁLCULO DA CARGA DE SUPORTE DA BARRA METÁLICA

A barra metálica é de aço MR250. O limite de escoamento é de 250 MPa e o de resistência é de 400 MPa. O cálculo das tensões será feito com base no método do estado limite último.

Largura = 12,7 mm (1/2")

Espessura = 3,2 mm (1/8")

Área = 0,40 cm²

Tensão admissível à tração = 250 MPa.

A carga máxima é dada pela equação 12.

$$Ag = \frac{N}{\sigma} \quad \longrightarrow \quad N = Ag \cdot \sigma \quad (\text{equação 12})$$

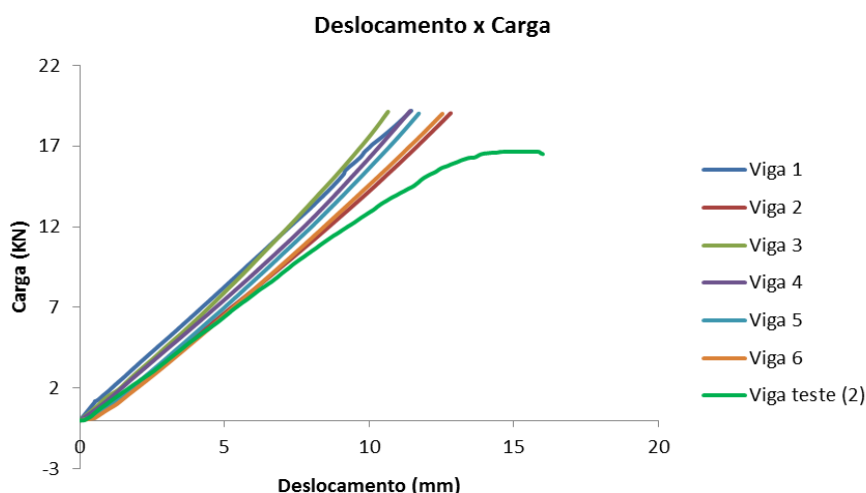
De acordo como item 5.2.3 da NBR 8800, $\phi=0,9$ para o escoamento

$$N = 0,40323.25.0,9 \quad \longrightarrow \quad N = 9,0726 \text{ kN} = 907,26 \text{ Kgf}$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados apresentados no gráfico a seguir foram obtidos com os ensaios realizados no Laboratório Experimental de estruturas (LEE) do I.Parque – UNESC.

Figura 10 - Resultados dos ensaios realizados à flexão



Fonte: Dados do pesquisador (2012)

As vigas 1, 2 e 3 são as vigas reforçadas com a fita de aço, as demais são as vigas brutas.

Decidiu-se após os resultados obtidos, realizar uma contraflecha em uma das vigas com o reforço da barra de aço (viga 2), com o intuito de solicitar a mesma. A contraflecha dada foi de 1 cm. Toda a tensão dada na contraflecha foi absorvida pela barra de aço, fazendo com que a viga voltasse para seu estado natural (retilínea). Ensaçando novamente a viga obteve-se o resultado mostrado no gráfico acima (linha da viga teste).

Apesar de o deslocamento ultrapassar o limite de norma o ensaio prosseguiu até que a barra de aço fosse solicitada. A barra foi solicitada e se manteve em 16 mm suportando o aumento de carga. O ensaio teve que ser interrompido, pois a viga estava sofrendo torção.

Os dados obtidos nos ensaios e expostos na figura 10 foram agrupados na tabela 2 para uma melhor visualização.

Tabela 2 - Resumo dos ensaios

Nº da viga	Seção (cm ²)	Peso (kg)	Densidade (kg/m ³)	Carga (KN)	Deslocamento (mm)
1,00	75,00	8,92	475,73	7,25	11,98
2,00	75,00	9,52	507,73	8,51	11,83
3,00	75,00	9,60	512,00	7,09	11,77
4,00	75,00	9,02	481,06	7,73	11,96
5,00	75,00	10,36	552,53	7,99	11,96
6,00	75,00	9,86	525,86	8,40	11,93
Teste (Viga 2)	75,00	9,86	525,86	9,20	11,94
Média	75,00	9,54	509,00	7,83	11,90
Desvio padrão	-	-	-	-	0,085

Fonte: Dados do pesquisador (2012)

5 CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos nos ensaios, observou-se que não houve melhoria na resistência à tração e por consequência na atenuação dos deslocamentos verticais das vigas que continham a barra de aço.

Para o método adotado alguns motivos fizeram com que a barra não fosse solicitada, entre eles está o fato da madeira sofrer uma acomodação por compressão causada pela própria barra, outro motivo foi o fato do aço sofrer um relaxamento antes de começar a agir. Porém esse fato não desqualifica o método, pois analisando a viga teste em que se aplicou uma contraflecha de 1 cm se constatou uma melhora significativa na resistência na flexão apresentando o melhor resultado de 9,2KN para um deslocamento de 11,94 mm, no entanto com o aumento de carga houve o fenômeno de torção aos 16mm, sendo que este efeito pode ser eliminado com a contenção lateral da viga, elevando o efeito de tração na barra de aço.

As vigas de madeira, tanto as brutas como as com reforço da barra de aço (a barra aço não foi solicitada), mostraram uma deformação média de 11,905 mm com uma carga 2 vezes maior em relação ao cálculo realizado segundo a norma NBR 7190/97 para uma deformação de 12mm.



A heterogeneidade da madeira, que varia de acordo com a região, foi comprovada mediante a média das densidades básica das madeiras ensaiadas, que se apresentou como 509,15 Kg/m³, o que não se enquadra em nenhuma madeira apresentada pela NBR 7190/97, porém a madeira é Eucalipto. A madeira que mais se aproxima dessa densidade é o Cedro Amargo, no entanto recalculando as cargas de suporte para essa madeira se chega a valores de suporte menores com relação aos do Eucalipto.

9 REFERÊNCIAS

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

_____. **NBR 8800 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008

GESUALDO, F.A.R. Estruturas de madeira – **Notas de aula**. Universidade Federal de Uberlândia, 2003. 98p.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michele. **Estruturas de aço: dimensionamento prático**. 7. ed Rio de Janeiro: LTC, 2000. 336 p.

_____. **Estruturas de madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: LTC. 2003.

ZENID, Geraldo José. **Madeira : uso sustentável na construção civil**. 2. ed. São Paulo : Instituto de Pesquisas Tecnológicas : SVMA, 2009. -- (Publicação IPT ; 3010)