

REFORÇO DE VIGAS DE MADEIRA COM ELEMENTOS DE AÇO

Henor Artur de Souza¹, Ernani Carlos de Araújo Carlos Araújo², Klaydson D.Lopes França³

Resumo.

Neste trabalho propõem-se o reforço com elementos estruturais metálicos, inserção de perfis metálicos T e colagem de chapa de aço, em elementos estruturais em madeira, dando origem a uma estrutura mista de madeira e aço. A madeira a ser recuperada é analisada experimentalmente e por meio de uma abordagem numérica, pelo método dos elementos finitos, avalia-se o desempenho dos reforços metálicos propostos, em um estudo de caso. A abordagem numérica é realizada via *software* ANSYS, considerando uma viga mista de madeira e aço bi-apoiada, com carregamentos uniformemente distribuídos. Os reforços propostos, colagem de chapa de aço na base da viga e inserção de perfil T, apresentaram desempenho de 36% e 39%, respectivamente. A recuperação de estruturas em madeira com peças metálicas é muito vantajosa, uma vez que a peça de madeira não tem quase nenhuma perda. Este tipo de intervenção possui maior exatidão e a construção é muito rápida, deixando o ambiente de trabalho mais limpo.

Palavras-chave: Reforço de elementos estruturais em madeira; elementos estruturais em aço, simulação numérica.

INTRODUÇÃO

A conservação e restauração de edificações históricas são assuntos de fundamental importância para preservação da história e cultura de um país. Nos países mais desenvolvidos essa preocupação com a preservação de bens patrimoniais culturais é bem mais disseminada do que no Brasil, que tem sido mais valorizada nas últimas décadas. Assim, engenheiros, arquitetos e cientistas vêm buscando formas, mais eficazes, de promover a conservação e a restauração de edificações históricas.

Segundo Lichtenstein (1985) na condução de ação, num processo de intervenção, inicialmente é feito o prognóstico da situação, ou seja, são levantadas as hipóteses da tendência de evolução futura do problema e as alternativas de intervenção acompanhadas dos respectivos prognósticos. Nesta avaliação devem ser observados parâmetros básicos com o grau de incerteza sobre os efeitos de relação custo/benefício e a disponibilidade de tecnologia para a execução dos serviços.

As alternativas de intervenção devem ser avaliadas pelos custos envolvidos e desempenho da edificação ao longo do tempo propiciado por cada uma delas. Essa comparação é

¹ Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Escola de Minas, Ouro Preto, MG, Brazil, henor@em.ufop.br

² Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Escola de Minas, Ouro Preto, MG, Brazil, ecar_em@yahoo.com.br

³ Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Escola de Minas, Ouro Preto, MG, Brazil, klaydsongerais@yahoo.com.br

<http://dx.doi.org/10535/rsae.v13i3.306>

necessária a fim de se optar pela melhor conduta a ser tomada. Faz-se necessário um levantamento dos recursos técnicos envolvidos na execução das intervenções para cada uma das alternativas. Tais recursos estão relacionados à técnica requerida responsável pela execução e os materiais equipados necessários.

Segundo Calavera et al. (1987), reforço visa aumentar a capacidade portante das estruturas de forma a repará-la para uma nova vida útil, eliminando-se os efeitos dos danos e as deteriorações e possíveis deficiências de resistência.

O desenvolvimento cultural da aplicação do aço na construção civil brasileira apresenta-se, atualmente em fase de expansão, consequência dos esforços dos novos pesquisadores e dos produtores de aço, que buscam estabelecer uma cultura construtiva capaz de expandir o emprego desse material. A evolução do conceito de patrimônio e evolução das políticas de restauração, também passam por desenvolvimento no Brasil, com aumento significativo das aplicabilidades do aço em restauração de edificações. Estes aspectos introduzem na conservação do patrimônio uma dimensão e caráter próprio, sendo extraordinariamente difícil representar o mesmo, sem formação e conhecimentos específicos. Desse modo, para que se possa intervir em edificações históricas, torna-se necessário um estudo indispensável da combinação entre o conhecimento científico e cultural do patrimônio arquitetônico.

Para Lourenço (1999), o rápido desenvolvimento dos materiais e técnicas de construção, que se afastam da prática tradicional, e as descobertas científicas, que colocam novos métodos à disposição de todos aqueles envolvidos na defesa do patrimônio, são aspectos decisivos na divisão entre a arte da construção e a ciência da conservação e restauro. Estes aspectos introduzem na conservação do patrimônio uma dimensão e caráter próprio, sendo extraordinariamente difícil representar o mesmo, sem formação e conhecimentos específicos. Por tanto, para que se possa intervir em edificações históricas, torna-se necessário um estudo indispensável da combinação entre o conhecimento científico e cultural do patrimônio arquitetônico.

Neste trabalho apresentam-se propostas de intervenção, com estrutura metálica, em peças de madeira de uma edificação antiga, localizada em Ouro Preto – MG, definindo-se o tipo do elemento metálico de reforço em função das dimensões da seção transversal da viga e do vão livre a ser recuperado. O novo elemento estrutural proposto passa a ter o comportamento de um elemento estrutural misto de aço e madeira. Para isso, torna-se necessário analisar o comportamento do sistema estrutural e dos tipos de ligações entre os materiais diferentes, além de identificar as propriedades geométricas, físicas e mecânicas relevantes dos elementos estruturais a serem recuperados e dos perfis metálicos a serem utilizados na intervenção.

Aço e madeira como uma proposta de estrutura mista

Quando a capacidade resistente da estrutura de madeira dos pavimentos não é suficiente podem-se adicionar peças de madeira nova ligadas a ela, ou simplesmente colocar outras

vigas entre as existentes de modo a diminuir o vão entre elas, ou ainda colocar peças de material distinto como o aço em partes ou ao longo de toda a viga.

No caso de surgimento de fendas, onde possa comprometer a capacidade resistente da viga, faz-se uma análise da profundidade e do quanto de material se pode eliminar das faces da viga, reduzindo assim, o mínimo possível da sua seção lateral. Em seguida estuda-se o caso de intervenção que possa ser mais útil e rápido em cada caso.

Em peças de madeira de grandes dimensões, é inevitável a existência de fendas provenientes de secagem, e essas, nem sempre comprometem a resistência da viga. Nestas situações é mais usual utilizar varões de aço inclinados (ângulos entre 20 a 30°), colados com cola epóxi, sendo as fendas preenchidas também com a mesma cola. Já no caso onde essas fendas comprometem a resistência da viga, é necessário um aprofundamento e análise nas intervenções com o aço.

MATERIAIS E MÉTODOS

Faz-se um estudo de caso analisando-se vigas de madeira (comprimento igual 6,90 m, seção transversal igual 0,21 x 0,31 m) encontradas num salão da casa Bernardo Guimarães, construída no século XIX, atual biblioteca da FAOP (Fundação de Arte de Ouro Preto – Minas Gerais - Brasil), (França 2007).

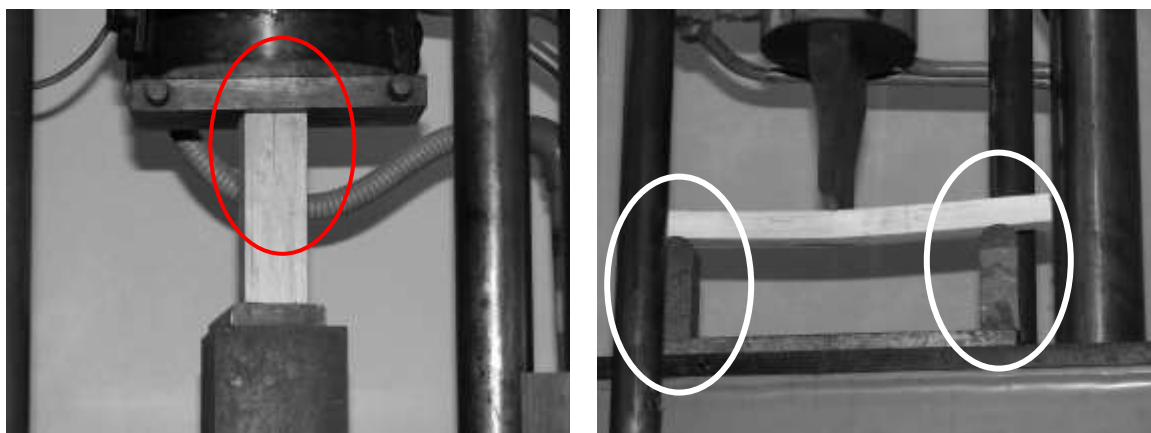
Caracterização da madeira

A madeira da viga analisada foi caracterizada como sendo candeia, identificada por meio de inspeções visuais, observando-se seu cerne de dureza média e cor variando para bege, além de seu cheiro característico. Por meio de ensaio laboratorial foi identificado e determinado seu módulo de elasticidade, paralelo as fibras, igual a 6.405.200 kN/m².

Tratando-se de restauração e reforço de uma viga de madeira centenária, é necessário considerar a imperfeição geométrica das peças, uma vez que essa é lavrada, bem como o seu estado de deterioração. Assim, determina-se uma nova seção transversal reduzida de modo a representar uma homogeneidade ao longo de toda a viga. Com a seção reduzida já calculada, faz-se a modelagem da viga.

Para a determinação das propriedades da candeia foram realizados ensaios laboratoriais de compressão paralela às fibras, flexão estática e cisalhamento. No ensaio de compressão paralela às fibras foram ensaiados corpos de prova extraídos, conforme recomendação da norma NBR 7190:1997, nas dimensões de 0,05 x 0,05 x 0,15 m. No entanto, se tratando de corpos de provas de elementos estruturais de madeira centenários, optou-se em extraí-los com as dimensões de 0,02 x 0,02 x 0,06 m, respeitando a proporção de 1 x 1 x 3 utilizada pela NBR 7190:1997. As seções transversais dos corpos de prova são medidas com aproximação de 0,0001 m. Os corpos de prova são rompidos entre os pratos de uma

máquina de ensaio universal, provida de articulação conveniente em uma das cabeças. A carga máxima atingida para romper o corpo de prova é expressa em kN, e é dividida pela seção transversal do mesmo. O módulo de elasticidade à compressão é calculado dividindo a carga específica correspondente ao limite de proporcionalidade pela deformação unitária, expresso em kN/m². A taxa de carregamento é de aproximadamente 980665 kN/m²/min (Fig.1).



(a) Ensaio de compressão paralelo às fibras

(b) Ensaio de flexão estática

Figura 1: Análise laboratorial da candeia.

No ensaio de flexão estática são ensaiados corpos de prova de 0,02 x 0,02 x 0,30 m, extraídos conforme anexo B da norma NBR 7190:1997. O ensaio consiste em carregar por meio de uma carga central os corpos de prova, apoiados nos extremos, sobre cutelos de aço de forma cilíndrica, com raio de 0,015 m, fazendo-os fletir até produzir a ruptura, (Fig. 1). A carga é aplicada tangencialmente aos anéis de crescimento, por meio de um cutelo central, com formato e dimensão dos apoios. O vão livre que se processou a flexão foi de 0,24 m. A velocidade de aplicação da carga admitida provocou uma ruptura num tempo de 2 min. A resistência à ruptura é dada por:

$$\sigma_f = \frac{M}{W} = \frac{3}{2} \frac{Pl}{bh^2} \quad (1)$$

onde M é o momento fletor resistido pelo corpo de prova, (N.m); P é o carga de ruptura, (N); l é o vão livre entre os apoios, (m); b é a base da seção transversal do corpo de provas, (cm); h é a altura da seção transversal do corpo de provas, (cm); e W é o seu módulo de resistência, (m³).

A relação entre o vão livre e a flecha atingida na ruptura (L/f) é o índice aproximado da rigidez da madeira. Para ensaiar corpo de prova secos ao ar, os resultados foram corrigidos para 15% de umidade, conforme explica a norma NBR 7190:1997. A tensão limite de

proporcionalidade e o módulo de elasticidade são obtidos por meio da curva mostrada na Figura 2.

Neste caso o módulo de elasticidade é calculado para o limite de proporcionalidade por:

$$E = \frac{L^3 Q}{4 f b h^3} \quad (2)$$

onde L é o vão livre do corpo de prova, (m); Q é a carga correspondente ao limite de proporcionalidade, (N); f é a flecha lida no centro da peça, (m); b e h são as dimensões da seção transversal, (m).

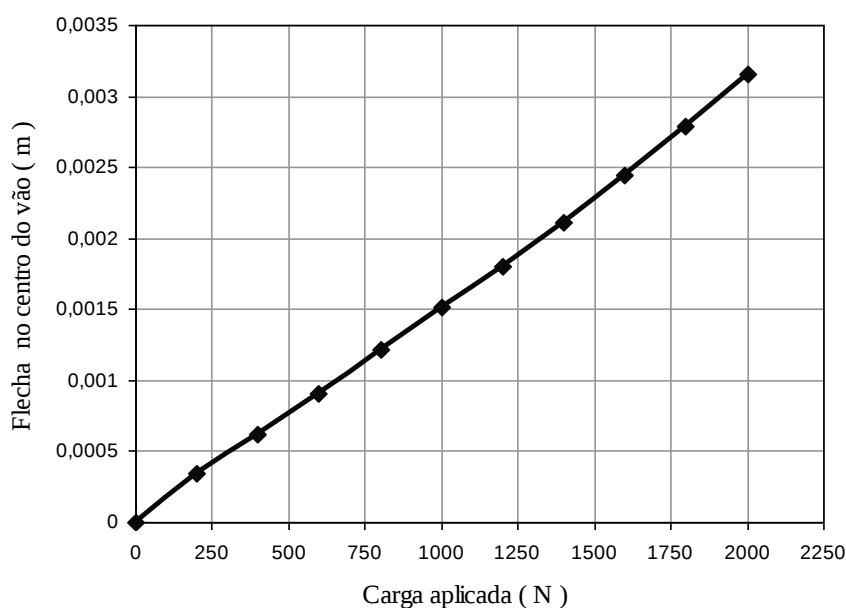


Figura 2: Flecha no centro do vão x carregamento, via ensaio de flexão estática.

No Cisalhamento paralelo às fibras a forma e as dimensões dos corpos de prova utilizados estão prescritas na norma NBR 7190:1997. Os ensaios foram realizados em máquina de ensaio universal, a seção de trabalho foi medida com aproximação de 0,1 mm e os resultados foram expressos em N/cm². A carga foi aplicada à razão de 250 N/cm² por min.

Modelo analítico

Utilizando-se o método da Linha Elástica calcula-se a flecha máxima admissível para a viga de madeira analisada. A carga é considerada uniformemente distribuída ao longo da viga de madeira resultado num valor de 5,13kN/m. O valor da carga é obtido por meio de uma combinação entres os pesos específicos da argila e da madeira com suas respectivas proporções, que compõem o peso próprio da parede de pau-a-pique, e da carga variável que

é determinada em função do ambiente (perfil de ocupação) onde é utilizada viga de madeira, neste caso o salão da casa Bernardo Guimarães. Segundo a norma NBR 7190:1997, o deslocamento máximo (flecha admissível) para viga piso suportando os acabamentos e sujeitos a trincas (alvenaria, painéis rígidos, etc), é dado por:

$$\delta_{\max} = \frac{L}{350} = \frac{6,90}{350} = 1,97 \text{ cm} \quad (3)$$

Modelo numérico

Utiliza-se uma análise numérica via elementos finitos por meio do software ANSYS e avalia-se o desempenho de duas propostas de reforços metálicos: a inserção de perfis T metálicos, ou chapas de aço, fixadas com adesivo de alta aderência, Figura 3.

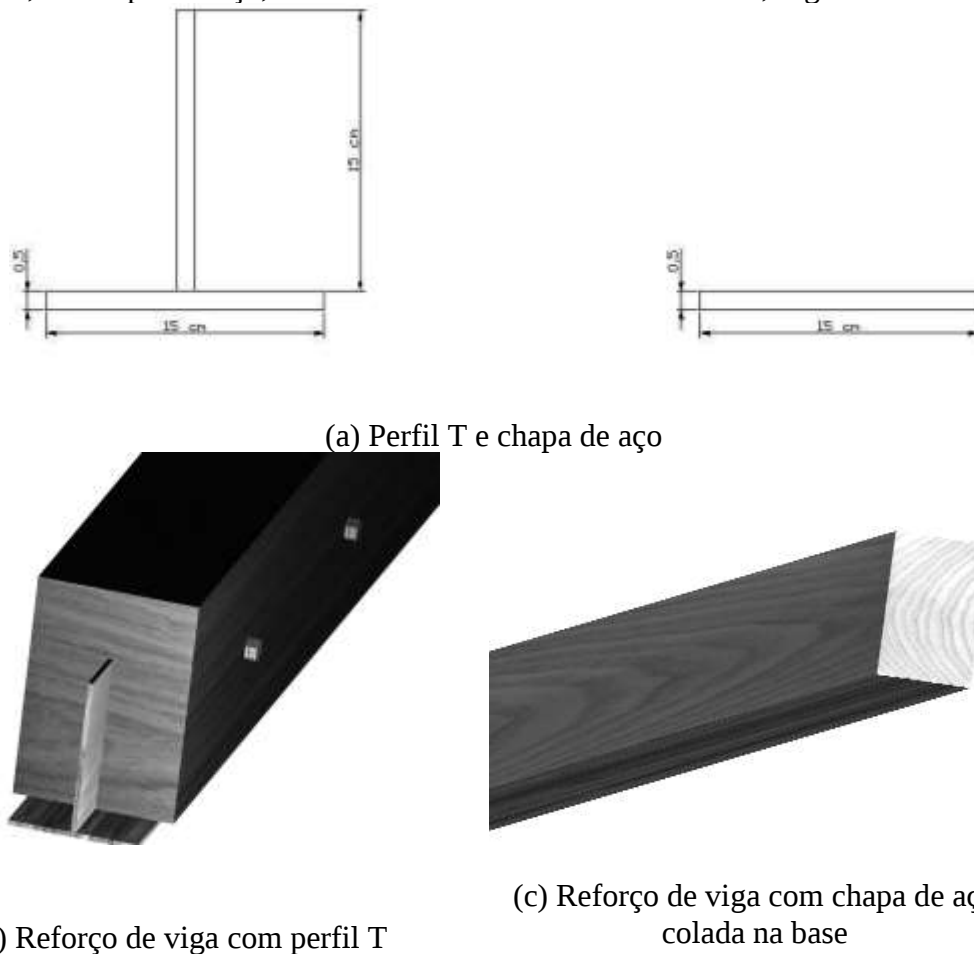


Figura 3: Propostas de reforço da viga de madeira com elementos em aço.

Os modelos numéricos desenvolvidos são elaborados com base em elementos pré-definidos, disponibilizados na biblioteca interna do ANSYS, (2005). Na escolha dos elementos leva-se em consideração aspectos como número de graus de liberdade, esforço computacional e, principalmente, representatividade perante a composição real de cada material envolvido na análise proposta.

O elemento *solid64* é utilizado na discretização da viga de madeira. Essa opção de elemento do tipo sólido permite avaliar efeitos localizados como a concentração de tensões em pontos considerados como críticos. O elemento *shell43* é utilizado para discretizar o perfil de aço. Trata-se de um elemento plano, com quatro nós e seis graus de liberdade por nó, três translações e três rotações (Fig. 4). O elemento em questão possui deformação linear no plano em que está contido.

O elemento *beam189* é utilizado na modelagem das barras rosqueadas. Trata-se de um elemento de viga, com três nós (I, J e K) e seis graus de liberdade por nó, o que inclui as translações e as rotações segundo os eixos x, y e z. O elemento proporciona uma modelagem mais simples dos conectores, sem que com isto se perca representatividade nos resultados. O elemento responde a esforços de flexão, possibilita a consideração da não linearidade do material, e ainda permite configurar a forma da seção transversal, no caso circular (Fig. 5).

Os elementos, *conta 173* e *targel 170*, são utilizados na representação do contato existente na interface entre viga de madeira e a chapa de aço (Fig. 6). São utilizados em análises tridimensionais com contato do tipo superfície-superfície, capazes de simular a existência de pressão entre os elementos, quando há contato, e a separação entre os mesmos elementos, quando não há contato. O elemento *link8* é utilizado para representar um tirante de aço, fixado entre chapas de aço de topo, por sua vez, presas às bordas da viga de madeira. Trata-se de um elemento de barra, com dois nós e 1 grau de liberdade por nó, o que inclui somente o deslocamento axial. O elemento proporciona uma modelagem mais simples e responde a esforços de tração.

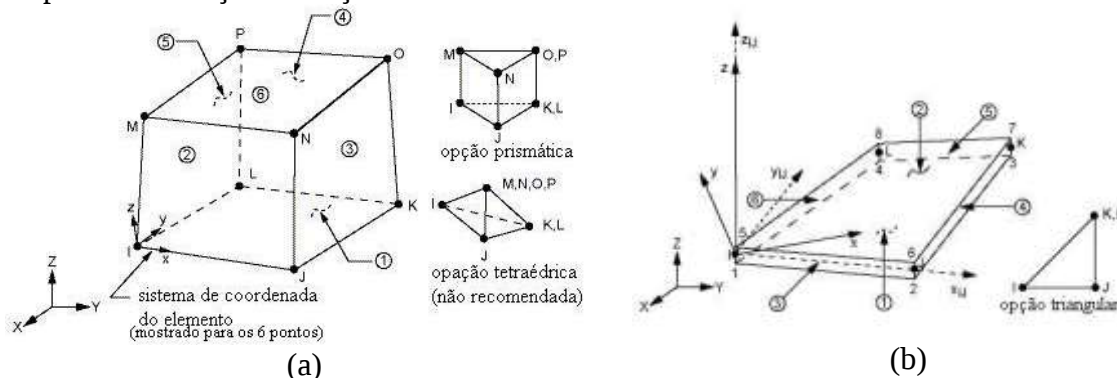


Figura 4: Elementos finitos: (a) solid64; (b) shell43.

Fonte: ANSYS, 2005.

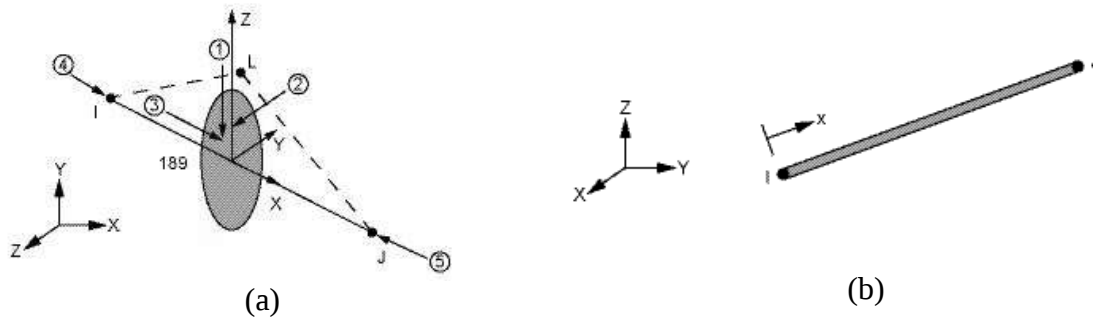


Figure 5: Elementos finitos: (a) beam 189; (b) link 8.
Fonte: ANSYS, 2005.

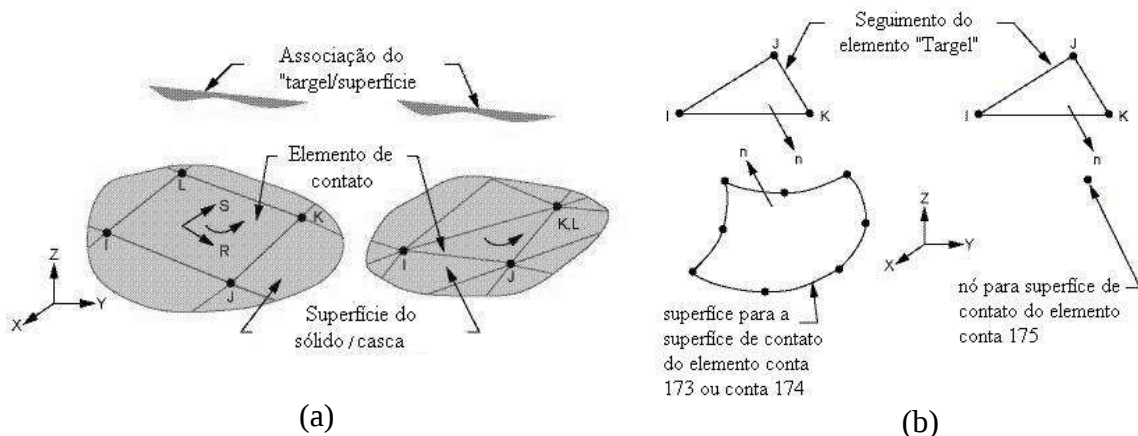


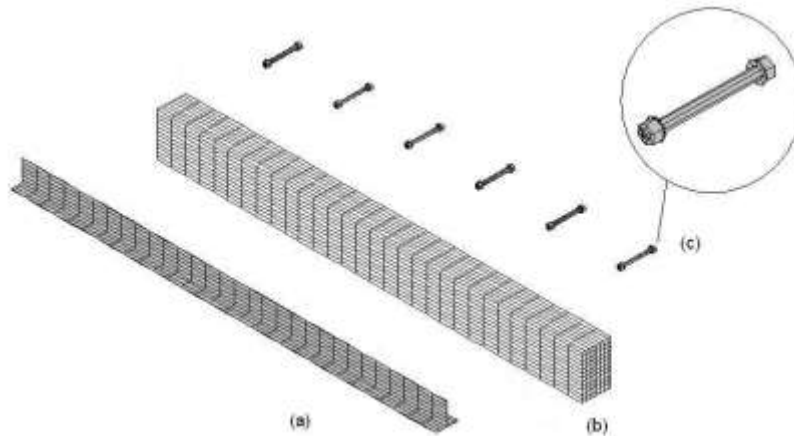
Figure 6: Elementos finitos: (a) conta 173; (b) target.
Fonte: ANSYS, 2005.

De posse desses dados, discretiza-se e analisa-se um modelo em elementos finitos, utilizando-se o *software* ANSYS (2005), que corresponda às propriedades físicas da madeira, considerando sua anisotropia, ou seja, um elemento que permita trabalhar com anisotropia e/ou ortotropia. Sabendo-se que a madeira apresenta comportamentos distintos entre suas direções paralelas às fibras, radial e tangencial, e sendo essas ortogonais entre si, adota-se um comportamento ortotrópico para o elemento finito.

Com o elemento de viga modelado no ANSYS (2005), insere-se suas propriedades ortotrópicas, considerando-se ainda outras informações dadas por Pfeil (2003), como o módulo de elasticidade longitudinal igual ao seu valor obtido em laboratório, e seus módulos de cisalhamentos, iguais a 7% do longitudinal, dado esse obtido por meio de iteração no próprio código computacional, de modo a compilar o modelo e aproximar-se do valor de 5% especificado pela NBR 7190:1997. Utiliza-se o coeficiente de Poisson igual a 0,35, valor correspondente à proporção entre a deformação específica transversal e a

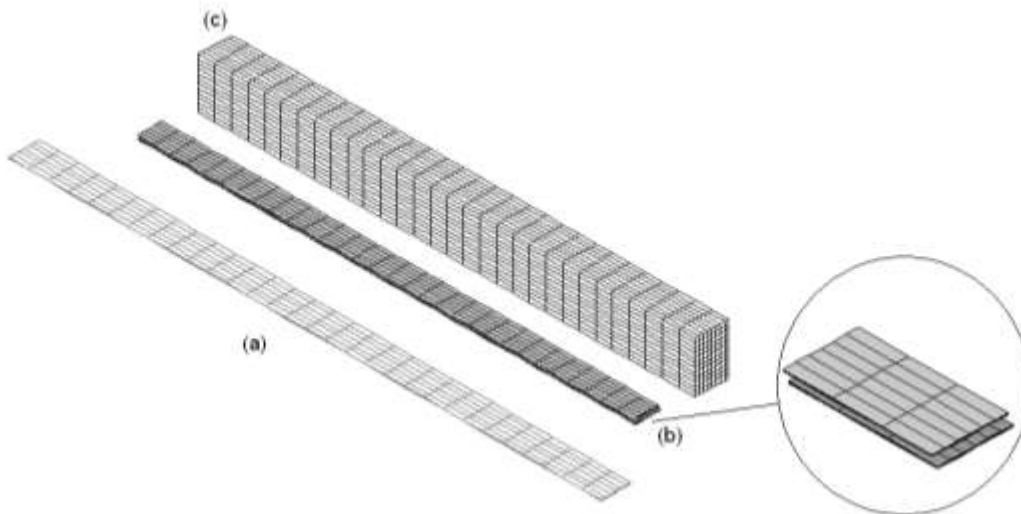
longitudinal da madeira. Como material metálico utiliza-se o aço ASTM A-36, tanto para o perfil T, quanto para a chapa sob a base da madeira, Fig. 3.

Cada conjunto é discretizado separadamente, porém de forma a coincidir os nós de cada um na interface entre eles, possibilitando o acoplamento entre tais conjuntos, realizado por meio destes nós, Figura 7 e Figura 8.



(a) perfil de aço, (b) viga de madeira e (c) barras rosqueadas.

Figura 7: Malha em relação às peças consideradas.



a) chapa de topo, (b) par de contatos e (c) viga de madeira.

Figura 8: Malha em relação às peças consideradas na segunda proposta

RESULTADOS

Numa primeira análise, estuda-se a viga de madeira candeia adotada para o estudo de caso e a carga de projeto. Utilizam-se as propriedades físicas da madeira candeia, determinadas em laboratório (França, 2007), Figura 9.

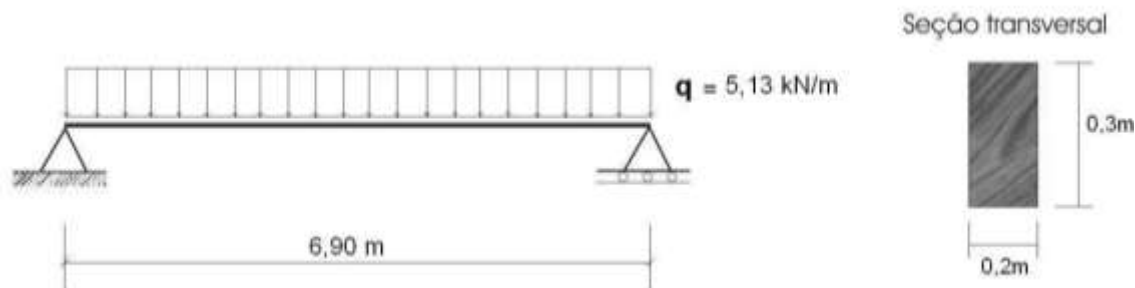


Figure 9: Modelo da viga de madeira candeia com o carregamento aplicado.

A viga é modelada em três dimensões no *software* ANSYS 9.0 (2005), utilizando-se 6624 elementos Solid64, com 8190 nós. Após modelagem, aplica-se o carregamento q , a gravidade de $9,8 \text{ m/s}^2$ e as condições de contorno, sendo que o movimento está restringido aos eixos x e y na borda esquerda, e na borda direita, somente ao eixo y . Na Figura 10 é apresentado o deslocamento da viga em relação ao eixo y .

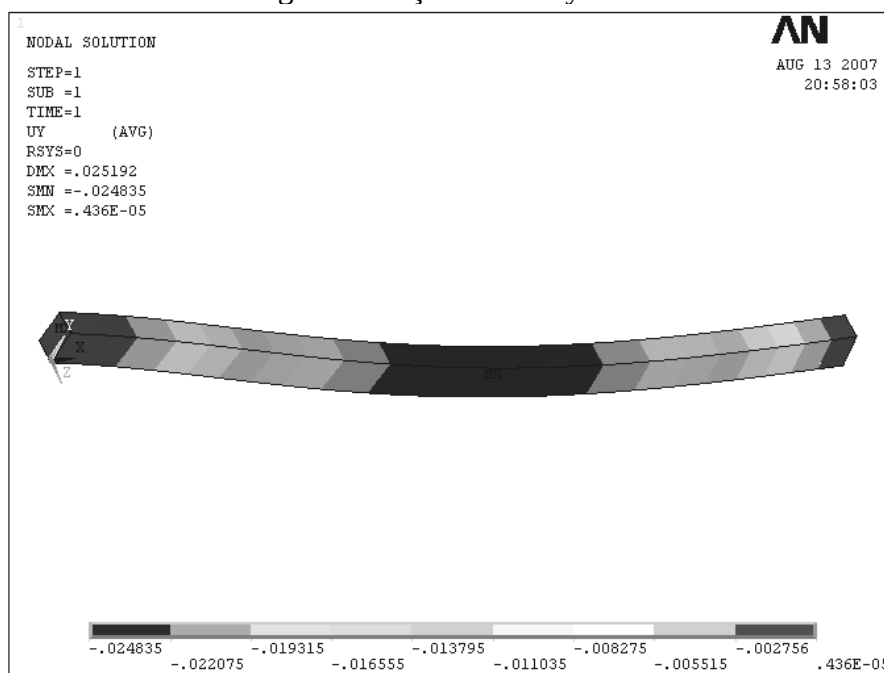


Figura 10: Deslocamento da viga de madeira candeia isolada em relação ao eixo y .

Aplicando-se um aumento de carga gradativo faz-se uma comparação dos resultados, para a viga de madeira, com os métodos dos elementos finitos e da linha elástica, Figura 11. Os valores obtidos, por meio do modelo numérico são superiores aos valores obtidos pelo método da linha elástica (solução analítica), obtendo-se um erro de aproximadamente 18 %.

Nota-se que a viga de madeira quando solicitada ao carregamento descrito nesse trabalho, apresentou uma flecha de 0,0248 m, valor esse superior ao admissível. Provando-se necessário a intervenção com peças metálicas para reduzir seu valor, e aumentar sua capacidade portante.

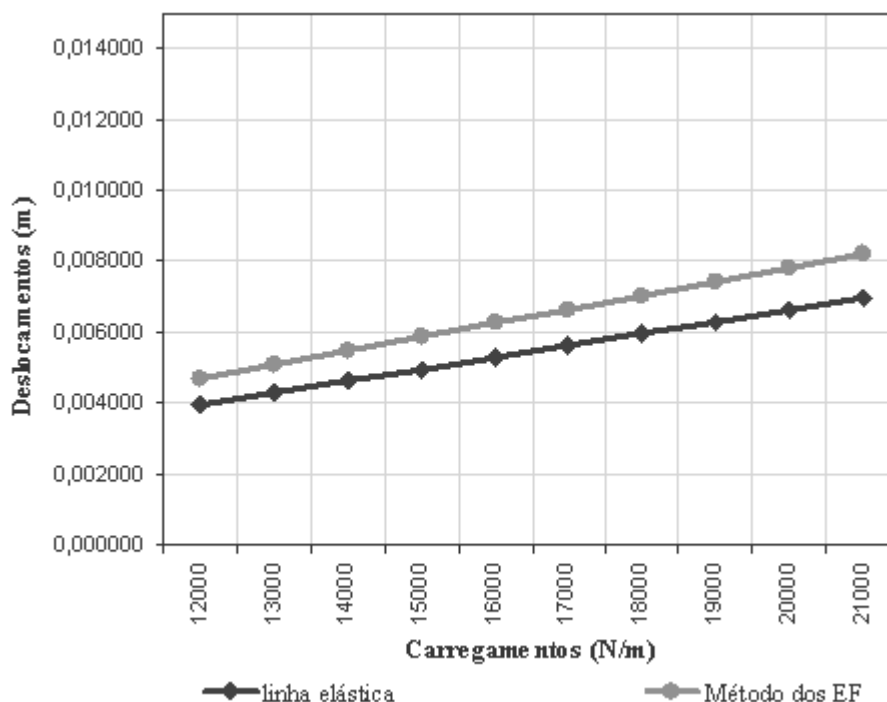


Figura 11: Flecha máxima via método analítico e numérico.

Como primeira proposta de uma estrutura mista analisa-se a viga de madeira com o perfil T inserido em sua alma ao longo de todo seu comprimento. Nesta análise também se aplicam as propriedades físicas, os carregamentos, a ação da gravidade e as condições de contorno utilizadas na análise da viga de madeira. Vale ressaltar que o perfil metálico T, por sua vez também recebe todas as suas respectivas propriedades físicas estabelecidas pelo fabricante. Essa proposta de estrutura é modelada em três dimensões no *software* ANSYS 9.0 (2005) utilizando-se 6624 elementos *Solid64* e 828 elementos de *Shell43*, totalizando 7452 elementos e 9170 nós. Após modelagem, aplica-se o carregamento q , a gravidade com o valor de $9,8 \text{ m/s}^2$ e as condições de contorno, sendo que o movimento está restringido aos eixos x e y na borda esquerda, e na borda direita, somente ao eixo y . Na Figura 12 é mostrado o deslocamento da viga em relação ao eixo y .

Quando se insere um perfil T invertido na alma da viga de madeira, ela aumenta significativamente a sua capacidade portante, reduzindo sua flecha para 0,0121 m, e apresentando uma melhoria de aproximadamente 39 %.

A segunda proposta é a fixação de uma chapa de aço colada por adesivo de alta aderência na base da viga de. Essa proposta de estrutura também é modelada em três dimensões no *software* ANSYS 9.0 (2005). São utilizados 6624 elementos *Solid64* e 414 elementos de *Shell43*, totalizando 7038 elementos e 8661 nós. Na Figura 13 é apresentado o deslocamento da viga em relação ao eixo y.

Ao fixar a chapa de aço na base inferior da viga de madeira com adesivo de alta aderência e parafusos, obtém-se uma flecha de 0,0125 m, valor esse responsável por uma melhoria da flecha máxima de aproximadamente 36 %.

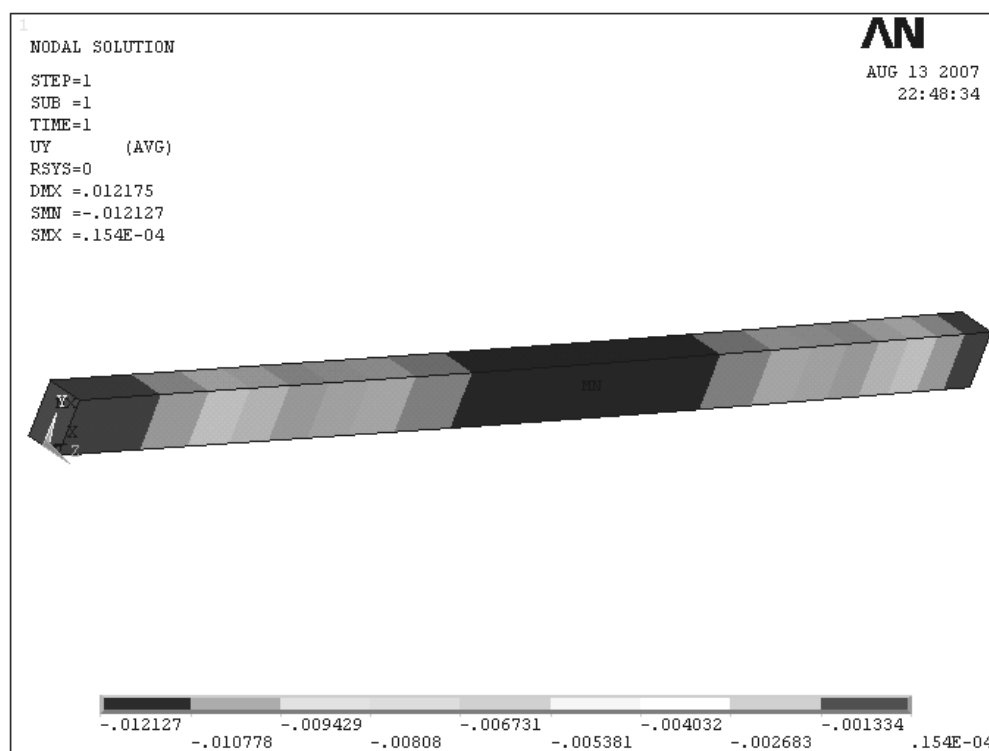


Figure 12: Deslocamento da viga mista, perfil T de aço e madeira em relação ao eixo.

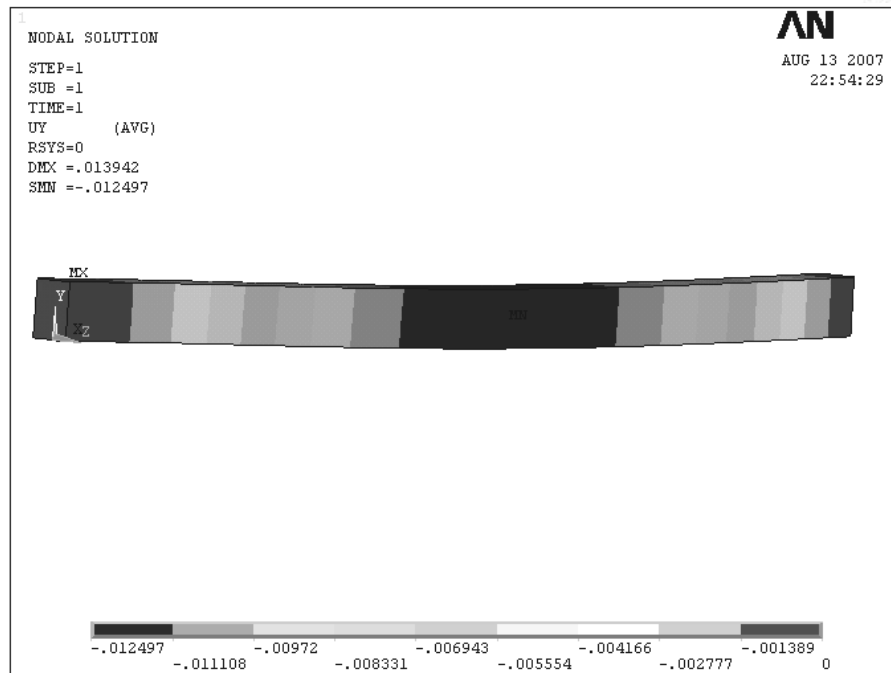


Figura 13: Deslocamento da viga de madeira com chapa de aço ao longo da base.

Para as duas intervenções de reforço com peças de aço metálicas em peças de madeiras apresentadas, a flecha máxima passou a ser inferior à flecha admissível estabelecida pela norma NBR 7190:1997, mostrando a eficiência da estrutura mista, Tabela 1.

Tabela 1: Comparação entre as duas propostas de intervenções.

Eficiência das intervenções		
Viga de madeira original	Perfil T invertido	Chapa de aço
		
Flecha máxima admissível (normativa) = 0,0197 m	Eficiência em relação à flecha admissível é de 39 %	Eficiência em relação à flecha admissível é de 36 %
Flecha máxima real = 0,0248 m	Eficiência em relação à flecha real é de 51 %	Eficiência em relação à flecha real é de 49 %
	Flecha máxima = 0,0121 m	Flecha máxima = 0,0125 m

CONCLUSÕES

Nesse trabalho, apresentam-se os aspectos para a intervenção em estruturas de madeira com perfis de aço e/ou chapas metálicas, por meio de uma análise utilizando modelagem numérica via software ANSYS. Trata-se o aço e a madeira como elementos estruturais, como uma proposta de estrutura mista, realçando suas composições e diferenças, de acordo com as normas de madeira e de aço.

A utilização de componentes estruturais metálicos na recuperação e/ou restauração de edificações convencionais, como reforço de elementos estruturais em madeira deve tirar partido das vantagens da construção industrializada, como o conceito de construção enxuta e de construção modulada.

Nas propostas de intervenção em estruturas em madeira apresentadas nesse trabalho são utilizados peças metálicas no formato de perfil T de 150 x 150 x 5 mm e chapas de aço de 200 x 350 x 15 mm de aço. Para as duas intervenções de reforço propostas a flecha máxima passou a ser inferior à flecha admissível estabelecida pela norma NBR 7190:1997, mostrando a eficiência da estrutura mista. Os resultados encontrados atendem aos padrões de perfis e chapas encontrados no mercado nacional.

A inserção de peças estruturais metálicas em estruturas de madeiras, quando definidas adequadamente podem apresentar, além da sua função estrutural, resistência adequada com leveza, facilidade no processo construtivo, e boa estética.

A recuperação de estruturas de madeira com peças metálicas é muito vantajosa, uma vez que estas não têm quase nenhuma perda, possui maior exatidão e a construção é muito rápida, deixando o ambiente de trabalho mais limpo e trabalhando-se a seco. Além disso, utilizando-se o aço pintado ou o aço anticorrosivo (quimicamente preparado), obtém-se um alto grau de durabilidade no processo de intervenção.

Em relação à madeira, que foi analisada, vale salientar ainda que inicialmente esperava-se que ela apresentasse um módulo de elasticidade superior ao encontrado, uma vez que, por ser muito oleosa, fazia se passar por madeira de alta densidade, mas quando seca, apresentou valores médios para resistência e densidade.

REFERÊNCIAS

- ANSYS. (2005). *User's Manual*. Versão 9.0. Swanson Analysis Systems Inc. Houston.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). *Projeto de estruturas de madeira*: NBR 7190. Rio de Janeiro.
- Calavera, J. et al. (1987). *Curso de Rehabilitacion. La Estructura*. Madrid: Colégio Oficial de Arquitectos.

Lourenço, P. B. (1999). Reabilitação de construções antigas – casos práticos. Disponível em < <http://www.civil.uminho.pt>>. Acesso em: 25 jan. 2006.

Lichtenstein, N. B. (1985). *Patologia das construções: procedimento para formulação do diagnóstico de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edificações*. 1985. 191 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

França, K. D. L. (2007). *Estudo de reforços de elementos estruturais de madeira com estrutura metálica, em edificações antigas*. 2007, 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

Pfeil, W. e Pfeil, M. (2003). *Estruturas de Madeira* 6. Ed. Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

WOODEN BEAM REINFORCEMENT WITH STEEL ELEMENTS

ABSTRACT

For wooden structural elements it is proposed reinforcement with metal structural elements, T profile insertion and plate steel collage, producing a steel and wood mixed structure. The wood which will be recovered is analyzed and by numerical approach, using the finite element method, the performance of the metal reinforcements proposed is evaluated, in a case study. The numerical approach is produced by ANSYS software, considering a bi-supported steel and wood mixed beam, with loads evenly distributed. The proposed reinforcements, which are plate steel collage in the beams foundation T profile insertion, presented a performance of 36% and 39%.

Keywords: reinforcement for wooden structural elements; steel structural elements, numerical simulation.

CONCLUSIONS

The use of metal structural components in conventional buildings recovery and/or restoration, as reinforcement for wooden structural elements should take advantage of industrialized construction as the concept of lean and modulated construction. The insertion of metal structural pieces in wooden structures, when properly defined can present, beyond

its structural function, adequate strength with lightness, easiness in the constructive process and good aesthetics.

In the intervention propositions for wooden structures, presented in this paper, are used metal parts in T profile of 150 x 150 x 5 mm and steel plates of 200 x 350 x 15 mm. For the two reinforcement interventions proposed, the higher deflection is now below the permissible deflection established by the NBR 7190:1997 standard, demonstrating the efficiency of the mixed structure. When an inverted T profile is inserted in the wooden beam web, it significantly increases its load capacity, reducing its deflection to 0.0121 m and showing an improvement of approximately 39%. When the steel plate is set in the wooden beam's foundation below with high-grip adhesive and screws, a deflection of 0.0125 m is obtained, which is responsible for an improvement of 36% in the higher deflection.

The recovery of wooden structures using metal parts is very advantageous, since the wooden pieces present a little loss, greater accuracy and the construction is very fast, leaving the working place cleaner and working dry. Besides this, using the painted steel or steel against corrosion (chemically prepared), a high durability degree is obtained in the intervention process.

Initially it was expected for the analyzed wood, a higher elasticity module than the one found, because it was too oily and resemble a high-density wood, but when it dried, presented average values for strength and density.