

AVALIAÇÃO DA COBERTURA DE MADEIRA DE UMA EDIFICAÇÃO HISTÓRICA – CASA DA CULTURA DA COLÔNIA MURICI – SÃO JOSÉ DOS PINHAIS - PR**STRUCTURAL ANALYSIS OF THE WOODEN ROOF OF A HISTORIC BUILDING – CASA DA CULTURA DA COLÔNIA MURICI – IN SÃO JOSÉ DOS PINHAIS, PARANÁ STATE**

Ana Paula Namikata da Fonte¹ Rui André Maggi dos Anjos² Maiara Kovalski³
Gabriel Ruiz de Oliveira⁴ Janice Bernardo⁵

RESUMO

O objetivo desse estudo foi a realização de uma avaliação estrutural das condições da resistência mecânica e do estado de conservação da estrutura de madeira da Casa da Cultura, edifício histórico da Colônia Murici, município de São José dos Pinhais, região metropolitana de Curitiba - PR. A avaliação estrutural foi realizada de acordo com as normas ABNT NBR 7190 (1997) - Projeto de estruturas de madeira e ABNT NBR 6123 (1988) - Forças devidas ao vento em edificações, e o diagnóstico visual seguiu as recomendações da norma italiana UNI 11119 (2004). Os resultados obtidos demonstraram danos pontuais causados por degradação física e por ataque de agentes biológicos. A partir da análise visual, um mapa detalhado dos pontos e agentes de degradação foi produzido. Através dos cálculos foi possível concluir que ainda que houvesse alterações de geometria, a estrutura ainda apresentaria resistência e não comprometeria a segurança de seus usuários. Identificaram-se, através da análise visual, insetos da ordem Coleoptera, além de fungos de podridão-parda e de podridão-mole. Porém, é recomendada a inspeção periódica para controlar o decréscimo da seção transversal do elemento estrutural para evitar o colapso da estrutura e garantir a preservação deste patrimônio.

Palavras-chave: patrimônio arquitetônico; inspeção; estruturas de madeira.

ABSTRACT

The object of this study was to conduct a structural evaluation of the mechanical strength and wooden structure conditions of 'Casa de Cultura' (House of the Culture), a historic building of Colony Murici, in São José dos Pinhais, metropolitan area of Curitiba, Paraná state. The structural evaluation was performed according to the ABNT NBR 7190 (1997) standards - Design of timber structures, ABNT NBR 6123 (1988) - Forces due to wind on buildings, in addition to that, the recommendations of the Italian standard UNI 11119 (2004) were followed for the visual diagnosis. The results showed specific impairment caused by physical deterioration and attack by biological agents. A detailed map of the points and agents of degradation was produced based on a visual analysis of the structure. Through calculations, it was concluded that although there were changes of geometry, the structure still has strength and does not compromise the security of its users. It was identified by visual analysis insects of the Coleoptera order, brown and soft rot fungi.

1 Engenheira Industrial Madeireira, Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Av. Pref. Lothário Meissner, 900, Jardim Botânico, Campus III, CEP 80210-170, Curitiba (PR), Brasil.

2 Engenheiro Florestal, Dr., Professor Colaborador da Universidade Federal do Paraná, Av. Pref. Lothário Meissner, 900, Jardim Botânico, Campus III, CEP 80210-170, Curitiba (PR), Brasil. reissman@ufpr.br

3 Engenheira Industrial Madeireira, Universidade Federal do Paraná, Rua dos Funcionários, 1540, CEP 80035-050, Curitiba (PR), Brasil. reissman@ufpr.br

4 Engenheiro Civil, Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, R. Maranhão, 88, Higienópolis, CEP 01240-000, São Paulo (SP), Brasil. ruiz_oliveira@yahoo.com.br

5 Arquiteta, Dr^a., Professora Colaboradora da Universidade Federal do Paraná, Av. Pref. Lothário Meissner, 900, Jardim Botânico, Campus III, CEP 80210-170, Curitiba (PR), Brasil. reissman@ufpr.br

However, a periodic inspection is recommended to control the decrease of the transversal section strain in the structural element, in order to avoid the collapse of the structure and ensure the preservation of this heritage.

Keywords: architectural heritage; inspection; timber structures.

INTRODUÇÃO

A Casa da Cultura Padre Karol Dworaczek foi construída por imigrantes poloneses a partir de 1900 para abrigar a casa das irmãs e a escola da Colônia Murici, no município de São José dos Pinhais, região metropolitana de Curitiba. Seu sucessor o Pe. Jan Gualbert Pogrzeba, na década de 1920, “aumentou a escola paroquial, substituiu as paredes externas de madeira por paredes de material, o telhado de tabuinhas por telhas francesas” (TURBANSKI, 1978). Esse é um dos exemplares remanescentes da arquitetura vernacular polonesa e compõe, junto a outras pequenas residências, um importante conjunto de edificações de interesse histórico.

Durante 74 anos, a Casa da Cultura foi utilizada como escola, internato para jovens e moradia para as irmãs da Sagrada Família (TURBANSKI, 2005). Passou por várias reformas ao longo dos anos, mas conserva elementos de carpintaria e o uso da madeira de araucária nos elementos estruturais da cobertura. Atualmente, funciona como museu e espaço cultural, sendo utilizada para palestras e cursos. Também prevê atendimento de apoio à escola da rede estadual, assim como aulas de espanhol e de reforço para o vestibular (BERNARDO, 2013).

A Colônia Murici, na qual se localiza a Casa da Cultura, foi fundada em 1878 como parte de uma política imigratória nacional que visava criar pequenas propriedades agrícolas com mão de obra livre, que produzissem gêneros alimentícios para o abastecimento dos centros urbanos próximos à capital (MAROCHI, 2006). Os imigrantes, em sua maioria, oriundos das regiões rurais da Polônia, trouxeram consigo o conhecimento de técnicas agrícolas e de carpintaria, introduzindo o uso de sambladuras, entalhes e encaixes na construção de suas habitações, as quais constituíram importante contribuição à produção arquitetônica paranaense (VALENTINI, 1982; SILVA, 2008).

Os que se instalaram nas colônias de São José dos Pinhais possuíam habilidade na construção de carroças e moinhos, eram exímios carpinteiros (BERNARDO, 2013). (página 2, linha 59). Os imigrantes, transplantados ao novo mundo como parte de um projeto de modernidade, traziam consigo práticas medievais fundadas nas corporações de ofícios nas quais o aprendizado se dava por meio do “sistema de transmissão dos conhecimentos técnicos na prática das oficinas – o aprender fazendo” (GAMA, 1994; PEREIRA, 1996).

Esta tradição construtiva e a execução de ricos elementos de carpintaria são observadas nas estruturas com encaixe, que se repetem nos dois lados da cobertura do telhado da Casa da Cultura. As peças estão ajustadas, sem pregos, por meio de encaixe do tipo caixa e espiga, com cavilhas que fazem a fixação desta união.

Espécie muito abundante na região durante o século XIX, a araucária possui características que potencializavam seu beneficiamento em serrarias. Suas propriedades tecnológicas e a trabalhabilidade de sua madeira, assemelhando-se às coníferas utilizadas no país de origem dos imigrantes (JOHNSON, 1994; WEIMER, 2005).

A conservação deste prédio e de suas estruturas de madeira trata da preservação de um bem material e da cultura imaterial, a partir das técnicas empregadas. Segundo Viollet Le-Duc (2000), antes de qualquer trabalho de reparação e diagnóstico é essencial constatar a idade da edificação e o caráter de cada parte, documentando, através de levantamentos gráficos, o estado de conservação da obra.

A história da restauração desenvolveu-se a partir do século XX, com o aprimoramento técnico e científico, priorizando por análises não destrutivas na atualidade e que mantenham as obras em sua originalidade e integridade.

A conservação se opõe à substituição de elementos estruturais, uma vez que o reconhecimento da obra de arte deriva da conscientização do valor impregnado pelo aspecto material, pela notoriedade do autor ou pela técnica utilizada. Por isso, Brandi (2004) defende que, dentro do possível, os valores materiais

e imateriais da obra devem ser mantidos em sua originalidade para garantir a permanência destes para o futuro. Essa abordagem prima pela conservação preventiva, com o reconhecimento da imagem da obra de arte e a preservação da originalidade, integridade e das condições de uso.

A inspeção visual realizada por equipe multidisciplinar aliada a um diagnóstico estrutural de obras de madeira constitui etapa preliminar no processo de preservação de bens patrimoniais. O documento publicado pelo Conselho Internacional De Monumentos e Sítios (2003) estabelece princípios para a conservação de estruturas históricas de madeira tais como o diagnóstico profundo e preciso das causas e dos efeitos da degradação, mapeando os danos visíveis à estrutura.

A análise visual realizada por equipe multidisciplinar é defendida por diferentes autores Tampone, (1996), Brandi (2004) que mostram que, por meio dessas equipes, atinge-se o aprofundamento necessário para restauro e conservação do patrimônio histórico em madeira. Segundo Conselho Internacional De Monumentos e Sítios (2003), a análise visual da construção deve ter por base um mapeamento dos danos visíveis à estrutura, o qual deve apresentar os diferentes materiais e tipos de danos com diferentes representações.

Dentro da análise visual, Ross et al. (2000) enumeram pontos aos quais é importante se ater para executar a inspeção visual, como a presença de esporos para detectar o ataque de fungos, redução ou esmagamento por degradação mecânica, ou seja, desgaste nas superfícies da estrutura, alterações cromáticas podem indicar o alto teor de umidade, orifícios de saída que podem conter resíduos ou não, que caracteriza atividade de insetos xilófagos, podendo ser um ataque ativo no caso da presença de resíduos como o pó de madeira dentro das galerias.

A avaliação da degradação da madeira deve ser realizada utilizando-se os métodos não destrutivos como a inspeção visual, a qual, se realizada por equipe capacitada e permite identificar os agentes degradadores e o estado de conservação das peças atingidas (SILVA, 2008). No documento do Conselho internacional de Monumentos e Sítios (CONSELHO INTERNACIONAL DE MONUMENTOS E SÍTIOS, 2003) que estabelece “os princípios para a conservação de estruturas históricas de madeira” há a recomendação de uma acurada e profunda diagnose dos efeitos do degrado em estruturas por meio de inspeções visuais. Augelli (2006) cita que a inspeção no local e o levantamento das causas físicas e, se necessário, os testes não destrutivos são uma condição indispensável que precede qualquer intervenção no patrimônio.

O diagnóstico das patologias é o ponto de partida para qualquer tipo de intervenção, desta forma as ações podem ser pontuais sem a descaracterização das obras. Além disso, o resultado pode ser tomado como base para os projetos de restauração, contribuindo para a preservação do patrimônio e resgate da memória (SILVA, 2008; MARTINS; ROSSIGNOLO, 2010).

Pela norma Italiana UNI 11119:2004, *Beni culturali Manufatti lignei Strutture portanti degli edifici – Ispezione in situ per la diagnosi degli elementi in opera*, o diagnóstico é definido como o julgamento do estado de conservação e das características de resistência e rigidez de um elemento de madeira estrutural em obra. A norma orienta a forma que a avaliação deve ser conduzida, a partir da identificação da espécie da madeira empregada, verificação da geometria das peças, medindo-se a posição e a extensão do degrado, a fim de determinar a seção degradada e a seção íntegra (UNI 11119, 2004).

AABNT NBR 7190 (1997), norma brasileira que orienta o projeto de estruturas de madeira, distribui as espécies de madeira em dois grupos distintos a partir de suas estruturas celulares, as coníferas e as dicotiledôneas, cada um destes classificados em classes de resistência. A norma estabelece coeficientes de segurança de minoração de resistências e de majoração de ações para atender aos Estados Limites Últimos e Estados Limites de Utilização da estrutura, conforme as combinações de ações desejadas (ABNT, 1997). Todavia, por não se tratar de projeto, mas de uma análise de verificação das condições reais de uma estrutura existente, neste estudo foram considerados os valores de cargas que efetivamente atuam sobre a estrutura, estimados a partir dos componentes construtivos empregados na edificação.

Ressalta-se que estudos de avaliação de resistência efetiva não devem ser empregados coeficientes de segurança de majoração ou minoração, pois os resultados não retratariam a situação efetiva das tensões normais resistentes e as tensões normais atuantes (BERNARDO et al., 2012). Por esses motivos não foram utilizados nos cálculos de verificação estrutural, os valores de carregamento propostos pela ABNT NBR 6120 (1980) – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Apenas a ação do vento foi estimada a

partir das referências da ABNT NBR 6123 (1988) – Forças devidas ao vento em edificações.

Por conta da natureza particular do bem cultural avaliado, deve ser evitada a retirada de amostras para ensaios laboratoriais destrutivos na determinação da real resistência da madeira. Por isso, a tensão resistente foi estimada a partir dos valores normatizados pela ABNT NBR 7190 (1997) para a espécie identificada visualmente, no caso, *Araucaria angustifolia*.

A pesquisa teve por objetivo fazer a inspeção visual, e o diagnóstico e uma avaliação estrutural a respeito das condições da resistência mecânica efetiva da cobertura de madeira da Casa da Cultura, edificação de interesse histórico na Colônia Murici, no município de São José dos Pinhais, tendo em vista o estado de conservação.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área analisada corresponde ao Lado A e Lado B (Figura 1) do sótão com acesso pela mansarda, nas demais áreas existe um forro de PVC realizado durante as obras da última reforma e, nestes locais, não se tem acesso às estruturas de madeira da cumeeira, lucernas e caibros.

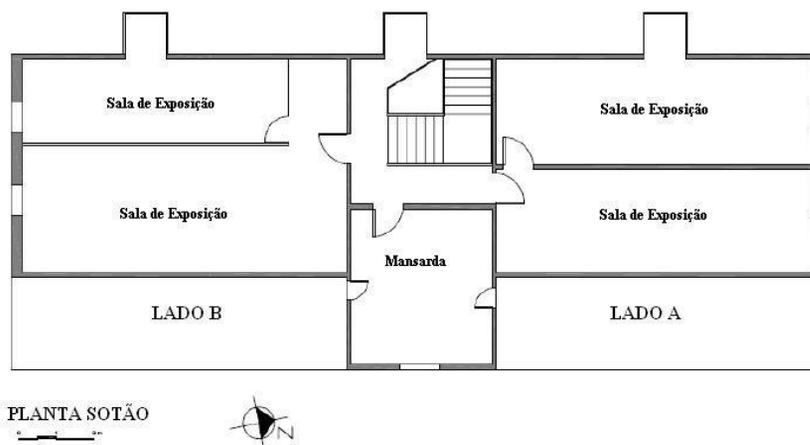


FIGURA 1: Planta do sótão da casa da cultura com identificação das áreas analisadas.
FIGURE 1: Attic plant of the culture house and identification of the areas analyzed.

Análise visual da degradação da madeira

Tendo como base o levantamento arquitetônico anteriormente realizado (BERNARDO, 2013), foram medidas todas as peças dos elementos estruturais, analisando-se a geometria das peças, a inspeção seguiu as recomendações da UNI 11119 (2004).

Os estudos ocorreram durante o mês de dezembro de 2012, quando foram medidas temperatura e umidade com o auxílio do medidor de umidade portátil *digisystem* modelo DUP 8805. A estrutura foi nomeada de acordo com as tramas (Figura 2) constituídas de vigas e caibros, com a presença de pendurais e mãos-francesas.

A partir da avaliação de todas as peças de madeira, que incluem as ripas, caibros, terças (ou barrote), pendurais e vigas foi proposta a numeração para identificação de todos os elementos estruturais, que foram medidos em diversos pontos para constatar eventuais reduções de seção transversal. Foram registrados tipo, posicionamento e extensão dos defeitos e degradações, os quais receberam classificação e abordagem específica.

Por análise visual foram levantadas as informações do diagnóstico do ataque dos agentes biodegradadores e organizada, posteriormente, na planta de mapeamento do estado de conservação, conforme apresentado por (AUGELLI, 2006; SILVA, 2008).

Consistiram também de uma análise de umidade da madeira, com o equipamento medidor de umidade com sonda de penetração (marca e precisão do equipamento), além da umidade relativa e a

temperatura ambiental.

Análise estrutural

Durante a verificação do estado de degradação das estruturas do telhado foram identificados quais elementos estavam sob maiores solicitações estruturais. Partindo desses elementos buscou-se determinar a resistência efetiva da madeira sob esses esforços. Os elementos estruturais estavam em diferentes estados de degradação, por isso foram adotadas duas situações geométricas distintas, denominadas “íntegra”, quando o elemento estrutural não apresentava modificação na sua seção transversal e “modificada”, sendo essa segunda situação considerada em seu pior cenário, no qual a peça de madeira apresentava alteração grave em sua seção transversal original (BERNARDO et al., 2012).

Com base nas seções modificadas foram calculadas as resultantes dos esforços de carregamento, (peso da cobertura, peso do ripamento, peso dos elementos estruturais, ação dos elementos climáticos). Utilizando essas informações foi possível determinar os esforços de flexão e compressão que as seções modificadas estavam submetidas e assim verificar a condição de resistência atual.

A geometria das peças foi analisada de acordo com as recomendações da UNI EN 11119 (2004) e o cálculo estrutural foi realizado com base nas normas. As verificações estruturais foram calculadas de acordo com as orientações da ABNT NBR 7190 (1997). As tensões normais atuantes nos caibros foram analisadas a partir da determinação da solicitação por flexão composta reta, enquanto para as terças foi considerada solicitação por flexão simples reta provocada pelas reações de apoio dos caibros nelas apoiados, ambas as equações clássicas da Resistência dos Materiais. A tensão normal atuante nos pendurais em situação “íntegra” e “modificada” foi verificada a compressão simples.

Para as verificações, levou-se em conta o peso das telhas cerâmicas francesas úmidas, o peso próprio das ripas e dos componentes que, sucessivamente, se sobrepõem ao elemento estrutural verificado, bem como o peso próprio. Ainda foi considerada a ação do vento, obtida a partir da recomendação da ABNT NBR 6123 (1998) para região de topografia pouco acidentada e rugosidade com categoria III B. A ação do vento, porém, foi ponderada de acordo com o Estado Limite de Utilização da ABNT NBR 7190 (1997), em uma combinação de média duração (ABNT, 1988; 1997; MOLITERNO, 2007).

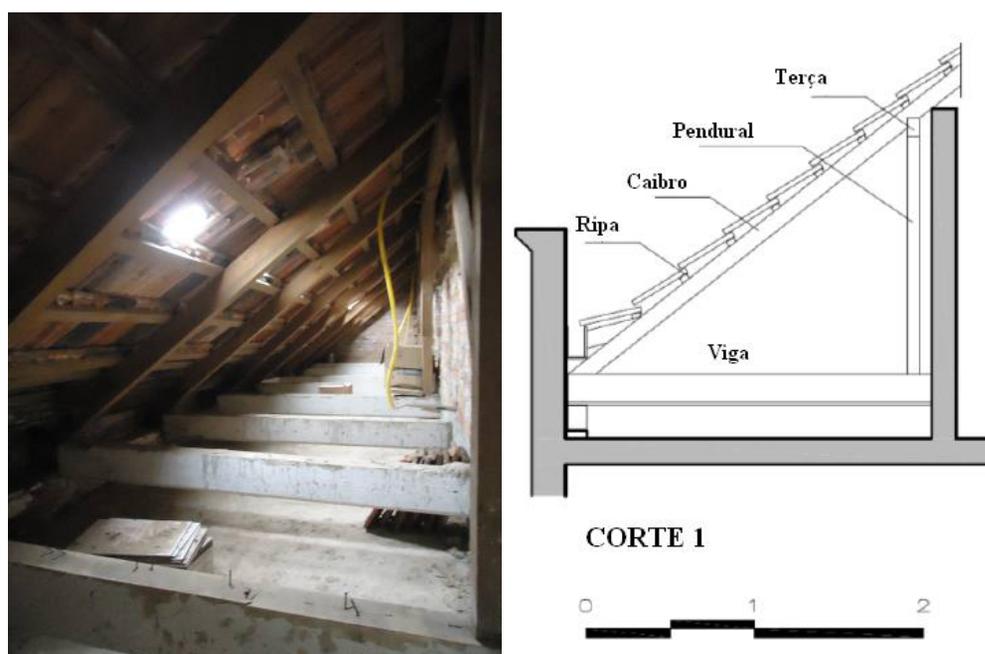


FIGURA 2: Elementos estruturais da cobertura - tramas (fotografia e esquema).

FIGURE 2: Structural elements of the roof - wefts (photo and diagram).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultado da avaliação visual

Apesar de ter recebido reformas ao longo dos anos, foram preservados os aspectos arquitetônicos da antiga construção. A Casa da Cultura possui a estrutura da cobertura realizada com peças de araucária com junções feitas por meio de sambladuras, entalhes e encaixes sem pregos. As Figuras 3, 4 e 5 representam a estrutura do telhado e os pontos que sofreram degradação.

No sótão, no lado denominado A, foi observado que um dos componentes da mão-francesa que se conecta com a viga 6 foi trocado de lugar, pois possui um encaixe com pino em local aleatório. É na área próxima à platibanda que se encontram os maiores problemas de infiltrações, as calhas sem manutenção e a perda de telhas na proximidade do caibro 8, propiciaram a entrada de água e umidade

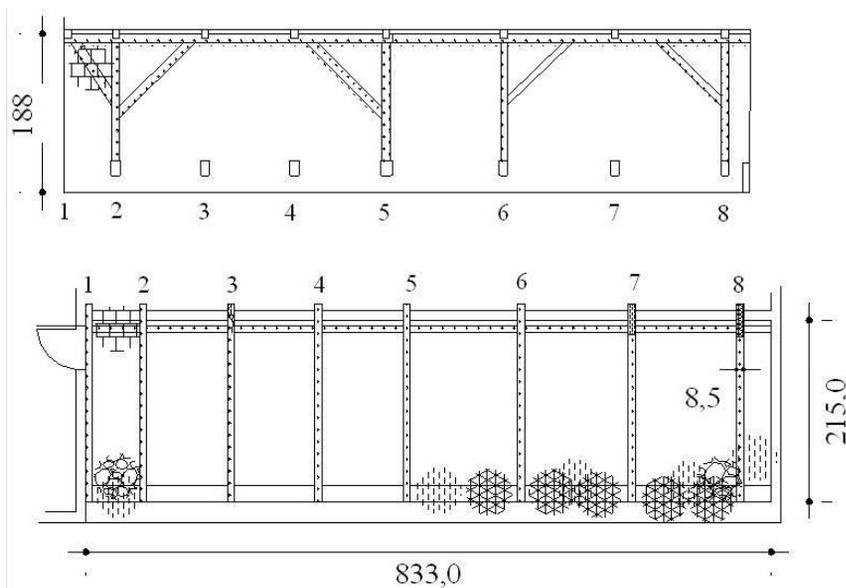


FIGURA 3: Planta do mapeamento – sótão Lado A.

FIGURE 3: Plant mapping – garret side A.

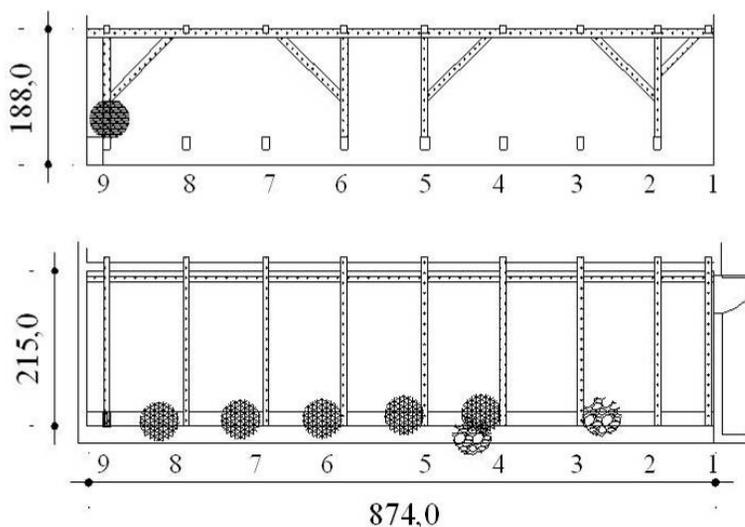


FIGURA 4: Planta do mapeamento – sótão Lado B.

FIGURE 4: Plant mapping – garret side B.

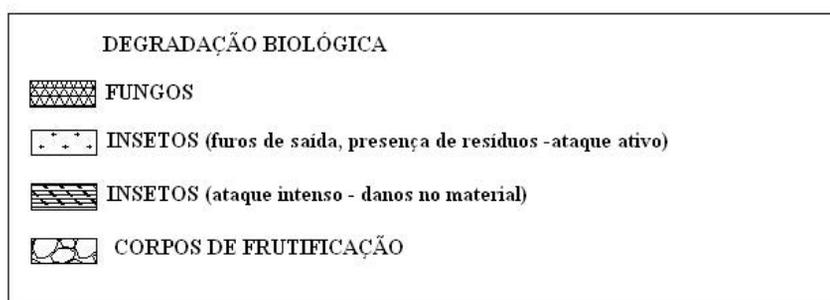


FIGURA 5: Legenda do mapeamento - estado de conservação e pontos de ação dos agentes biodegradadores.
 FIGURE 5: Caption mapping - condition and action points of bio-degrader agents.

intensa nas madeiras. As tábuas que recobrem o apoio das tramas (entre as vigas 7 a 9) apresentam uma elevada umidade, ao ponto de aparecer ataque biológico por agentes que são favorecidos pela umidade, como por exemplo, fungos de podridão-mole, de podridão-parda com a presença de corpos de frutificação durante o período de inspeção visual.

A primeira mão-francesa apresentou aspecto de madeira queimada, sem brilho, coberta com uma camada escurecida de aspecto pulverulento, característico dos fungos que necessitam de madeira úmida (MORESCHI, 2010). A mão-francesa em questão está instalada junto à parede de alvenaria, local em que se mensurou o ponto com maior umidade. Embora a inspeção tenha ocorrido com tempo bom, em um dia ensolarado, este ponto da cobertura sofre constante reumedecimento, devido à infiltração vinda da parede de alvenaria, falta de telhas, e falhas no fechamento das janelas.

Por ocasião da inspeção, foi retirada uma amostra da superfície da mão-francesa, por baixo do ponto amostrado, a madeira apresentava suas características normais, e a amostra tinha aspecto filamentososo e aveludado. Essas duas características indicam ação de fungos emboloradores, as descrições encontraram conformidade com Moreschi (2010). A amostra seguiu para o Laboratório de Biodegradação e Preservação da Madeira, da UFPR, para a confirmação do diagnóstico realizado durante a inspeção, contudo, a contaminação do material impediu o isolamento do fungo.

A umidade média da madeira estava em torno de 16,8% e, durante a inspeção, a umidade relativa era de 72% a 19°C. Nos pontos de maior umidade da madeira, mediu 19,3%, isso mostra que há indícios de reumedecimento da madeira. Os sinais encontrados nos elementos de apoio das vigas indicam que presença de fungos de podridão-parda, que são compatíveis com os sinais descritos por Moreschi (2010). Indicando que, em certos períodos do ano, a madeira deve apresentar conteúdos de umidade superiores aos verificados, pois fungos dessa classe necessitam de teores de umidade superiores a 20%. Esse tipo de ataque, principalmente os de fungo de podridão-parda afetam as propriedades mecânicas da madeira (OLIVEIRA, 1986) indicando situação crítica nestes locais, pois este tipo de fungo tem capacidade de reduzir a resistência da madeira comprometendo sua função estrutural. Estas interferências podem ser observadas na planta do mapeamento do estado de conservação (Figura 3).

O sótão do Lado B apresentou umidade também na área do encontro com platibanda de alvenaria, por problemas nas calhas e extremidade do telhado, foi verificada a presença de fungos de podridão-parda a partir da viga 4, entre as vigas 4 e 5 localiza-se um corpo de frutificação. Esse ataque evidencia pontos de entrada de água na cobertura, indicando a necessidade de intervenção no telhado. Entre as vigas 4 e 6 notam-se fungos de podridão-parda e de podridão-mole. A umidade ambiente era de 70% a 25°C. O pendural 9 apresenta uma redução da seção transversal, causada por insetos, as galerias pequenas possuíam diâmetro em torno de 2 a 3 mm, sem manchas escuras, o resíduo observado era de cor homogênea e textura lisa lembrando areia fina, tais características são representativas do ataque de coleópteros da família Anobiidae, gênero *Anobium*.

Resultado da modificação da estrutura

A Figura 6 ilustra a configuração espacial da estrutura de sustentação das áreas analisadas da cobertura. A estrutura da cobertura do Lado A é composta por 8 caibros e 4 pendurais unidos por uma viga terça. A cobertura do Lado B possui 9 caibros apoiados em uma viga terça sustentada por 4 pendurais. Todos os elementos estruturais foram visualmente identificados como madeira da espécie *Araucaria angustifolia*.

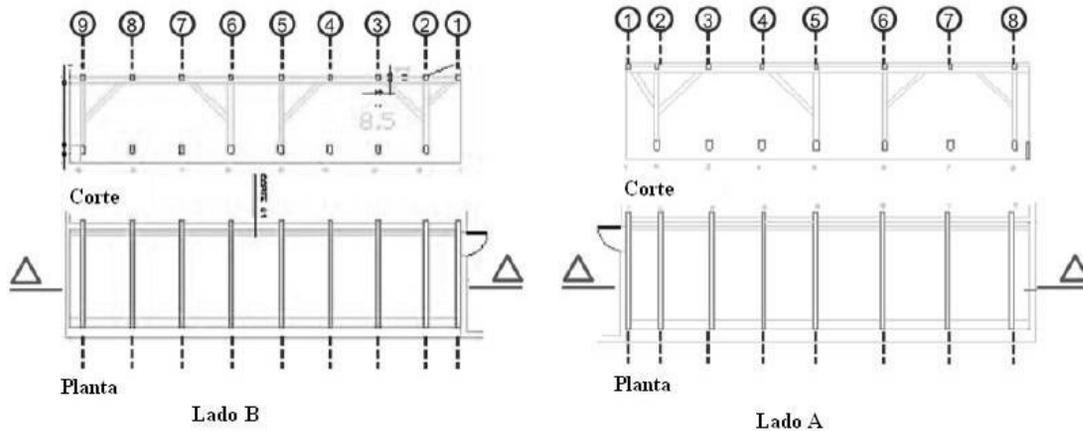


FIGURA 6: Planta e corte longitudinal das partes inspecionadas da cobertura.

FIGURE 6: Plant and longitudinal section of the inspected parts of the roof.



FIGURA 7: Pendural número 9 do Lado B, com degradação na base por insetos xilófagos.

FIGURE 7: Column number 9 B-side, with the base degradation by wood-destroying insects.

Evidenciou-se o acabamento rústico das faces de algumas delas demonstrando a utilização de ferramentas artesanais de carpintaria, todavia, não são relevantes as irregularidades dimensionais ao longo da seção transversal das peças. A seção transversal dos caibros mede em média 11 cm x 8 cm; as vigas terças, 10,5 cm x 7 cm e os pendurais, 9 cm x 8 cm. O nono pendural do Lado B da cobertura apresentou a principal diminuição de seção transversal causada por insetos (Figura 7). Essa peça foi avaliada como “situação modificada”.

Considerando que os caibros sofrem solicitação por flexão composta reta, podem sobrepor-se os efeitos de flexão simples reta e de compressão centrada, conforme equivalência de esquemas estáticos ilustrados na Figura 8.

Os caibros de ambos os Lados A e B apresentaram seção transversal retangular com dimensões

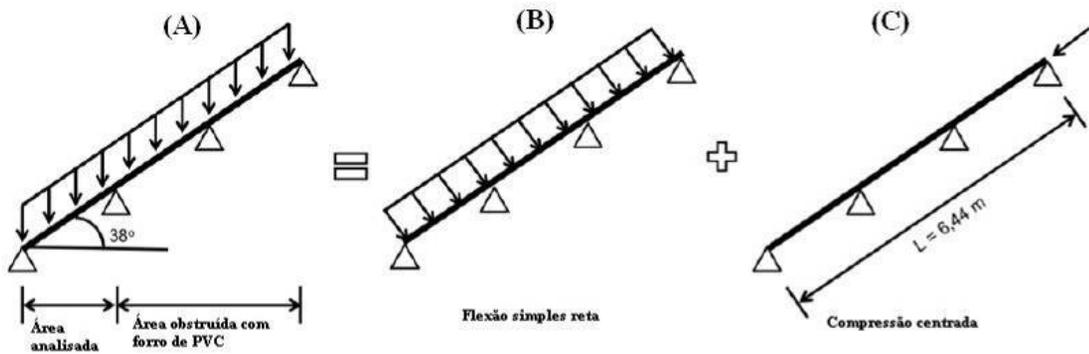


FIGURA 8: Solicitação dos caibros por flexão composta reta (a), ilustrando as componentes transversal (b) e paralela (c) ao eixo longitudinal do caibro.

FIGURE 8: Application of the rafters composed of the straight line (a) flexion illustrating the cross-sectional (b) and parallel (c) to the longitudinal axis of the joist components.

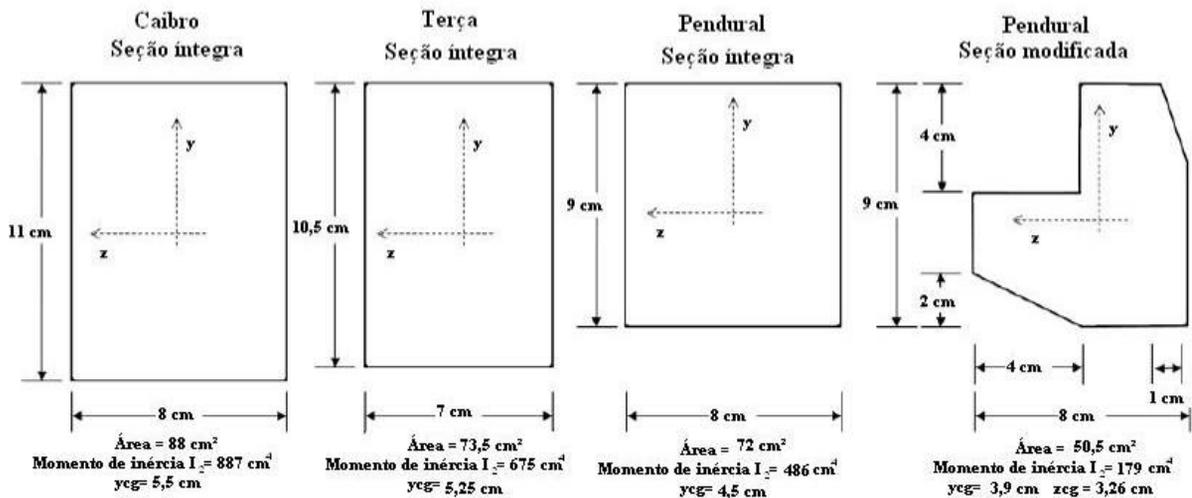


FIGURA 9: Seções transversais da “situação íntegra e da situação modificada”.

FIGURE 9: Transverse sections of “integrity situation and status changed”.

médias de 11 cm x 8 cm. Em algumas peças foi possível identificar pequenos chanfros em uma ou duas extremidades, todavia, uma vez que essas reduções de material não comprometiam mais do que 1% da seção transversal, todas as peças foram consideradas em situação “íntegra”.

Também não foram observadas variações dimensionais significativas nas terças e mãos-francesas, considerando-se, para esta verificação, apenas as situações “íntegras”, nas quais as terças apresentam seção transversal com dimensões médias de 10,5 cm x 7 cm e as mãos-francesas 9 cm x 7 cm.

No caso dos pendurais, a situação “íntegra” foi observada na grande maioria das peças, as quais apresentaram seção transversal com dimensões médias de 9 cm x 8 cm. O pendural n^o.9 do Lado B apresentou a maior redução da seção transversal e foi considerado como situação “modificada” ou situação crítica.

Na Figura 9 estão representadas as seções transversais dos diferentes elementos estruturais da cobertura verificada em suas situações geométricas “íntegras” e “modificadas”, considerando-se suas dimensões extremas, bem como os valores das propriedades geométricas empregadas nos cálculos referentes a essa verificação.

O princípio fundamental da análise estrutural baseia-se na relação entre as tensões normais atuantes *versus* tensões normais resistentes, podendo ser representada por meio da Equação 1.

$$\sigma_{atuante} \leq \sigma_{resistente} \quad (1)$$

Em que, no caso da flexão composta:

$$\begin{aligned} \sigma_{atuante} &= \frac{M}{I}y + \frac{F}{A} \\ \sigma_{resistente} &= f_{c0,efetivo} \end{aligned}$$

O valor efetivo considerado para a resistência à compressão paralela às fibras foi igual a $f_{c0,efetivo} = 12$ MPa. Para a estimativa de ações efetivas sobre os caibros foram considerados: o peso próprio dos caibros e das ripas, o peso das telhas úmidas e a ação do vento. A densidade aparente da madeira de araucária é de 550 kg/m^3 , obtendo-se o valor de 51 N/m para o peso próprio dos caibros. O peso próprio das ripas é determinado a partir de suas dimensões, $5 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm}$, e pela distância entre os caibros, definindo a área de influência de $1,26 \text{ m}$. Obtendo-se 17 N/m para o valor desse carregamento. Para o peso úmido das telhas do tipo francesas chegou-se ao valor de 672 N/m , considerando o acréscimo de 30% no peso devido à umidade.

A velocidade básica considerada para o vento da região foi de 42 m/s , e os fatores $S1 = 1,0$ (que considera as variações do relevo do terreno); $S2 = 0,92$ (que considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, a variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação ou parte da edificação em consideração) e $S3 = 0,95$ (referente a conceitos estatísticos, e que considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação) (ABNT, 1988). Utilizando os procedimentos de combinação destes fatores propostos na ABNT NBR 6123 (1988), obtém-se um carregamento de $q = 826 \text{ N/m}^2$. Distribuindo este carregamento na área de influência de espaçamento dos caibros e considerando o fator de combinação de esforços de média duração $\gamma_1 = 0,2$ para o Estado Limite de Utilização da ABNT NBR 7190 (1997), a ação do vento resulta em 182 N/m .

O carregamento uniformemente distribuído total, dito como efetivo, nos caibros, considerados simplesmente apoiados é de 905 N/m , segundo o eixo de solitação vertical. O ângulo de inclinação dos caibros é de 38° que resulta na componente de carregamento de 713 N/m e na componente de força normal $F = 4594 \text{ N}$ em relação ao eixo longitudinal do caibro, sabendo-se que o comprimento total dos caibros é de $6,44 \text{ m}$. A componente do momento fletor máximo atuante segundo o eixo longitudinal do caibro é igual a $M = 456 \text{ N.m}$. A Equação 2 apresenta o valor resultante da tensão normal atuante nos caibros proveniente da solitação por flexão composta reta.

$$\sigma_{atuante} = \frac{456}{897 \cdot 10^{-8}} \cdot 0,055 + \frac{4594}{88 \cdot 10^{-4}} = 2,83 + 0,52 = 3,35 \text{ MPa} \quad (2)$$

As terças dos Lados A e B foram modeladas como vigas contínuas apoiadas sobre os pendurais e sujeitas à solitação por flexão simples reta. Além do peso próprio de $41,8 \text{ N/m}$, também foi considerada a carga pontual resultante da reação de apoio que os caibros exercem sobre as terças, calculada como $2,4 \text{ kN}$. Com essa combinação de carregamentos, obteve-se o momento fletor máximo atuante nas terças dos Lados A e B, respectivamente, iguais a $M_{\max A} = 1,7 \text{ kN}$; e $M_{\max B} = 1,9 \text{ kN}$. As tensões normais atuantes nas terças foram estimadas a partir da Equação 3, correspondente à solitação por flexão simples reta.

$$\sigma_{atuante \text{ lado B}} = \frac{M_{\max B}}{I} \cdot y_{cg} = \frac{1900}{675 \cdot 10^{-8}} \cdot 0,0525 = 13,22 \text{ MPa} \quad (3)$$

A máxima reação de apoio provocada pelas terças sobre os pendurais foi identificada no pendural número 1 do Lado B da cobertura. Esta carga centrada de $7,5 \text{ kN}$ foi considerada para verificação dos pendurais à compressão simples. A Equação 4 apresenta o valor resultante da tensão normal atuante nos pendurais de seção “íntegra” e “modificada” proveniente da solitação por compressão simples.

$$\sigma_{atuante \text{ lado B}} = \frac{M_{\max B}}{I} \cdot y_{cg} = \frac{1900}{675 \cdot 10^{-8}} \cdot 0,0525 = 13,22 \text{ MPa} \quad (4)$$

As tensões normais atuantes para a seção modificada em relação à seção íntegra apresentaram

um acréscimo de 42%. Todavia, o momento de inércia da seção degradada sofreu uma redução de 63,1% em relação à original, indicando um maior comprometimento dos pendurais diante de verificações de estabilidade à flexão.

A Tabela 1 apresenta a síntese dos resultados, considerando o valor da tensão normal resistente como referência de segurança para estimar a margem de segurança que cada elemento estrutural analisado proporciona ao usuário.

TABELA 1: Valores comparativos entre tensões normais resistentes e atuantes.

TABLE 1: Comparative values between normal resistant tensions and active ones.

Peça analisada	Tensão normal resistente	Tensão normal atuante	Margem de segurança estrutural (%)
Caibro	12 MPa	3,35 MPa	72%
Terça – Lado A	12 MPa	14,77 MPa	-23%
Terça – Lado B	12 MPa	13,22 MPa	-10%
Pendural – Seção íntegra	12 MPa	1,04 MPa	91%
Pendural – Seção modificada	12 MPa	1,48 MPa	86%

Fonte: autores (2014).

Nota-se que as terças tanto do Lado A como do Lado B, já apresentam tensão superiores às normais, no entanto, suas estruturas não entraram em colapso porque as cargas estão distribuídas sob ação dos pendurais. Esses, por sua vez, apresentaram aumentos de tensão expressivos de 1,04 MPa para 1,48MPa, ou seja, 70,3% de aumento da tensão normal atuante. O carregamento sobre as terças está distribuído sobre os pendurais que foram superdimensionados, embora sujeitos a aumento de tensão, devido à redução da seção transversal ainda suportam com folga as exigências estruturais.

Nesse caso, vale lembrar que os valores, tanto de resistência da madeira como de cargas atuantes, foram estimados como efetivos, porém, apenas os carregamentos empregados são, de fato, próximos à realidade. Em função do emprego dos conceitos probabilísticos da NBR 7190, que recomenda que $f_{co,k} = 0,7 f_{com}$, tornou, o valor de $f_{c0,efetivo}$ inferior ao esperado. Os coeficientes de modificação adotados ($k_{mod,1}$; $k_{mod,2}$ e $k_{mod,3}$) são coerentes com as condições reais da edificação.

No caso dos pendurais com seção transversal reduzida por degradação, foi utilizado o mesmo valor para tensão normal resistente da madeira que nas peças íntegras, uma vez que as peças apresentaram resultado satisfatório na análise de percussão. Todavia, recomenda-se investigação mais aprofundada sobre as condições estruturais do material, sugerindo-se, apenas no caso de se fazer necessário, o reforço estrutural ou, em último caso, a substituição da peça.

O objetivo da consolidação estrutural é maximizar a permanência da matéria autêntica, limitando as transformações (por demolição ou substituição) ao estritamente necessário; e, desta forma, postergar os fenômenos produzidos pela degradação (JURINA; SPIGNESE, 2001). Recomendam-se as ações pontuais, evitando-se a substituição aleatória das peças e desta forma promover a manutenção do desenho das estruturas, bem como da técnica original dos entalhes e sambladuras. Resinas especiais podem ser empregadas, garantindo unidade e estabilidade da peça sem a perda da sua função estrutural (TAMPONE, 1996; LIOTTA, 1998).

A continuidade da pesquisa sobre esta edificação deverá contemplar a determinação, por meio de análises não destrutivas, as propriedades mecânicas da madeira centenária encontrada no bem histórico, em suas situações íntegra e degradada, uma vez que os valores fornecidos pela NBR 7190 são estabelecidos para situações genéricas de projeto. Sugere-se a análise instrumental e experimental não destrutiva para a avaliação das seções transversais resistentes e maior confiabilidade do diagnóstico. Recomenda-se ainda a inspeção periódica e a manutenção frequente como medidas necessárias para a preservação material do patrimônio histórico.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados foi possível verificar as condições da resistência mecânica efetiva de parte da estrutura de madeira da Casa da Cultura da Colônia Murici. Conclui-se que os caibros e os pendurais em seção íntegra encontram-se em condições de utilização. A pior situação foi identificada nas terças e a melhor situação encontrada nos pendurais.

A partir do diagnóstico efetuado foi possível detectar a presença de fungos apodrecedores em ambos os lados do sótão que comprometem a estética e a resistência da estrutura.

É aconselhado adotar medidas corretivas para os problemas de calhas e telhas, extinguindo o acúmulo de umidade. Recomenda-se também um estudo de projeto de restauração, com medidas preventivas e corretivas com o objetivo de eliminar os agentes de degradação biológica. Nos elementos com perda de seção aparente é importante aprofundar a análise, verificando a seção resistente.

AGRADECIMENTOS

A todos que cooperaram para o desenvolvimento desse projeto, incluindo a Sra. Cecília e o Sr. Valdir.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devido ao vento nas edificações. Rio de Janeiro, 1988.

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

AUGELLI, F. La diagnosi delle opere e delle strutture lignee. Le ispezioni. **Xilema**. Milano: Il prato, 2006. 165 p.

BERNARDO, J. et al. Análise estrutural da cobertura de madeira de uma edificação histórica. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 13., Vitória, 2012.

BERNARDO, J. **Madeira e técnica**: as edificações históricas da Colônia Murici. Curitiba: [s. n.], 2013. 168 p.

BRANDI, C. **Teoria da restauração**. Cotia: Ateliê Editorial, 2004. 261 p.

GAMA, R. História da Técnica no Brasil Colonial. In: VARGAS, Milton (org.). **História da técnica e da tecnologia no Brasil**. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista, 1994. 51 p.

CONSELHO INTERNACIONAL DE MONUMENTOS E SÍTIOS. Recomendações para análise, conservação e restauro estrutural do patrimônio arquitetônico. In: ASSEMBLÉIA GERAL DO ICOMOS, 14., 2003, Victoria Falls, Zimbabwe. **Anais...** 2003.

JOHNSON, H. **La madera**. Barcelona: Blume, 1994.

JURINA, L.; SPIGNESE, J. M. **Consolidare conacciaio inox e acciaio al carbonio - Recupero**. Disponível em: <http://jurina.8s8.it/files/2012/02/2001_Consolidare-con-acciaio-inox-e-acciaio-al-carbonio.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2013.

LIOTTA, G. **Gli insetti e i danni del legno**: problemi di restauro. 3. ed. Firenze: Nardini, 1998. 150 p.

MARTINS, S. C. F.; ROSSIGNOLO, J. A. Ultrassom em madeira: diagnóstico de conservação e prevenção do patrimônio rural. **Revista Complexus**, São Paulo, p. 141, 2010.

MAROCHI, M. A. **Imigrantes 1870 – 1950**: Os europeus em São José dos Pinhais. Curitiba: Travessa dos Editores, 2006. 323 p.

MOLITERNO, A. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2007.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2010. 175 p.

NORMA ITALIANA. **UNI 11119**: Beni culturali Manufattilig nei Strutture por tanti degli edifici – Ispezione in sito per ladiagnosidegliementi in opera, 2004.

OLIVEIRA, A. M. F. et al. Agentes destruidores da madeira. In: LEPAGE, E. S. (Coord.). **Manual**

- de preservação de madeiras.** São Paulo: IPT, 1986. v. 2, 701 p.
- PEREIRA, M. R. M. **Semeando iras rumo ao progresso.** Curitiba: UFPR, 1996, 42 p.
- SILVA, J. B. **Metodologia de análise e diagnóstico da madeira na preservação do patrimônio histórico.** 2008. 148 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- ROSS, R. et al. Comparison of several non destructive evaluation techniques for assessing stiffness and MOE of small diameter logs. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE TESTING OF WOOD, 12., 2000, Sopron. **Proceedings...** 2000. p. 155-163.
- TAMPONE, G. **Il restauro delle strutture edilegno.** Milano: HOEPLI, 1996. 401 p.
- TURBANSKI, S. **Murici terra nossa: 1º centenário de Fundação 1878 -1978.** Curitiba: Gráfica Vicentina, 1978, 244 p.
- TURBANSKI, S. **Murici terra nossa :1978-2003.** Curitiba: Gráfica Editora Amaro, 2005. v. 2, 85 p.
- VALENTINI, J. **A arquitetura do imigrante polonês na região de Curitiba.** Curitiba: Instituto Histórico, Geográfico e Etnográfico Paranaense, 1982.
- VIOLLET-LE-DUC, E. E. **Restauração.** Cotia: Ateliê Editorial, 2000.
- WEIMER, G. **Arquitetura popular brasileira.** São Paulo: Martins Fontes, 2005.