

## Avaliação do lenho biodeteriorado de árvores de tipuana (*Tipuana tipu*) em área urbana: análise macroscópica e massa específica aparente

Wood evaluation of deteriorated wood of tipuana trees (*Tipuana tipu*) in urban areas: macroscopic analysis and specific gravity

Sérgio Brazolin<sup>1</sup>, Mario Tomazello Filho<sup>2</sup>, Takashi Yojo<sup>1</sup>, Mário Albino de Oliveira Neto<sup>3</sup>, Matheus Peres Chagas<sup>4</sup> e Victor Hugo Pereira Moutinho<sup>4</sup>

### Resumo

O objetivo do trabalho foi caracterizar o lenho biodeteriorado de treze árvores de tipuana suprimidas na cidade de São Paulo, utilizadas na arborização urbana, através da sua análise macroscópica, do tipo de apodrecimento e dos mecanismos de resistência. Foram aplicados os métodos de densitometria de raios X e de gravimetria para a determinação da massa específica aparente do lenho das árvores de tipuana. Os resultados da análise macroscópica do lenho das árvores indicaram o ataque de fungos xilófagos, cupim subterrâneo e brocas de madeira, além da formação de linhas de compartimentação e de zonas de reação, características de mecanismos de resistência. Através da densitometria de raios X, foram classificados sete padrões de biodegradação do lenho das árvores, associados às alterações da sua estrutura macroscópica. Os valores de massa específica aparente do lenho nos vários padrões de biodegradação, obtidos através dos dois métodos, mostraram diferenças significativas pelas especificidades de cada método e características dos corpos de prova do lenho. A técnica de densitometria de raios X constitui-se em importante ferramenta na avaliação e na discriminação do estado de fitossanidade do lenho das árvores de espécies utilizadas na arborização urbana.

**Palavras-chave:** *Tipuana tipu*; Biodeterioração; Silvicultura urbana; Densitometria de raios X

### Abstract

The objective of the work was to characterize the biodeteriorated wood of thirteen tipuana trees, obtained in the city of São Paulo, through macroscopic analysis, analyzing the extent, type and the resistance mechanisms. The X-ray densitometry and gravimetry for wood specific gravity determination were applied. The results of wood macroscopic analysis indicated the attack of wood decaying fungi, subterranean termites and wood-borer insects, also observed were compartmentalization lines and reaction zones, characteristics of the resistance mechanism. By wood X-ray densitometry, seven patterns of wood biodeterioration of tipuana trees were classified, associated with changes in wood macroscopic structure. The wood specific gravity values of the seven patterns of wood biodeterioration by densitometry of X-ray and gravimetric showed significant differences due to specificities of the methodology and characteristics of the wood specimens. The wood X-ray densitometry constitutes an important tool for the evaluation and discrimination of the wood fitossanity of the tree species used in urban areas.

**Keywords:** *Tipuana tipu*; Biodeterioration; Urban silviculture; X-ray densitometry

### INTRODUÇÃO

A avaliação contínua do estado de fitossanidade do lenho de árvores em áreas urbanas é importante para a manutenção dos benefícios proporcionados pela arborização urbana, como regulação do clima, manutenção da biodiversi-

dade, redução da poluição atmosférica e sonora e demais aspectos inerentes a melhoria da qualidade de vida da população (SHIGO, 1979, 1983, 1984).

Da mesma forma, os inventários de árvores urbanas visam aferir os impactos das práticas de manejo, principalmente as podas aéreas e de

<sup>1</sup>Pesquisador Doutor do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - Av. Prof. Almeida Prado, 532 - São Paulo, SP - 05508-901 - E-mail: [brazolin@ipt.br](mailto:brazolin@ipt.br); [yojos@ipt.br](mailto:yojos@ipt.br)

<sup>2</sup>Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo - Av. Pádua Dias, 11 - Piracicaba, SP - 13418-900 - E-mail: [mtomazel@esalq.usp.br](mailto:mtomazel@esalq.usp.br)

<sup>3</sup>Graduando em Ciências Biológicas da Universidade de São Paulo. Cidade Universitária - E-mail: [mario.albino.neto@usp.br](mailto:mario.albino.neto@usp.br)

<sup>4</sup>Doutorando em Recursos Florestais do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo - Av. Pádua Dias, 11 - Piracicaba, SP - 13418-900 - E-mail: [mpchagas@esalq.usp.br](mailto:mpchagas@esalq.usp.br); [vmoutinho@esalq.usp.br](mailto:vmoutinho@esalq.usp.br)

raiz, das intervenções nos passeios públicos, da poluição ambiental, no crescimento e desenvolvimento das árvores, sobretudo na indução de injúrias e sobrevivência. Complementarmente, os resultados dos inventários são utilizados na estratégia de manejo e de supressão de árvores severamente afetadas, como atividade preventiva de ocorrência de acidentes principalmente pela queda das árvores em dias de chuva e fortes ventos (BRAZOLIN, 2009).

De acordo com os resultados do diagnóstico fitossanitário de cerca de 1.109 árvores de tipuana (*Tipuana tipu*) na cidade de São Paulo, realizado por Brazolin (2009) constatou-se que 338 árvores (30,5 %) apresentaram sintomas de apodrecimento do lenho causados por fungos xilófagos e 307 árvores (27,7 %) infestadas por cupins xilófagos, com predominância de *Coptotermes gestroi* (em 119 árvores). O comprometimento da sanidade de significativa porcentagem das árvores de tipuana deve-se ao manejo inadequado (principalmente as podas) causando injúrias e proporcionando a colonização e deterioração do seu lenho. Mais recentemente, Brazolin *et al.*, (2010) reportaram uma associação entre a presença externa de fungos apodrecedores e de cupins subterrâneos, indicando a interação entre estes organismos no processo de biodeterioração do lenho das árvores de tipuana.

A avaliação externa da fitossanidade das árvores de tipuana deve ser complementada com as análises laboratoriais do lenho sadio e os diferentes estágios de biodeterioração por fungos e insetos quanto as suas características macroscópicas e variações de massa específica aparente por densitometria de raios X e por gravimetria (AMARAL; TOMAZELLO-FILHO, 1998; TOMAZELLO-FILHO *et al.*, 2008). Os resultados dessas análises laboratoriais permitem o melhor entendimento dos processos de alteração do lenho

das árvores de tipuana nos passeios públicos e a aplicação de práticas de manejo sustentado e de baixo impacto nas árvores urbanas.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de levantamento e seleção da espécie para estudo

O levantamento foi realizado em sete regiões da área urbana da cidade de São Paulo (Cerqueira César, Pacaembu-Sumaré, Alto de Pinheiros, Alto da Lapa, Vila Nova Conceição-Pompéia, Paraíso e Alto da Boa Vista) indicadas pela Secretaria do Verde e do Meio Ambiente, pela ocorrência de árvores longevas (ROMAGNANO, 2004). Das espécies arbóreas das sete regiões foram selecionadas as árvores de tipuana, considerando a elevada frequência, idade avançada, sintomas de deterioração do lenho e visualização de organismos xilófagos no tronco (IPT, 2004; BRAZOLIN *et al.*, 2006).

### Amostragem do lenho das árvores de tipuana

Treze árvores de tipuana suprimidas pela Prefeitura Municipal de São Paulo (PMSP) e pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), no período de 2005 a 2008, foram utilizadas na caracterização macroscópica, na susceptibilidade e avaliação da massa específica do lenho afetado por organismos xilófagos (Tabela 1). De cada árvore foi cortado um torete na base do tronco, com até 1 m de altura e com diâmetros variados (Tabela 2). Os toretes foram mantidos no Laboratório de Preservação de Madeira e Biodeterioração de Materiais (LPB) do IPT, sendo aplicada na sua superfície uma solução de ácido bórico 3%, para evitar o desenvolvimento de fungos emolboradores e manchadores.

**Tabela 1.** Caracterização de árvores de tipuana utilizadas no estudo, São Paulo-SP.  
**Table 1.** Tipuana trees selected for wood biodegradation process characterization.

Árvore	Endereço/região	Data do corte	Procedimento de corte
A	Rua Pombal, 198, Sumaré	11/08/2005	supressão programada
B	Rua Pombal, 97, Lapa	11/08/2005	supressão programada
C	Praça John Lennon, s/n, Lapa	08/08/2006	queda de árvore
D	Rua Valença, 169, Sumaré	22/09/2006	supressão programada
E	Av. Mercedes, 830, Lapa	09/02/2007	queda de árvore
F	Av. Pompéia, s/n, Pompéia	26/02/2007	queda de árvore
G	Rua Traipu, s/n, Lapa	22/07/2007	queda de árvore
H	Rua Petrópolis, 179, Sumaré	14/09/2007	supressão programada
J	Rua Bartira, 351, Pompéia	06/10/2007	supressão programada
K	Subprefeitura da Lapa, s/n	2007	-
L	Subprefeitura da Lapa, s/n	2007	-
X	Campus do IPT	03/08/2008	supressão programada
Y	Campus do IPT	03/08/2008	supressão programada

## Avaliação da biodeterioração do lenho

### Análise macroscópica do lenho afetado

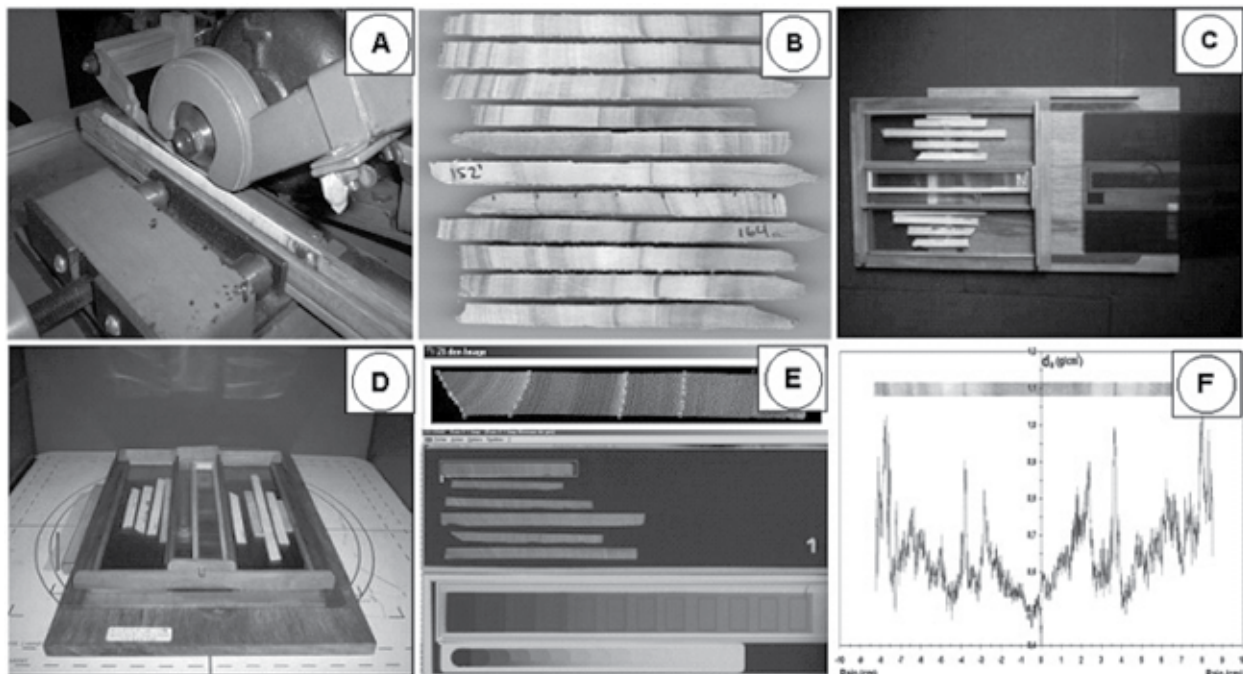
Na base de cada torete do lenho foi demarcada e cortada uma seção transversal com 5 cm de espessura, cuja superfície foi polida em uma série de lixas (80-600 grãos/cm<sup>2</sup>) e analisada com auxílio de uma lupa (10x) para a delimitação do cerne e albarno e demarcação da área afetada pelos fungos apodrecedores, cupins subterrâneos e brocas de madeira. Da mesma forma, foi caracterizado o tipo de apodrecimento do lenho e o mecanismo de resistência (zonas de reação com descoloração e compartimentalização do tecido evitando a colonização do lenho sadio) (SHIGO, 1979, 1983). As espécies de cupim subterrâneo e de broca de madeira foram identificadas no LPB, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (LELIS *et al.*, 2001; COSTA-LEONARDO, 2002).

### Determinação da massa específica aparente

No estudo foram utilizados dois métodos de determinação da massa específica aparente, sendo:

a) **Densitometria de raios X:** das amostras do lenho das árvores de tipuana foram cortadas

sub-amostras (20x10 mm, altura e espessura), fixadas em suporte de madeira e cortadas seções transversais (1x10 mm, espessura e altura) em aparelho de dupla serra circular. As amostras do lenho cortadas foram, em seguida, acondicionadas em sala climatizada (12h; 20°C; 50%UR) atingindo 12% umidade. Em seguida, foram dispostas sobre filmes de raios X e radiografadas utilizando-se do equipamento de raios X-Hewlett Packard, Faxitron 43805 N. As radiografias foram reveladas e através de scanner foram geradas imagens digitais com resolução de 1000 dpi, gravadas no sistema BMP e analisadas nos programas CRAD e CERD, obtendo-se os perfis densitométricos das amostras radiais do lenho (Figura 1). Os perfis densitométricos do lenho das árvores de tipuana permitem determinar os valores médios de densidade de massa aparente do lenho nas regiões sadias e afetadas por organismos xilófagos (AMARAL; TOMAZELLO-FILHO, 1998; TOMAZELLO-FILHO *et al.*, 2008). Através dos perfis radiais de massa específica aparente do lenho foram classificados sete padrões de biodegradação do lenho das árvores, de acordo com Brazolin *et al.* (2010).



**Figura 1.** Método de raios X e a obtenção das imagens radiográficas do lenho das árvores de tipuana. A: corte das amostras em equipamento de dupla serra; B: seções transversais das amostras; C: suporte com as amostras sobre o filme radiográfico; D: irradiação das amostras em equipamento de raios X; E: imagem radiográfica e sua análise nos programas CRAD e CERD e F: perfil da massa específica aparente e respectiva amostra do lenho. Fonte: Tomazello-Filho *et al.* (2008).

**Figure 1.** X-ray methodology and tipuana wood radiographs: A: cutting wood samples within double parallel circular saws; B: wood cross-sections; C: support and wood samples on radiographic film; D: irradiation of the wood samples in X-ray equipment; (e) wood radiographic image and analysis in CRAD and CERD programs and F: double-radial wood specific gravity profile and respective wood cross section. Source: Tomazello-Filho *et al.* (2008).

**b) Gravimetria:** os corpos-de-prova do lenho (5 x 5 x 75 mm) das árvores de tipuana contendo diferentes padrões de lenho sadio e biodeteriorado, foram cortados em sequência, no sentido radial, no mesmo alinhamento das amostras utilizadas para a densitometria de raios X. Os corpos de prova do lenho foram climatizados (5 dias; 20°C; 70%) até 15 % de teor de umidade, obtido pela norma ASTM-D-4442 (ASTM, 2003), determinando-se, em seguida, sua massa e volume, sendo este pelo método por deslocamento com imersão em mercúrio (equação 1).

$$D = M / V \quad (1)$$

Onde:  $D$  = massa específica aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $M$  = massa do corpo de prova (g);  $V$  = volume do corpo de prova ( $\text{cm}^3$ ).

### Análise estatística

A análise de variância de Kruskal-Wallis foi utilizada para análise da massa específica aparente do lenho sadio e afetado por fungos apodrecedores, cupins subterrâneos e brocas de madeira, sendo o teste de Mann-Whitney para a comparação das médias, adotando-se o nível de significância de 5 %. Para a avaliação dos valores de massa específica aparente do lenho obtidos pela densitometria de raios X e gravimetria foi utilizada a análise de regressão.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Exame macroscópico do lenho sadio e biodeteriorado

O exame macroscópico do lenho dos toretes das 13 árvores de tipuana (Tabela 2) indica cerne e o alburno indistintos, observando-se regiões de contorno irregular e com acúmulo de substância amarelada (extrativos) em 9 amostras.

O grau de biodeterioração do lenho é elevado ( $34 \pm 27\%$ ) em relação à área transversal do tronco, com o cerne afetado por organismos xilófagos (fungos apodrecedores, cupins e brocas de madeira) e com o lenho adulto, externo, evidenciando mecanismos de resistência, descritos a seguir:

O apodrecimento do cerne por fungos de podridão branca foi observado em 11 (85%) árvores de tipuana, constituindo-se em principal causa da deterioração e de problemas estruturais das árvores, conforme destacam Rayner e Boddy (1988). O apodrecimento do alburno foi relacionado às injúrias e detectado em apenas duas árvores D e F (15%), inferindo-se que o apodrecimento do cerne das árvores originou-se no interior do tronco sem associação com as injúrias na sua região externa.

A infestação de cupins subterrâneos no cerne foi verificada em 10 árvores (91%) de tipuana, pela presença de oco interno e/ou vestígios de túneis no tronco, conforme descrição de Juttner (1997), Fontes (1998) e Coli e Costa-Leonardo (1999), identificando-se *Coptotermes gestroi* (Rhinotermitidae) no lenho das árvores C e J. Como o ataque dos cupins subterrâneos foi observado somente na região do cerne apodrecido, pode-se inferir a existência de uma associação entre estes insetos e os fungos apodrecedores, conforme enfatizam Brazolin *et al.* (2009).

A incidência de brocas de madeira foi observada no lenho apodrecido de oito (61%) árvores, caracterizada pelas galerias escurecidas e indicativas do besouro de ambrosia (família Scolytidae e/ou Platypodidae).

O mecanismo de resistência foi caracterizado pela formação de linhas escuras avermelhadas, denominadas de linhas de compartimentalização delimitando o lenho sadio do

**Tabela 2.** Caracterização do lenho das árvores de tipuana: (+) presença; (-) ausência da característica.

**Table 2.** Wood characterization of tipuana trees (+) presence ; (-) absence of the characteristic.

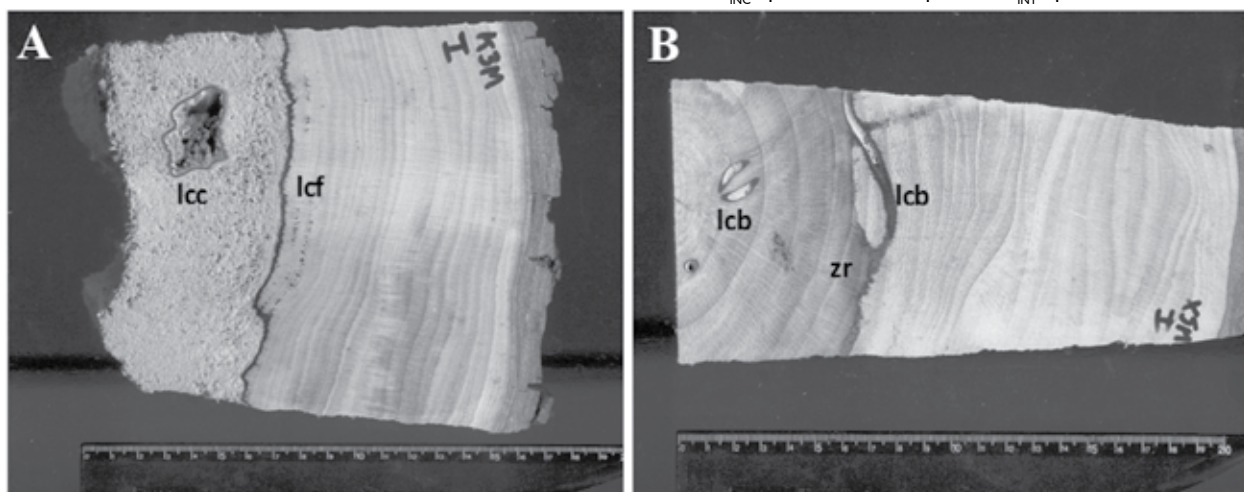
Parâmetros de descrição das amostras	Árvore de tipuana													
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	X	Y	
Diâmetro do torete (m)	0,60	0,60	0,67	0,66	0,89	0,63	0,95	1,25	0,83	0,73	0,82	0,58	0,42	
Deterioração interna (%)	27	30	100	65	16	32	33	21	36	28	54	0	0	
Árvore viva / exsudação de seiva	(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	
Cerne com acúmulo de extrativos	(-)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	
Oco interno	(-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	
Apodrecimento do cerne	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	
Apodrecimento do alburno / injúria	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	
Ataque de cupim-subterrâneo	(-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	
Ataque de broca-de-madeira	(+)	(+)	(-)	(+)	(-)	(-)	(+)	(-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	
Associação fungo e cupim	(-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	
Zona de reação (compartimentalização)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)	
Linhas escuras (compartimentalização)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	

biodeteriorado por fungos, cupins subterrâneos e brocas de madeira. Regiões mais escuras e avermelhadas no lenho, denominadas de zonas de reação foram, observadas em três amostras (23%) do lenho separando, da mesma forma, o lenho sadio do biodeteriorado. A literatura referente aos mecanismos de resistência do lenho é vasta, com destaque para os trabalhos de Shigo e Hillis (1973), Manion e Zabel (1978), Shigo (1979, 1983, 1984) e Eaton e Hale (1993) que discutem a reação e processos anatômicos-bioquímicos das árvores para compartimentalizar ou reduzir o desenvolvimento dos organismos xilófagos.

A seção transversal de duas amostras do lenho das árvores de tipuana (Figura 2) evidencia a formação de linhas de compartimentalização que delimitam a área afetada pelo fungo de podridão branca (lcf), pelo cupim subterrâneo (lcc), túnel formado por broca de madeira e zona de reação (zr).

### Massa específica aparente do lenho por densitometria de raios X e por gravimetria

Os perfis radiais de massa específica aparente do lenho das árvores de tipuana, obtidos por densitometria de raios X (Figura 3) associados às alterações da estrutura macroscópica do lenho, permitem classificar sete padrões de biodeterioração, (i) normal e sadio (NS), (ii) com acúmulo de extrativos e sadio (EXS), (iii) com zona de reação e sadio (ZR), (iv) com podridão branca incipiente (PB<sub>INC</sub>), (v) com podridão branca intensa (PB<sub>INT</sub>), (vi) com podridão mole incipiente (PM<sub>INC</sub>) e (vii) com podridão mole intensa (PM<sub>INT</sub>).



**Figura 2.** Secção transversal o lenho de árvores de tipuana com linhas de compartimentalização delimitando a área com fungo de podridão branca (lcf), cupim subterrâneo (lcc), túnel de broca de madeira (lcb) e zonas de reação (zr). (A,B)

**Figure 2.** Wood cross section of tipuana trees showing the compartmentalization lines delimiting the area of white rot fungi attack (lcf), subterranean termite (lcc), tunnel wood borer (lcb), and the reaction zones (zr). (A,B)

Os valores médios de massa específica aparente do lenho nos vários padrões de biodeterioração, determinados pelos métodos de densitometria de raios X e gravimétrico, mostraram diferenças significativas (Tabela 3), a saber: (i) o lenho sadio (NS, EXS, ZR) diferiu do lenho com podridão branca ou mole no estágio incipiente e intenso; (ii) o lenho extrativo/sadio (EXS) de maior valor médio, diferiu do lenho normal/sadio (NS) e do lenho com zona de reação (ZR), este último pode ser considerado um padrão intermediário; (iii) o decaimento da massa específica aparente do lenho causado pelos fungos de podridão branca e mole foi notado, diferindo

**Tabela 3.** Massa específica aparente média do lenho das árvores de tipuana, nos diferentes níveis de biodegradação, através do método de densitometria de raios X e gravimétrico.

**Table 3.** Mean wood specific gravity of tipuana trees at different levels of biodegradation, using X-ray densitometry and gravimetric methods.

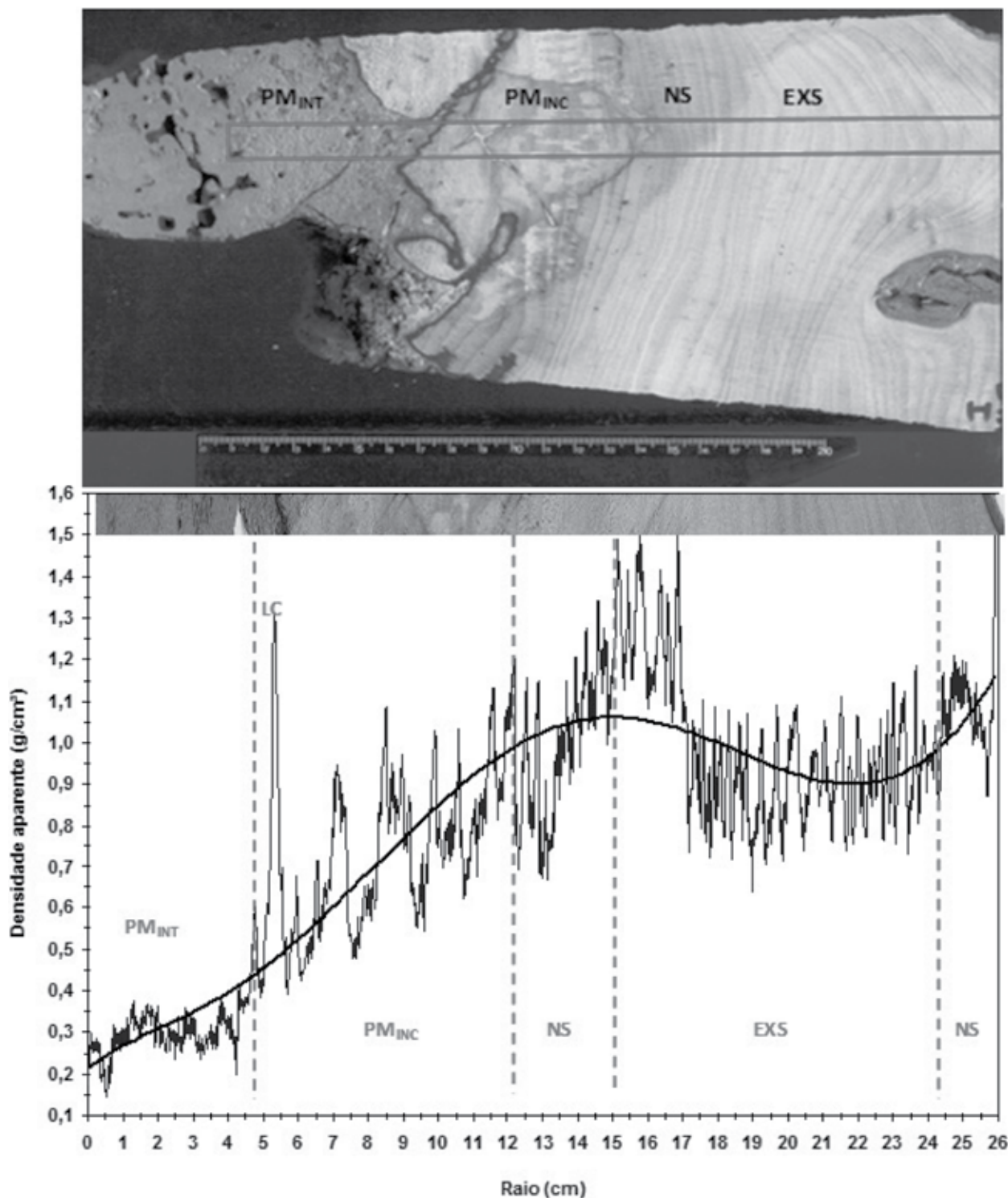
Padrão de biodeterioração do lenho	Densidade de massa aparente do lenho (g/cm <sup>3</sup> )	
	Densitometria de raios X (*)	Imersão em mercúrio (**)
EXS	0,945 ± 0,161 a	0,675 ± 0,049 a
ZR	0,920 ± 0,150 ab	0,651 ± 0,062 a
NS	0,818 ± 0,085 b	0,601 ± 0,091 b
PB <sub>INC</sub>	0,659 ± 0,079 c	0,510 ± 0,049 c
PM <sub>INC</sub>	0,668 ± 0,040 c	(***)
PB <sub>INT</sub>	0,413 ± 0,089 d	0,407 ± 0,089 d
PM <sub>INT</sub>	0,442 ± 0,126 d	0,300 ± 0,062 e

\*) - Kruskal-Wallis:  $\chi^2 = 58,26$ ;  $p < 0,05$ ; letras diferentes são estatisticamente significantes. (\*\*\*) - Kruskal-Wallis:  $\chi^2 = 106,12$ ;  $p < 0,05$ ; letras diferentes são estatisticamente significantes. (\*\*\*) - Corpos-de-prova não obtidos, devido à irregularidade da forma e tamanho. EXS - lenho com acúmulo de extrativos/sadio; ZR - zona de reação; NS - lenho normal/sadio; PB<sub>INC</sub> - podridão branca incipiente; PB<sub>INT</sub> - podridão branca intensa; PM<sub>INC</sub> - podridão mole incipiente; PM<sub>INT</sub> - podridão mole intensa.

entre si os lenhos com ataque incipiente (PBINC e PMINC) e intenso (PBINT e PMINT); (iv) para cada estágio de apodrecimento do lenho o ataque de fungos de podridão mole e branca não diferiu significativamente pela técnica de densitometria de raios X, sendo que pela técnica gravimétrica foi significativa para a podridão branca. O valor referencial de massa específica aparente

do lenho é de  $0,63 \text{ g/cm}^3$  (MAINIERI e CHIMELLO, 1989), corroborando os valores do lenho sadio (NS, EXS, ZR) pelo método de gravimetria.

O valor médio da massa específica aparente do lenho por densitometria de raios X diferiu de  $32,4 \pm 6,6 \%$  em relação ao gravimétrico. Essa diferença, também constatada por Bucur *et al.* (1997), é devida às especificidades de cada método, conside-



**Figura 3.** Secção transversal do lenho de árvore de tipuana e perfil radial de massa específica aparente do lenho. Regiões de lenho normal/sadio (NS) com extrativo e sadio (EXS); podridão mole incipiente (PMINC); podridão mole intensa (PMINT) e; setas indicando a linha de compartimentalização (LC).

**Figure 3.** Wood cross section of tipuana tree and radial apparent specific mass profile. Regions of normal/healthy wood (NS) with extractive and healthy (EXS), incipient soft rot (PMINC); intense soft rot (PMINT); and arrows indicating the compartmentalization lines (LC).

rando as dimensões e características das amostras do lenho. Na densitometria de raios X as amostras do lenho têm uma espessura delgada e constante (2 mm) com valores de massa específica expressando pontual e linearmente as diferenças do lenho sadio e biodeteriorado ao nível das células e tecidos (leituras a cada 25-50 µm); enquanto que no método gravimétrico as amostras do lenho são longas (75 mm) e heterogêneas no sentido longitudinal (quanto a anatomia e % de tecidos sadios a afetados) com a massa específica representada por um volume de 1.875 mm<sup>3</sup> de lenho.

Apesar das diferenças, as variações de massa específica em diferentes estágios de deterioração e lenhos podem ser expressas por um modelo linear (Figura 4) com coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) de 0,74 e correlação positiva (equação 2). Portanto, os valores reais de densidade aparente do lenho podem ser obtidos por meio de densitometria de raios X e estimar a maioria das suas propriedades físicas e mecânicas (HUMPHREYS; CHIMELO, 1992; BODIG; JAYNE, 1992; DIAS; LAHR, 2004).

$$y = 0,5168x + 0,1653 \quad (2)$$

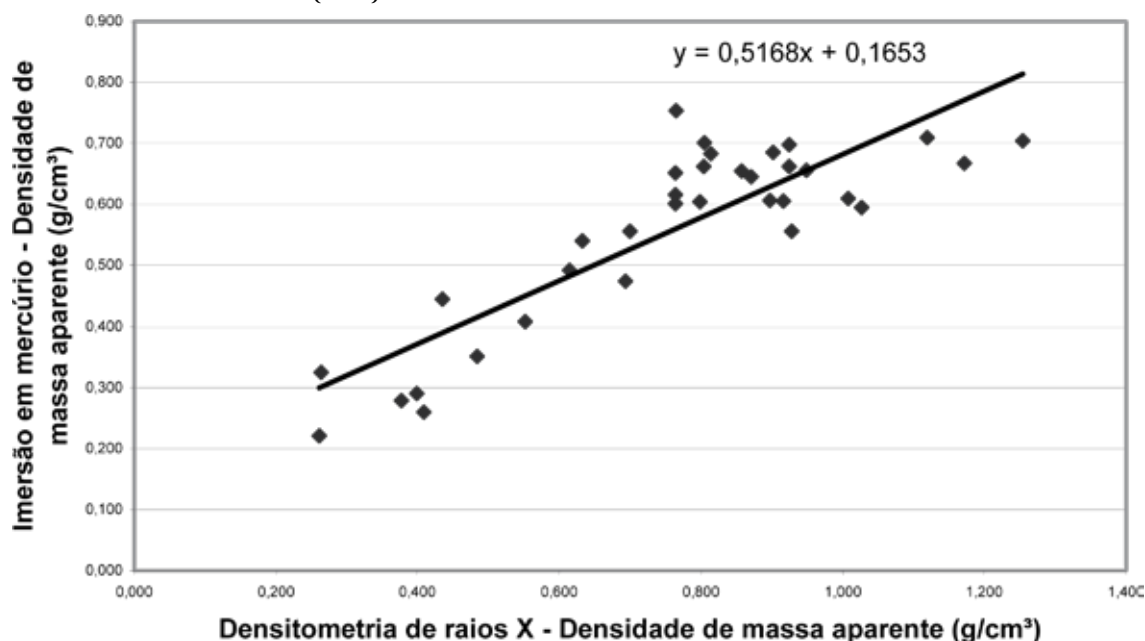
Onde: y = massa específica aparente do lenho de árvore de tipuana; x = densidade de massa aparente do lenho de árvore de tipuana obtida pelo método de densitometria de raios X.

No entanto, além das alterações na composição química do lenho das árvores de tipuana afetadas por fungos de podridão branca e a interação com os cupins, destaca-se a massa específica aparente como parâmetro físico de importância, com valores de 0,68, 0,60 e 0,41-0,51 g/cm<sup>3</sup> para o cerne sadio+ extrativo (EXS), cerne normal

(NS) e com podridão branca (APO), respectivamente (Tabela 3, método gravimétrico). Mainieri e Chimelo (1989) indicam para o lenho de árvores de tipuana o valor de 0,63 g/cm<sup>3</sup> de massa específica aparente do lenho. Os menores valores de massa específica aparente do lenho das árvores afetado por fungos induzem uma redução da sua resistência e um ataque seletivo dos cupins subterrâneos. As alterações da estrutura anatômica do lenho das árvores de tipuana resultantes da biodeterioração pelos fungos de podridão branca devem ser analisadas, da mesma forma, em relação à composição química e susceptibilidade ao ataque de cupins subterrâneos.

## CONCLUSÕES

Os resultados do presente trabalho permitem concluir que o exame macroscópico do lenho das árvores de tipuana indicou o ataque de fungos xilófagos, cupim subterrâneo e broca de madeira, além de linhas de compartimentalização e zonas de reação características de mecanismo de resistência. Os perfis radiais de massa específica aparente do lenho, por densitometria de raios X, definiram sete padrões de biodeterioração, do normal e sadio ao lenho com apodrecimento intenso, associados às alterações da estrutura macroscópica. A determinação da massa específica aparente do lenho por densitometria de raios X e gravimétrico mostrou diferença significativa. A técnica de densitometria de raios X constitui-se em importante ferramenta na avaliação e discriminação do estado de sanidade do lenho de árvores utilizadas na arborização urbana.



**Figura 4.** Variação da massa específica aparente obtidas pelos métodos de densitometria de raios X e gravimétrico.  
**Figure 4.** Variation in specific gravity obtained by X-ray densitometry and gravimetric methods.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, A.C.B.; TOMAZELLO FILHO, M. Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus taeda* pela técnica de microdensitometria de raios X. *Revista Ciência e Tecnologia*, Piracicaba, v.6, n.11/12, p.17-23, 1998.
- AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS. *Annual Book of ASTM Standards ASTM-D-4442*. Philadelphia, 2003, v.04.10, 6p.
- BODIG, J.; JAYNE, B.A. *Mechanics of wood and wood composites*. 2ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 721p.
- BRAZOLIN, S. *Biodeterioração, anatomia do lenho e análise de risco de queda de árvores de tipuana, Tipuana tipu (Benth.) O. Kuntze, nos passeios públicos da cidade de São Paulo, SP*. Piracicaba, 2009. 267p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- BRAZOLIN, S.; AMARAL, R.D.A.M.; TOMAZELLO-FILHO, M. Ocorrência de organismos xilófagos em árvores de *Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze da cidade de São Paulo, SP. In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, 4., 2006, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: ESALQ, 2006. 1 CD-ROM.
- BRAZOLIN, S.; TOMAZELLO-FILHO, M.; AMARAL, R.D.A.M.; OLIVEIRA-NETO, M.A. Associação entre fungos apodrecedores e cupins subterrâneos no processo de biodeterioração do lenho de árvores de *Tipuana tipu*, na cidade de São Paulo, SP. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v.38, n. 86, p.215-224, 2010.
- BUCUR, V.; GARROS, S.; NAVARRETE, A.; TROYA, T.; GUYONET, R. Kinetics of wood degradation by fungi with X-ray microdensitometric technique. *Wood Science and Technology*, Reading, v.31, p.383-389, 1997.
- COLI, F.O.; COSTA-LEONARDO, A.M. Infestação de árvores urbanas pelo cupim *Coptotermes havilandi* na região oeste da cidade de Rio Claro. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 9., 1999, Rio Claro. *Resumos...* Rio Claro: UNESP, 1999. p.23.
- COSTA-LEONARDO, A.M. *Cupins-praga: morfologia, biologia e controle*. Rio Claro: Edifurb, 2002. 128p.
- DIAS, F.M.; LAHR, F.A.R. Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n.63, p.102-113, 2004.
- EATON, R.A.; HALE, M.D.C. *Wood: decay, pests and protection*. London: Chapman & Hall, 1993. 546 p.
- FONTES, L.R. Considerações sobre a complexidade da interação entre o cupim subterrâneo, *Coptotermes havilandi*, e a arborização no ambiente urbano. In: FONTES, L.R.; BERTI FILHO, E. *Cupins: o desafio do conhecimento*. Piracicaba: FEALQ, 1998. p.109-124.
- HUMPHREYS, R.D.; CHIMELO, J.P. Comparação entre propriedades físicas, mecânicas e estereológicas para agrupamento de madeiras. In: CONGRESSO NACIONAL DE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., 1992, São Paulo. *Anais...* São Paulo: Instituto Florestal, 1992. p.480-490.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Relatório técnico do diagnóstico e análise de risco de queda das árvores de vias públicas da cidade de São Paulo: Projeto Operação Árvore Saudável*. São Paulo: IPT, Divisão de Produtos Florestais, 2004. v.1, 45 p.
- JUTTNER, A.S. Formosan termites in trees, part II. *Arborage*, p.36-40, 1997. Disponível em: <<http://www.arborage.com>>. Acesso em: 18 jul. 2006.
- LELIS, A.T.; BRAZOLIN, S.; FERNANDES, J.L.G.; LOPEZ, G.A.C.; MONTEIRO, M.B.B.; ZENID, G.J. *Manual de biodeterioração de madeiras em edificações*. São Paulo: IPT, 2001. 54p.
- MAINIERI, C.; CHIMELO, J.P. *Fichas das características das madeiras brasileiras*. São Paulo: IPT, 1989. 432p.
- MANION, P.D.; ZABEL, R.A. Stem decay perspectives - an introduction in the mechanisms of tree defense and decay patterns. *Phytopathology*, St. Paul, v.69, n.10, p.1135-1138, 1978.



- RAYNER, A.D.M.; BODDY, L. (Ed.). **Fungal decomposition of wood: its biology and ecology**. Chichester: John Willey, 1988. 587p.
- ROMAGNANO, L.F.T.D. **Instrumentos de gestão ambiental integrada: diretrizes para o controle de cupins-subterrâneos em ambientes construídos**. 2004. 126p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2004.
- SHIGO, A.L. **Tree decay: an expanded concept**. Washington: USDA, Agriculture Forest Service, 1979. 72p. (Information Bulletin, 419).
- SHIGO, A.L. **Trees defects: a photo guide**. 1983. 167p. Disponível em: <<http://www.chesco.com/~treeman/hardtoget/ntb168>>. Acesso em: 08 maio 2006.
- SHIGO, A.L. Compartmentalization: a conceptual framework for understanding how trees grow and defend themselves. **Annual Review of Phytopathology**, St. Paul, v.22, p.189-214, 1984.
- SHIGO, L.A.; HILLIS, W.E. Heartwood, discolored wood, and microorganisms in living trees. **Annual Review of Phytopathology**, St. Paul, v.11, p.197-222, 1973.
- TOMAZELLO FILHO, M.; BRAZOLIN, S.; CHAGAS, M.P.; OLIVEIRA, J.T.S.; BALLARIN, A.W.; BENJAMIN, C.A. Application of X-ray technique in nondestructive evaluation of eucalypt wood. **Maderas, Ciencia y Tecnologia**, Concepción, v.10, n.2, p.139-149, 2008.

Recebido em 19/11/2010

Aceito para publicação em 29/06/2011

