

Caracterização de pisos de madeira de araucária
atacada por cupins de madeira secaCharacterization of Brazilian Araucaria wood
flooring attacked by dry-wood termitesRafael de Avila Delucis¹, William Gamino Gutts²,
Pedro Henrique Gonzalez de Cademartori³, André Luiz Missio⁴ e Darci Alberto Gatto⁵

Resumo

O presente estudo objetivou caracterizar a madeira de *Araucaria angustifolia* utilizada como assoalho em um prédio histórico do município de Pelotas, Rio Grande do Sul, atacada por cupins de madeira seca. Foram empregados os ensaios não destrutivos de colorimetria, análise visual com atribuição de notas em razão do nível de deterioração, a massa específica aparente a 12% e propagação de ondas de ultrassom. Adicionalmente, foram avaliadas propriedades mecânicas por meio do teste de resistência ao impacto. O critério de notas foi eficiente para caracterizar o nível de degradação da madeira de araucária, indicando que a maioria dos corpos de prova amostrados encontravam-se em um estado intermediário de degradação (Nota 7). A massa específica aparente a 12% não se mostrou um critério interessante para essa caracterização. Dentre as propriedades da madeira analisada, as mecânicas obtidas pelo ensaio de resistência ao impacto foram as que sofreram maior declínio em razão do ataque dos cupins de madeira seca.

Palavras-chave: biodeterioração, térmitas, durabilidade natural, colorimetria, resistência ao impacto.

Abstract

This study aimed to characterize *Araucaria angustifolia* wood flooring attacked by dry-wood termites, from a historic building in the city of Pelotas, Rio Grande do Sul State. Non-destructive colorimetric tests; visual analysis with attribution of grades of level of deterioration, apparent specific gravity at 12% and ultrasound were performed. Moreover, mechanical properties at impact bending were determined. The main findings showed that attribution of grades was efficient to characterize the level of Araucaria wood deterioration, since most samples presented an intermediary level of deterioration (grade 7). In this context, apparent specific gravity at 12% was not a good property to characterize the level of deterioration. Among the properties analysed, impact bending strength presented the highest loss related to the attack by termites.

Keywords: bio-deterioration, termites, natural durability, colorimetric, impact bending strength.

INTRODUÇÃO

Dentre os materiais biológicos renováveis existentes, a madeira é tida como um dos mais resistentes à biodegradação devido à presença de diversas substâncias recalitrantes em sua constituição. Conforme Rowell et al. (2005), a resistência natural da madeira está relacionada à toxicidade de seus componentes acidentais (extrativos) aos organismos xilófagos.

Não obstante, em condições de serviço são verificados diversos danos de natureza patológica ao longo da vida útil de peças de madeira, ocasionados pela ação de agentes biodegradadores tais como os fungos e os insetos. Tais danos são preocupantes à medida que podem comprometer as propriedades físico-mecânicas da madeira, podendo levá-la em diversos casos ao colapso estrutural.

¹Doutorando em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500 – Setor 4 – Prédio 74 – Campus do Vale – 91501-970 - Porto Alegre, RS E-mail: r.delucis@hotmail.com

²Mestrando em Ciência e Engenharia de Materiais. UFPEL – Universidade Federal de Pelotas. Rua Conde de Porto Alegre, 793 – Centro – 96010-290 – Pelotas, RS. – E-mail: william_gutts@hotmail.com

³Doutorando em Engenharia Florestal. UFPR – Universidade Federal do Paraná. Av. Prefeito Lothario Meissner – Jd. Botânico – 80210-170 – Curitiba, PR. E-mail: pedrocademartori@gmail.com

⁴Doutorando em Engenharia Florestal. UFSM – Universidade Federal de Santa Maria. Av. Roraima, 1000 – Camobi – 97105-900 – Santa Maria, RS. E-mail: andreluizmissio@gmail.com

⁵Professor Adjunto. UFPEL – Universidade Federal de Pelotas – Engenharia Industrial Madeireira. Rua Conde de Porto Alegre, 793 – Centro – 96010-290 – Pelotas, RS. E-mail: darcigatto@yahoo.com

Em relação às espécies florestais, de acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), até a década passada, a araucária (*Araucaria angustifolia* (bertol.) kuntze) foi uma referência na construção civil externa e interna, bem como em acessórios de utilidade geral, sendo uma das espécies mais utilizada na forma de madeira serrada (ZENID, 2009).

Entretanto, em áreas urbanas, os problemas decorridos do ataque de insetos - principalmente os denominados “cupins de madeira seca” (*Isoptera: Kalotermitidae*) - apresentam-se como grande inconveniente pelos estragos causados em estruturas de edificações, postes e móveis. Esse tipo de cupim possui elevada resistência à períodos prolongados de seca. Dessa forma, graças a seus mecanismos fisiológicos, somente uma pequena quantidade de água é requerida, a qual é obtida diretamente da peça atacada, não necessitando de contato com o solo para sua sobrevivência (PAES et al., 2003; SHANBHAG; SUNDARARAY, 2013).

Durante a infestação de uma peça de madeira, os cupins de madeira seca formam galerias internas, as quais não são passíveis de visualização externa. Em geral, os ataques só são identificados quando alcançam um elevado nível de comprometimento. Esse pormenor dificulta a realização do monitoramento da qualidade de peças de madeira atacadas.

Para a qualificação tecnológica da madeira, pode ser ressaltado o ensaio mecânico de flexão dinâmica por avaliar as características de absorção e dissipação de energia em forma de deformação de uma peça submetida a um choque mecânico parcialmente elástico (SONDEREGGER; NIEMZ, 2004).

Além dos ensaios mecânicos destrutivos, como o teste de flexão dinâmica, atualmente as pesquisas na área de tecnologia da madeira concentram-se em investigar a finalidade dos ensaios não destrutivos. Estes ensaios apresentam diversas vantagens principalmente pela possibilidade de não comprometerem a integridade dos corpos de prova. Nesse contexto, ensaios como a análise visual com atribuição de notas em razão do estado fitossanitário dos corpos de prova, a avaliação por meio ondas de ultrassom e a avaliação quantitativa da cor têm sido largamente utilizados devido à sua eficácia (MORI et al., 2004; GATTO et al., 2012; WEILER et al., 2013).

O monitoramento e a avaliação de peças de madeira atacadas por cupins, como por exemplo as encontradas em prédios históricos é de grande importância, tendo em vista que esse material empregado pode já não apresentar disponibilidade mercadológica. Além disso, a substituição dessas peças pode configurar uma depreciação ao patrimônio cultural de uma determinada localidade, bem como de cunho econômico. Diante do exposto, o presente trabalho foi conduzido visando caracterizar a madeira deteriorada de *Araucaria angustifolia* oriunda de um prédio histórico do município de Pelotas, Rio Grande do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

Seleção e amostragem do material de estudo

Foram amostradas aleatoriamente tábuas de madeira da espécie de *Araucaria angustifolia* degradadas por cupins de madeira seca no assoalho de um prédio histórico no município de Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. A fim de facilitar o manuseio e o transporte do material, foram selecionadas tábuas com as dimensões de 2,0 x 10,0 x 31,0cm, respectivas às direções radial, tangencial e longitudinal, respectivamente. Posteriormente, as tábuas foram acondicionadas em câmara climática (65% de UR e 20°C de temperatura) até a estabilização de seu teor de umidade de equilíbrio em ~12%. Em seguida, foram confeccionados 161 corpos de prova, orientados em relação aos planos anatômicos com as dimensões de 2,0 x 2,0 x 31,0cm (maior dimensão para a direção longitudinal), os quais foram lixados na face tangencial a fim de obter corpos de prova com seção transversal no formato quadrado.

A massa específica aparente a 12% foi determinada para cada corpo de prova pela razão entre a massa avaliada com auxílio de uma balança analítica (resolução de 0,01g) e o volume avaliado pelo método estereométrico (paquímetro com resolução de 0,01mm).

Análise colorimétrica

A fim de caracterizar a cor da madeira atacada pelos cupins de madeira seca, foram realizados ensaios colorimétricos por meio de um colorímetro portátil Konica Minolta (modelo CR-400). O aparelho foi configurado para utilização de fonte de luz (iluminante) D65 e ângulo de observação de 10° no padrão CIE- $L^*a^*b^*$. Para cada uma das amostras foram realizadas leituras em triplicata nas faces radial e tangencial, obtendo-se os parâmetros colorimétricos luminosidade (L^*), coordenada cromática vermelho-verde (a^*), coordenada cromática azul-amarelo (b^*), cromaticidade (C^*) e ângulo de tinta (h).

Avaliação visual

A avaliação do nível de deterioração do material foi realizada de acordo com o procedimento D 3345 - 08 da *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 1994), adaptada para o presente estudo. Dessa maneira, a cada corpo de prova foram atribuídas notas, ponderando-se principalmente as dimensões e a frequência das galerias evidenciadas em sua superfície (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros utilizados para a classificação visual.

Table 1. Parameters used for visual classification.

Nota	Avaliação do dano causado pelo agente xilófago
N10	Livre de qualquer patologia.
N9	Ataque superficial, presença de poucos orifícios e sem qualquer comprometimento estrutural.
N7	Ataque moderado, presença de orifícios, sem comprometimento da peça.
N4	Ataque intenso, presença de orifícios, galerias e comprometimento parcial da peça.
N0	Comprometimento da peça.

Ultrassom

Para realização do teste ultrassonoro, foi utilizado um aparelho da marca Proceq, equipado com dois transdutores piezelétricos do tipo ponto seco com frequência de 45Hz. Desse modo, foram realizadas leituras da velocidade de propagação da onda ultrassonora (V_{som}) através dos corpos de prova entre os transdutores. Em sequência, o módulo de elasticidade dinâmico (E_d) foi calculado pelo produto entre a massa específica aparente a 12% ($\rho_{a12\%}$) e o quadrado da velocidade ultrassonora (V_{som}) (ajustando a unidade de medida).

Flexão dinâmica

Para a realização dos testes de resistência ao impacto utilizou-se um pêndulo de Charpy com capacidade de 100 J. O ensaio mecânico se deu em conformidade com a Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 7190 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (ABNT, 1997). Após o impacto do pêndulo no corpo de prova, registrou-se o valor de trabalho absorvido (W), informado no visor analógico do aparelho, a partir do qual foi calculada a resistência ao impacto de cada corpo de prova (Equação 1).

$$F_{bw} = 1000 \cdot W \cdot (b \cdot h)^{-1} \text{ (Equação 1)}$$

Em que: F_{bw} = resistência ao impacto ($\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$); W = trabalho absorvido ($\text{kgf} \cdot \text{m}$); b = base do corpo de prova (cm); h = altura do corpo de prova (cm).

Análise estatística

Os parâmetros colorimétricos foram submetidos a análises de variância simples (ANOVA), tendo como fator as faces anatômicas (radial e tangencial). Nos dados de propriedades físico e mecânicas, foram aplicadas ANOVAs em razão dos critérios adotados pela análise visual, sendo que para os parâmetros em que foi rejeitada a hipótese nula (H_0), foram aplicados testes de comparação de médias *Least significance difference* (LSD) de Fischer em nível de 1% de significância.

As relações funcionais entre as propriedades mecânicas e a massa específica foram determinadas pelo coeficiente de correlação obtido por meio de análise de correlação simples (Pearson). Por fim, para a predição das propriedades mecânicas avaliadas pelo ensaio de flexão dinâmica, foram ajustados modelos matemáticos lineares por meio de análises de regressão simples, utilizando-se como variável independente o módulo de elasticidade dinâmico (E_d).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise Colorimétrica

Os resultados obtidos para os parâmetros colorimétricos em razão das faces anatômicas apresentaram-se distintos, exceto para a coordenada cromática verde-vermelho (a^*). Esse resultado indica que a tonalidade de vermelho foi semelhante para as duas faces anatômicas dos corpos de prova analisados (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios de parâmetros colorimétricos da madeira de *Araucaria angustifolia* biodegradada por cupins de madeira seca em razão das suas faces anatômicas radial e tangencial.

Table 2. Mean values of colorimetric parameters of *Araucaria angustifolia* wood attacked by termites in radial and tangential sections.

	Face radial	Face tangencial	Teste F
L^*	63,823 _(9,21)	52,2331 _(10,01)	402,05**
a^*	9,052 _(24,41)	8,740 _(15,17)	2,70 ^{ns}
b^*	27,717 _(6,64)	25,513 _(10,64)	83,41**
C^*	29,199 _(7,13)	26,932 _(10,59)	76,66**
H	71,995 _(5,60)	70,902 _(3,95)	9,19**

Em que: L^* = luminosidade; a^* = coordenada cromática verde-vermelho; b^* = coordenada cromática azul-amarelo; C^* = saturação da cor; h = ângulo de tinta; ^{ns}= não significativo; * = significativo em 1% de significância. Coeficiente de variação entre parênteses (%).

Em seu estudo, MORI et al. (2004) indicaram por meio de análises de correlação que o parâmetro colorimétrico a^* pode ser condicionado às características químicas e anatômicas como o comprimento de fibras, lignina solúvel e o teor de polifenóis. Em comparação com a face tangencial, no presente estudo, a cor da face radial da madeira atacada por cupins apresentou-se mais clara, amarelada e vívida.

Em consideração ao método proposto por CAMARGOS; GONÇALEZ (2001) para a determinação qualitativa de cores em concordância pelo método CIEL* a^*b^* , a face tangencial da madeira analisada, a qual ficou exposta às intempéries apresentou a cor oliva-amarelado.

No presente estudo as diferenças verificadas entre essas faces anatômicas se devem, principalmente, às condições de exposição das peças durante sua vida útil. Dessa maneira, essas condições podem ter alterado a cor das peças de madeira na face tangencial pela ação de agentes bióticos e abióticos existentes no ambiente coberto em que o material esteve localizado.

A cor da face tangencial do piso foi alterada pela aplicação de ceras e/ou vernizes e a oxidação do material oriundo da limpeza, tornando-se mais acinzentada. Adicionalmente, pode ser mencionado o efeito da foto-oxidação ocorrente majoritariamente na lignina e extrativos da madeira, em razão da absorção de ondas eletromagnéticas nas regiões da luz visível e ultravioleta, oriundas da radiação solar (CHANG et al., 2010). Além desses fatores, pode-se ressaltar que os corpos de prova foram levemente lixados em sua confecção. Já a cor evidenciada na face radial se deveu ao corte realizado nas peças para a confecção dos corpos de prova, dessa maneira não possui relação com as intempéries ambientais.

Avaliação visual

Na avaliação visual dos 161 corpos de prova desse estudo, atribuiu-se 26 notas 4, 61 notas 7, 40 notas 9 e 34 notas 10, sendo que tais valores em números percentuais são apresentados na Figura 1.

O gráfico apresentado na Figura 1 mostra que nem todas as tábuas de assoalho amostradas sofreram ataque de cupins, haja vista que 21% dos corpos de prova denotaram nota 10. O ataque evidenciado caracterizou-se pela maior concentração de corpos de prova com nota 7 (38%).

Conforme ELEOTÉRIO; BERTI FILHO (2000), devido à sua elevada resistência a longos períodos de seca, a sobrevivência e proliferação de cupins de madeira seca se dá em razão de condições específicas da região em que esses insetos se estabelecem, como por exemplo a quantidade de áreas sombreadas e úmidas.

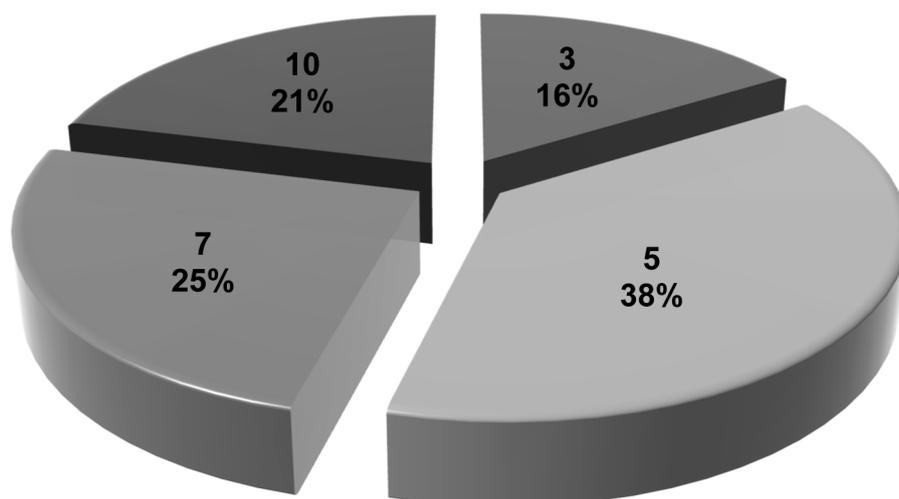


Figura 1. Concentração das notas atribuídas pela avaliação visual à madeira de araucária atacada por cupins de madeira seca.

Figure 1. Scores assigned by visual assessment to Araucaria wood attacked by termites.

Já segundo INDRAYANI et al. (2007), a temperatura e a umidade relativa do ar são as condições atmosféricas que mais interferem no nível de degradação da madeira atacada por cupins de madeira seca, sendo que nesse sentido, as condições ideais são 30 °C e 70%, respectivamente. Portanto, como o material do presente estudo esteve em condições de exposição interna durante sua vida útil, é pertinente atribuir o nível de degradação evidenciado à temperatura média e a umidade relativa do ar encontrados no município de Pelotas. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), os valores médios normais de temperatura e umidade relativa do ar no município de Pelotas são de 17,4 °C e 80,71%, respectivamente (EMBRAPA, 2013).

Em estudo com madeira de *Araucaria angustifolia* proveniente do assoalho de um prédio histórico do município de Pelotas, GATTO et al. (2012) determinaram que peças que denotaram notas entre 0 e 4 devem ser imediatamente substituídas. Já peças com notas entre 7 e 9 podem ser tratadas pela aplicação de inseticidas no orifício evidenciado na superfície da peça. Além disso, os mesmos autores sugeriram como técnicas de correção alternativas, a aplicação de resinas nos orifícios e a redução do teor de umidade de equilíbrio das peças, a fim de evitar uma nova infestação. Em seu trabalho Valle et al. (2013) citaram que a substituição parcial de peças é uma possibilidade afim de aproveitar peças pontualmente comprometidas. O que pode oferecer uma opção financeiramente válida, visando o aumento da vida útil dessas peças, tendo em vista que as mesmas são de difícil reposição.

Contudo, se faz pertinente asseverar que reparos em peças de madeira que compõem prédios históricos precisam ser realizados com prudência e responsabilidade, levando em consideração as particularidades de cada construção. Entretanto, não existem subsídios literários cientificamente significativos a respeito da eficácia dessas técnicas de manutenção corretiva.

Portanto, com base no critério proposto por Gatto et al. (2012), 63% das madeiras analisadas poderiam ser reparadas por práticas de manutenção corretiva e somadas com as madeiras avaliadas com nota 10, verifica-se que 84% da madeira analisada não precisaria ser substituída. Essa questão apresenta grande relevância à medida que a madeira analisada no presente estudo seria de difícil substituição por questões ambientais e legislativas vinculadas à utilização da madeira de araucária.

Afora espécie florestal, segundo VALLE et al. (2013) da parte das agências governamentais brasileiras muitos esforços têm sido direcionados à proposição de técnicas de preservação de artefatos de madeira, através de cartas de preservação patrimoniais, afim de aumentar sua durabilidade e segurança.

Propriedades físicas e mecânicas

As propriedades físicas e mecânicas avaliadas apresentaram uma tendência direta de declínio quando comparadas dentro dos conceitos definidos pelo critério de avaliação visual, exceto para a massa específica (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios de propriedades físico-mecânicas em razão da análise visual.
Table 3. Mean values of physical and mechanical properties related to visual analysis.

Nota	$\rho_{a12\%}$ (g.cm ⁻³)	W (kgfm)	F _{bw} (KJ.m ⁻²)	Vsom (m/s)	Ed (kgf.cm ⁻²)
N4	0,409 a (0,04)	0,622 a (0,47)	12,645 a (9,99)	3120,0 a (281,41)	40058,9 a (7649,61)
N7	0,437 b (0,04)	0,664 a (0,35)	13,589 a (6,96)	3244,1 b (245,03)	46188,3 b (7969,79)
N9	0,478 c (0,06)	0,878 b (0,45)	18,428 b (9,66)	3262,75 b (346,68)	50910,2 c (9830,45)
N10	0,453 b (0,05)	1,202 c (0,65)	27,465 c (14,73)	3419,71 c (165,15)	52682,8 c (9830,45)
Teste F	11,34**	11,28**	16,00**	6,50**	16,02**

Em que: $\rho_{a12\%}$ = massa específica aparente a 12%; W = trabalho absorvido; F_{bw} = resistência ao impacto à flexão; V_{som} = velocidade ultrassonorá; Ed = módulo de elasticidade dinâmico; ** = significativo em 1% de significância. Desvio padrão da média entre parênteses.

Nos corpos de prova classificados com nota 10, a massa específica apresentou-se menor (5,23%) do que nos classificados com nota 9. Em comparação com os corpos de prova de notas mais baixas (4 e 7), os valores médios de massa específica revelaram que houve uma perda de massa significativa devido ao ataque de agentes xilófagos ao infestarem a madeira. O que empiricamente era esperado, já que os corpos de prova avaliados com notas mais baixas apresentavam maior proporção de galerias devido a infestação dos agentes xilófagos, o que obviamente decresce os níveis de massa, sem afetar as dimensões das peças.

Em relação ao trabalho absorvido, as diferenças entre os corpos de prova sadios (Nota 10) e os demais foram de 26,95, 44,76 e 48,25% para notas 9, 7 e 4 respectivamente. Em consideração à resistência ao impacto à flexão dinâmica, nessa mesma comparação os corpos de prova sadios diferiram em 32,90, 50,52 e 53,95%, respectivamente. Cabe ressaltar que as madeiras com notas 4 e 7 não diferiram significativamente na comparação entre valores médios dentro dos parâmetros avaliados pela flexão dinâmica (trabalho absorvido e resistência ao impacto à flexão dinâmica).

Já para velocidade de propagação das ondas de ultrassom, na comparação entre os corpos de prova com nota 10 e as demais notas, as diferenças foram de 4,58, 5,13 e 8,76% respectivamente. Para os valores de módulo de elasticidade dinâmico essas diferenças foram de 3,36, 12,32 e 23,96% respectivamente. Esse resultado se deve ao fato de que as galerias formadas nada mais constituem-se de grandes descontinuidades, que comprometem a resistência e rigidez mecânica dos corpos de prova. Em relação a onda ultrassonorá, essas galerias dificultam sua propagação através do corpo de prova.

Portanto, ficou evidenciado que nas propriedades mecânicas respectivas ao ensaio de flexão dinâmica, a interação da perda de massa é mais significativa do que nas demais propriedades físicas e mecânicas analisadas no presente estudo, principalmente nos corpos de prova com nota 7 ou menor. Ao avaliarem a madeira de *Araucaria angustifolia* proveniente do assoalho de um prédio histórico do município de Pelotas degradado por cupins de madeira seca, WEILER et al. (2013) evidenciaram um declínio semelhante nas propriedades ao ensaio de flexão estática de três pontos. Os mesmos autores atribuíram esse declínio aos espaços vazios formados na madeira pelas galerias dos insetos.

Ainda em relação a massa específica, verificou-se que diferentemente das demais propriedades físicas e mecânicas, esse parâmetro não apresentou um declínio significativo diretamente relacionado ao critério de notas, pois o valor médio desse parâmetro foi maior na madeira avaliada com 9 do que na madeira com nota 10. Assim, também não apresentou correlações significativas com as propriedades mecânicas avaliadas pelo ensaio de flexão dinâmica. Esse resultado indica que a massa específica não é um parâmetro confiável para avaliar a integridade mecânica de peças biodegradadas por cupins de madeira seca (Tabela 4).

Tabela 4. Matriz de correlação de Pearson para as propriedades físicas e mecânicas da madeira biodegradada de *Araucaria angustifolia*.

Table 4. Pearson correlation matrix for the physical and mechanical properties of *Araucaria angustifolia* biodegraded wood.

	pa12%	W	Fbw	Vsom
pa12%	1	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,19*
W		1	0,98**	0,67**
Fbw			1	0,65**
Vsom				1

Em que: $\rho_{a12\%}$ = massa específica aparente a 12%; W = trabalho absorvido; F_{bw} = resistência ao impacto à flexão dinâmica; Vsom = velocidade ultrassonora; * = significativo em 5% de significância; ** = significativo em 1% de significância; ^{ns} = não significativo.

Por outro lado, a velocidade de propagação das ondas de ultrassom correlacionou-se significativamente com as duas propriedades mecânicas avaliadas pelo ensaio de flexão dinâmica (trabalho absorvido e resistência ao impacto à flexão dinâmica). Esse resultado indica a utilidade do método ultrassonoro para avaliar a perda de propriedades mecânicas em madeiras biodegradadas por cupins de madeira seca. Tal possibilidade foi explorada pelos modelos ajustados tendo como variável independente o módulo de elasticidade dinâmico (Figura 2).

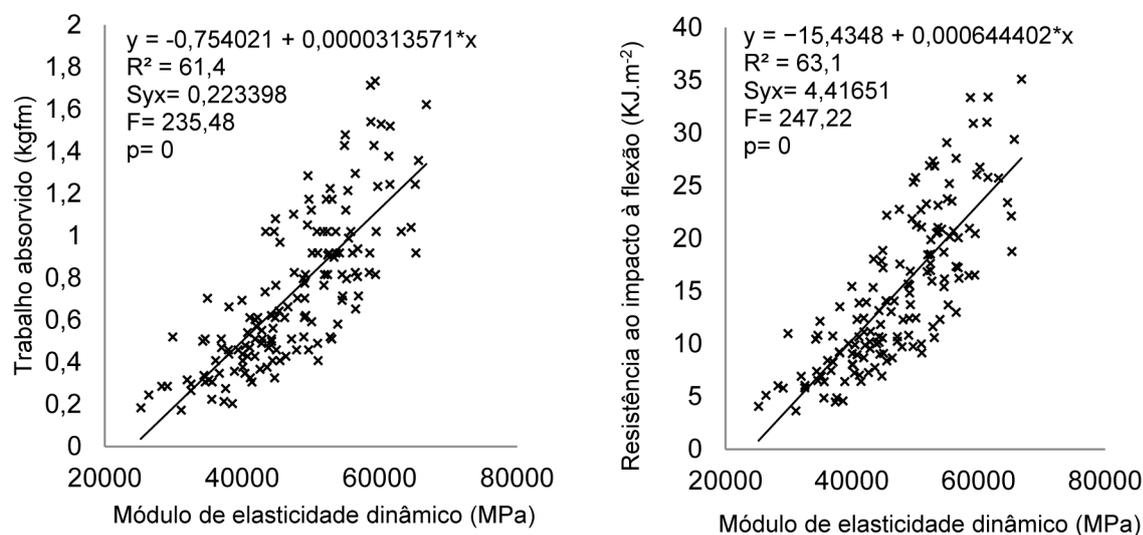


Figura 2. Modelos matemáticos para a predição da resistência ao impacto à flexão em função do módulo de elasticidade dinâmico.

Figure 2. Mathematical models for the prediction of impact bending strength related to the dynamic modulus of elasticity.

Os coeficientes de determinação dos modelos ajustados indicam que o módulo de elasticidade dinâmico estimou de modo satisfatório as propriedades mecânicas avaliadas pelo ensaio de flexão dinâmica, já que mais de 60% desses parâmetros foram explicados em função da variável independente nos modelos matemáticos obtidos. De modo semelhante, WEILER et al. (2013) ajustaram modelos satisfatórios dentro de cada nota atribuída pela análise visual por meio de análises de regressão simples, predizendo o módulo de elasticidade à flexão estática em função do módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo método ultrassonoro.

CONCLUSÕES

- O ataque evidenciado caracterizou-se pela maior concentração de corpos de prova em estágio intermediário de degradação (Nota 7);
- As propriedades mecânicas e a velocidade ultrassonora apresentaram uma tendência ao declínio a medida que diminuíram os níveis dos critérios qualitativos da análise visual;
- As propriedades mecânicas do ensaio de flexão dinâmica foram as mais afetadas pelo ataque dos cupins de madeira seca, no entanto não diferiram entre as notas 4 e 7;

- A massa específica aparente a 12% não apresentou-se como um parâmetro satisfatório para o monitoramento da degradação por cupins de madeira seca no presente estudo;
- Os ensaios não destrutivos realizados (propagação de ondas de ultrassom, colorimetria e análise visual) caracterizaram de maneira satisfatória a madeira amostrada no prédio histórico e nesse sentido oferecem a possibilidade de a avaliação de peças *in loco*, de modo que possibilitam a conveniência de não retirar as peças para a definição de seu estado sanitário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projetos de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: 1997. 107 p.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-3345**. Standard method for laboratory evaluation of wood and other cellulosic materials for resistance to termite. p. 439-441, 1994.

CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALEZ, J. C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Florestal**, Brasília, v. 20, n. 71, p. 30-41, set. 2001.

CHANG, T. C.; CHANG, H. T.; WU, C. L.; LIN, H. Y.; CHANG, S. T. Stabilizing effect of extractives on the photo-oxidation of *Acacia confusa* Wood. **Polymer Degradation and Stability**, v. 95, n. 9, p. 1518-1522, 2010.

ELEOTÉRIO, E. S. R., BERTI FILHO, E. Levantamento e identificação de cupins (Insecta: Isoptera) em área urbana de Piracicaba – SP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 125-139, 2000.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Laboratório de Agrometeorologia**, UFPEL. 2013. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/agromet>>. Acesso em: 25 set. 2013.

GATTO, D. A.; GONÇALVES, M. R. F.; MATTOS, B. D.; CALEGARI, L.; STANGERLIN, D.M. Estimativa da deterioração da madeira de assoalho de prédio histórico por meio de ondas ultrassônicas. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 4, p. 651-656, 2012.

INDRAYANI, Y.; YOSHIMURA, T.; YANASE, Y.; FUJII, Y.; IMAMURA, Y. Evaluation of the temperature and relative humidity preferences of the western dry-wood termite *Incisitermes minor* (Hagen) using acoustic emission (AE) monitoring. **Journal of Wood Science**, Amsterdam, v. 53, n. 1, p. 76-79, 2007.

MORI, C. L. S. O.; MORI, F. A.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; OLIVEIRA, A. C. Influência das características tecnológicas na cor da madeira de eucaliptos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 123-132, 2004.

PAES, J. B.; MORAIS, V. M.; FARIAS SOBRINHO, D. W.; BAKKE, O. A. Resistência natural de nove madeiras do semi-árido brasileiro a cupins subterrâneos, em ensaio de laboratório. **Cerne**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 36-47, 2003.

ROWELL, R. M.; PETERSEN, R.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S.; TSHABALALA, M. A. Cell Wall Chemistry. In: ROWELL R. M. **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**. New York, 2005. Cap. 3.

SHANBHAG, R. R.; SUNDARARAJ, R. Imported wood decomposition by termites in different agro-eco zones of India. **International Biodeterioration & Biodegradation**. Birmingham, v. 85, n. 3, p. 16-22, 2013.

SONDEREGGER, W.; NIEMZ, P. The influence of compression failure on the bending, impact bending and tensile strength of spruce wood and the evaluation of non-destructive methods for early detection. **European Journal of Wood and Wood Products**, Berlin, v. 62, n. 5, p. 335-342, 2004.

VALLE, A.; PEREIRA, N. B.; NAPPI, S. C. B. Recommendations for Design in Preserving Historical Buildings with Wooden Structures' Roofs. **Advanced Materials Research**. v. 778, p. 1072-1079, 2013.

WEILER, M.; MISSIO, A. L.; GATTO, D. A.; GUTHS, W. G. Nondestructive evaluation of wood decayed by xylophagous organisms. *Materials Research*, São Carlos, v. 16, n. 5, p. 1203-1208, 2013.

ZENID, G. J. *Madeira: uso sustentável na construção civil*. 5.ed., São Paulo: IPT, 2009. 99 p.

Recebido em 20/08/2014

Aceito para publicação em 16/06/2015

