

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS

**Densidade básica e velocidade de propagação de
ondas tomográficas em árvores: uma relação
interessante**

FLÁVIO HENRIQUE MENDES

Nº USP: 6920592

EMAIL: FRIQUEMENDES@USP.BR

0112000 - Trabalho de Conclusão de Curso
em Engenharia Florestal,
sob orientação do professor
Dr. Demóstenes Ferreira da Silva Filho

PIRACICABA

Dezembro / 2013

SUMÁRIO

1. Resumo	3
2. Introdução	3
3. Objetivo	6
4. Materiais e Métodos	6
5. Resultados e Discussão	8
6. Conclusão	15
7. Referências Bibliográficas	16

1. Resumo

A presente pesquisa buscou correlacionar a densidade básica da madeira com a velocidade de propagação de ondas, por meio da aplicação da “tomografia de impulso”. Baseado no tempo de emissão de ondas e no tempo de espera pela resposta, foi possível analisar tecidos normais, de tensão ou de compressão, visto que a velocidade do som é superior em meio sólido, seguido do meio aquoso e do ar.

É de extrema importância que as árvores possuam desejável sanidade, pois, embora propiciem benefícios, podem tornar-se riscos atuais ou potenciais com a respectiva queda e causar acidentes, seja afetando pertences ou as próprias pessoas. Então, a necessidade da investigação surgiu fundamentada na prevenção do risco de queda de árvores em meio urbano. Por ser uma metodologia não destrutiva, se comparada à análise de discos amostrais, e completa, em relação ao penetrômetro, ganhou ainda mais respaldo quanto ao seu uso.

Foram analisadas 27 espécies arbóreas em Piracicaba, *campus* ESALQ / USP, e elaborada uma regressão, de modo que, sabendo a densidade básica de uma espécie, torna-se possível pressupor qual será a velocidade média da onda tomográfica e realizar comparações com futuras medições, para que verifique se certa árvore apresenta riscos de queda. A análise estatística dos dados comprovou a eficiência do método da tomografia de impulso, principalmente para espécies com valores extremos na curva de regressão, sejam eles baixos ou elevados.

2. Introdução

Muitos são os benefícios sociais, econômicos e políticos da arborização urbana, tais como: estabilizar e melhorar o microclima, a paisagem estética das cidades, diminuir a poluição atmosférica e sonora (MILANO; DALCIN, 2000), reduzir o efeito da “ilha de calor” (ALCOFORADO, 1992), servir como barreira à canalização de ventos fortes (LOPES, 2003), capturar poluentes (FREER-SMITH et al., 2004) e proteger as superfícies urbanas da incidência direta da luz solar e do impacto da precipitação (McPHERSON; MUCHNICK, 2005).

Miller (1997) define floresta urbana como a soma de toda a vegetação lenhosa presente em aglomerados urbanos, incluindo desde pequenas comunidades rurais até as grandes áreas metropolitanas. Ao analisar a cobertura arbórea de uma região, pode-se verificar a estrutura da floresta, os espaços livres e o tipo do uso do solo, fatores esses utilizados em modelagens do terreno para ver os benefícios oriundos por tal floresta (NOWAK et al., 1996).

Para Milano (1988), são fundamentais inventários quantitativos e/ou qualitativos das árvores de arruamento para que se possam tomar decisões após o mapeamento, pois permite identificar a composição real da cobertura arbórea e índices de área verde.

Conforme Paiva (2000), é essencial ter bom planejamento antes da implantação do sistema arbóreo, ao escolher as espécies e avaliar o ritmo e as exigências para o crescimento, tipo de copa, folhagem, porte, flores e frutos, tronco, raízes, rusticidade, presença de desrama natural, possíveis problemas com toxidez e a origem delas, além das características da área em estudo, como largura da calçada, rede de infraestrutura, clima, solo e umidade.

Na prática, as árvores são expostas a vários esforços, sofrendo influência da tração, compressão, cisalhamento, flexão e torção e, para evitar a ruptura do tronco e raiz, compensam estes esforços criando tensões internas, ao modificar sua forma, tamanho e estrutura, denominado crescimento adaptado, de forma que impeçam seu tombamento (MATTHECK; BRELOER, 1997).

Em 1994, Mattheck e Breloer desenvolveram o método Visual Tree Assessment (VTA). Consiste na utilização de três ferramentas para análise interna do tronco: som de pancadas de martelo na árvore, penetrômetro e medidor de fraturas. Esse evento representou elevado progresso quanto à detecção de defeitos na madeira.

Pokorny (2003) destaca sete categorias de defeitos em árvores que são responsáveis pelas quedas: declínio, rachaduras, problemas de raízes, fraca junção de galhos, cancrios, má arquitetura e presença de madeira morta.

Visando à solução do problema de queda de árvores, um método não destrutivo viável desenvolvido pela Rinntech, empresa alemã, foi a tomografia de impulso, capaz de analisar a sanidade do lenho em árvores vivas. Fundamenta-se no princípio de cronometragem de ondas mecânicas e reconstrução de seções das árvores, para, em seguida, gerar uma imagem tomográfica, na qual o tempo do

percurso está intimamente correlacionado com a densidade do material, possibilitando comparações entre os valores obtidos (RINNTECH, 2005).

As primeiras pesquisas com ondas mecânicas para avaliação do interior das árvores lenhosas surgiram na década de 1980 (BUCUR, 1983), a fim de averiguar a constante elástica no incremento do lenho e comparações com densitometria de raios-x.

A densidade básica da madeira (dB, também conhecida como massa específica básica), é definida como a relação entre massa seca e o volume saturado (g/cm^3 ou kg/m^3), diminuindo gradativamente nos sentidos casca-medula (VALE et al., 2009) base-topo (PANSWIN; DE ZEEUW, 1980). Em outras palavras, é a resultante da interação das propriedades químicas e anatômicas da madeira, oriunda da diferença das dimensões celulares (PANSWIN; DE ZEEUW, 1980). É influenciada por diversos fatores, como: espessura da parede celular, quantidade de vasos, dimensões da fibra, teor de extrativos, origem da semente e condições do ambiente (FOELKEL et al., 1975; TOMAZELLO FILHO, 1985).

O cálculo da dB é feito fundamentado na fórmula proposta por Smith (1954):

$$DB = \frac{1}{\frac{P_{sat}}{P_{seco}} - 0,346} \quad (1)$$

Onde:

dB = densidade básica;

P_{sat} = peso da amostra saturada;

P_{seco} = peso da amostra completamente seca.

Nicolotti et al. (2003) concluíram, após comparação das lesões do fungo de *Ganoderma resinaceum* em árvores de *Platanus hybrida*, que podem ser utilizados diferentes tipos de energia na tomografia, a fim de fornecer informações sobre a madeira, como ondas de ultrassom, campo elétrico e ondas eletromagnéticas, raios γ e raios X.

Gilbert e Smiley (2004) usufruíram da tomografia de impulso em *Quercus alba* e *Carya* spp., analisaram quantita e qualitativamente a sanidade das árvores

estudadas e destacaram a metodologia utilizada como um avanço em relação ao penetrômetro, visto que é possível análise completa da seção transversal.

Martinis et al. (2004) compararam a tomografia por ultrassom com análises oriundas do resistógrafo em *Fagus sylvatica*, para a detecção da podridão branca e também comprovaram a eficiência da tomografia.

Rollo (2009), em sua dissertação de mestrado, aplicou a tomografia de impulso em 39 tipuanas adultas (*Tipuana tipu*) e obteve resultados satisfatórios, com elevado grau de precisão e recomendou o uso como complemento à avaliação visual de árvores.

Silva Filho et al. (2002) afirmou que no Brasil, atualmente, as avaliações qualitativas são apenas visuais nos inventários e cadastro, necessitando de incrementos da tecnologia, como a tomografia.

Portanto, fica notória a importância da tomografia em estudos relacionados às árvores, sendo uma tecnologia nova que está difundindo-se pelo mundo.

3. Objetivo

O objetivo da pesquisa consistiu em analisar a correlação entre a densidade básica de árvores com a velocidade de propagação da onda do tomógrafo de impulso, ao buscar a validação da teoria da tomografia de impulsão.

4. Materiais e Métodos

A tomografia das 27 árvores foi desenvolvida no *campus* da ESALQ, em Piracicaba, coordenadas geográficas -22°43' e -47°38' (figura 1), cujo clima, segundo a classificação de Köppen, é Cwa (tropical de altitude), à elevação de 554 m em relação ao nível do mar, precipitação anual média de 1328 mm e temperaturas anuais mínima média de 14,8°C e máxima média de 28,2°C (CEPAGRI).



Figura 1: delimitação da área de estudo e localização das 27 árvores tomografadas. A tabela das análises correspondentes encontra-se na página 12. Fonte: adaptado do Google Earth.

Quanto à preparação dos materiais para a execução, foi necessário um mapa com a localização geográfica das árvores na ESALQ, o aparelho tomógrafo de impulso e um tablet, devido à facilidade em trabalhos de campo, o qual foi acoplado à porta USB do tomógrafo, a fim de registrar o comportamento das ondas por meio do software embarcado Arbotom[®], para posterior análise em escritório.

O aparelho tomógrafo de impulso detém 12 sensores, dos quais pelo menos 8 são fixados a pinos presos no caule que circundam transversalmente o tronco da árvore. Assim, com um leve toque do martelo em cada um dos pregos, transpassados a casca, é suficiente para a propagação da onda no interior e a respectiva conexão com os demais sensores de coleta de informações do tronco e, conforme a resistência mecânica altera-se, o tempo total do percurso da onda para chegar aos demais sensores muda. É recomendado dar preferência aos exemplares adultos, com circunferência da base relativamente grande para instalação dos sensores (pelo menos 1,20 m de circunferência) e, conforme visto na introdução, não haver tanta variação da densidade básica da madeira dentro do próprio indivíduo, o que poderia enviesar os dados. Detalhe: os valores do Arbotom não são explicados por ele mesmo e devem ser interpretados por um responsável com satisfatório grau de conhecimento da área.

Os valores das densidades básicas das espécies arbóreas estudadas foram extraídos de fontes confiáveis, como: Serviço Florestal Brasileiro (SFB), Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Florestas), Food and Agriculture Organization (FAO) e o livro “Árvores Brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil”, de Harri Lorenzi (1992).

Para a parte de escritório, o software visualizador foi o próprio Arbotom, cabendo a ele processar os dados e convertê-los em mapas temáticos sobre a situação atual da seção transversal analisada. Ele ainda permite a exportação dos valores das velocidades (m/s) em formato texto, possibilitando a transferência para o Excel realizar o processamento de dados estatísticos. O manual do Arbotom recomenda que, para elevar a confiança nos dados, a velocidade obtida entre cada sensor deve ser $<10\%$ do desvio padrão.

Então, após a realização das 27 tomografias das árvores, foram correlacionadas as variáveis de estudo, dB e velocidade de propagação da onda e analisados os resultados.

5. Resultados e Discussão

O esquema do processo de tomografia, tal como sua instalação e o respectivo mapa temático originado, pode ser visualizado nas figuras 2, 3, 4 e 5:

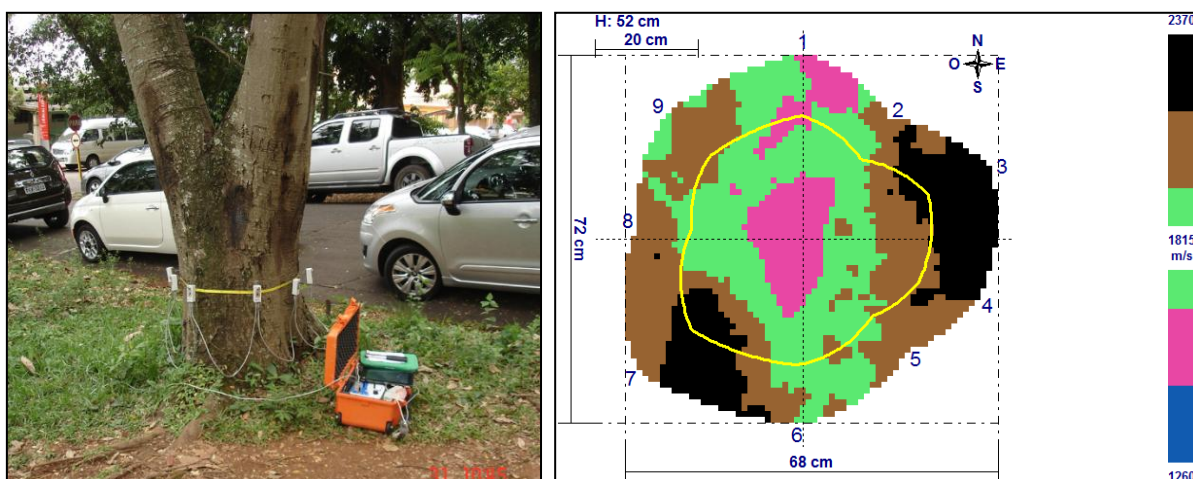


Figura 2: cabreúva (*Myrcarpus frondosus*) sendo tomografada.

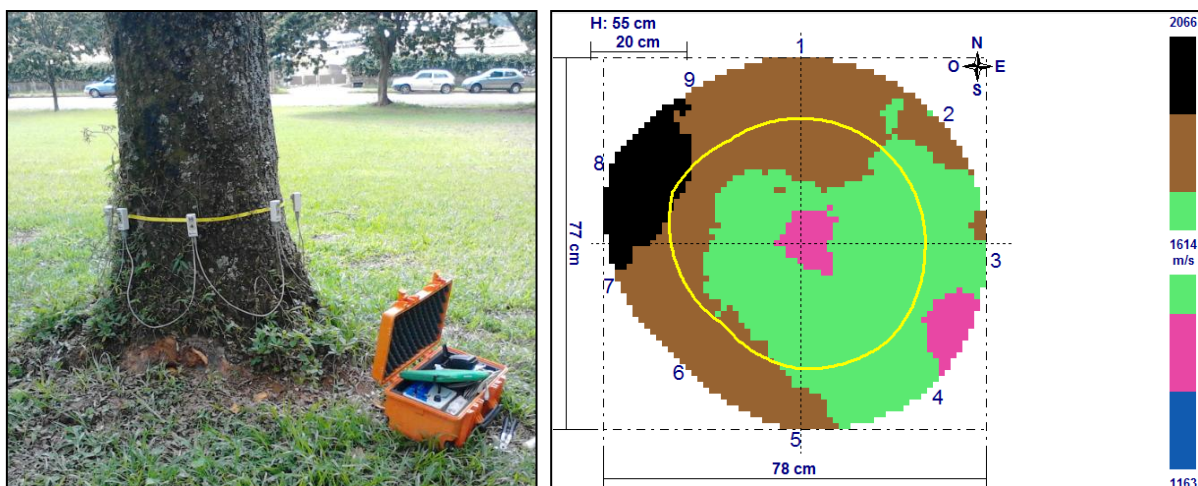


Figura 3: tomografia em jequitibá-rosa (*Cariniana legalis*).

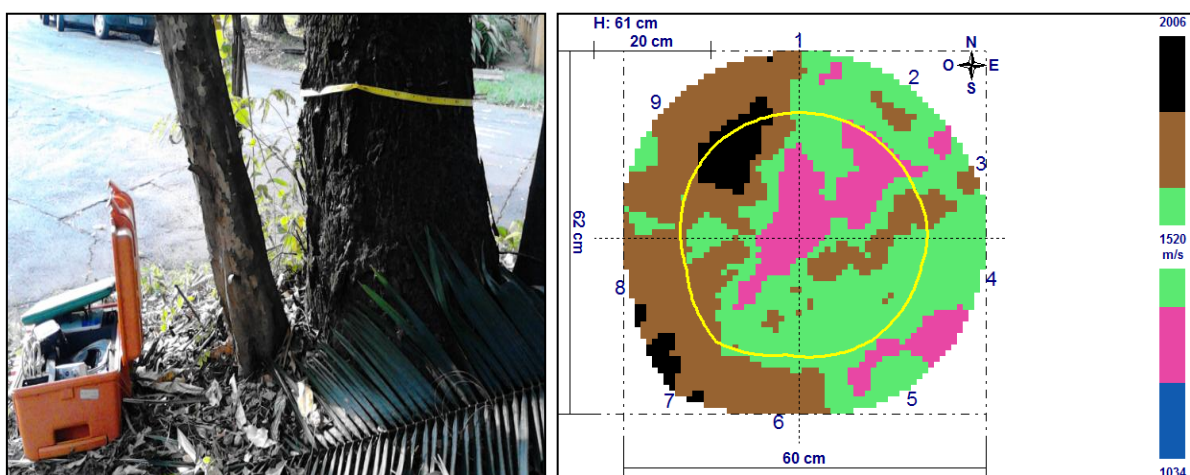


Figura 4: análise do tronco de cajá-mirim (*Spondias mombin*).

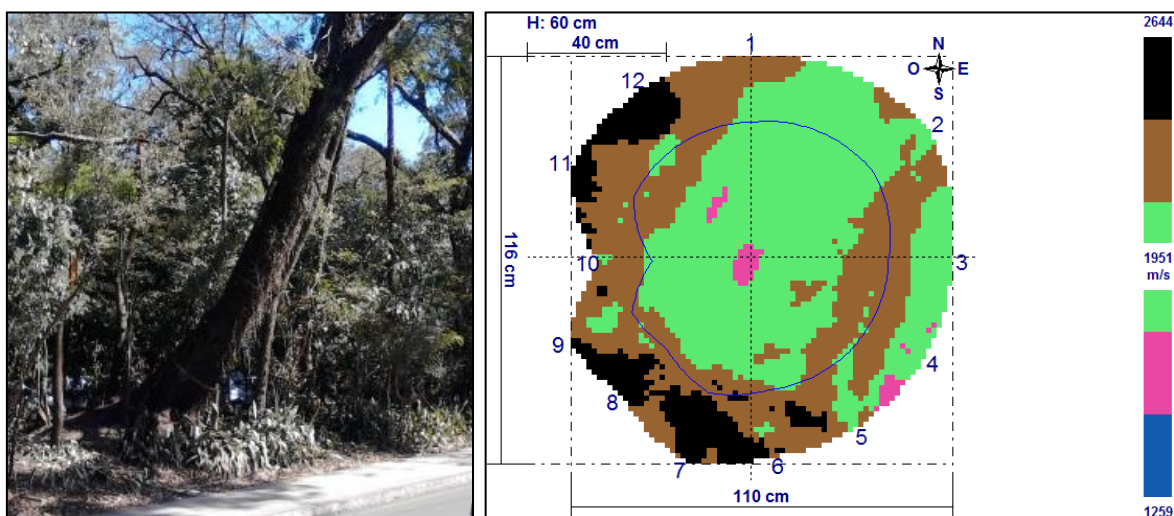


Figura 5: tomografia em angico (*Anadenanthera colubrina*).

Em ambos os casos, fica evidente a eficiência do equipamento quanto à identificação de zonas de tensão e compressão. Para a cabreúva, as partes de compressão corresponderam às situadas precisamente abaixo das duas ramificações, suportando o peso acima, enquanto que no jequitibá-rosa, a parte oeste-noroeste é a de compressão, visto que o tronco encontra-se ligeiramente inclinado para esse lado, e a porção leste-sudeste, por sua vez, de tensão. No cajá-mirim e no angico, de acordo com as fotografias, a parte oeste correspondeu à zona de compressão, também devido à inclinação do tronco para esse lado.

Foi descoberto, ainda, que 44,4% das árvores tomografadas apresentaram madeira de compressão em sua parte oeste, ou seja, 12 das 27.

Para fins comparativos, tem-se em sequência tomografias de árvores com alta e baixa densidade básica, respectivamente: pau-brasil (*Caesalpinia echinata*, figura 6) e guapuruvu (*Schizolobium parahyba*, figura 7).

Fica fácil de perceber na escala ao lado que os valores de velocidade de propagação da onda são bem distintos, revelando diferentes valores de dB, conforme esperado.

Também nota-se que os centros dos troncos, cerne, em geral, apresentam velocidade da onda inferior do que o redor. Isso pode ser explicado pelo fato de que à medida que a árvore cresce, os extrativos do cerne são convertidos em compostos de menor toxidez, favorecendo a ação de organismos xilófagos (SCHEFFER; COWLING, 1966), além do satisfatório teor de umidade e disponibilidade de oxigênio (RAYNER; BODDY, 1988).

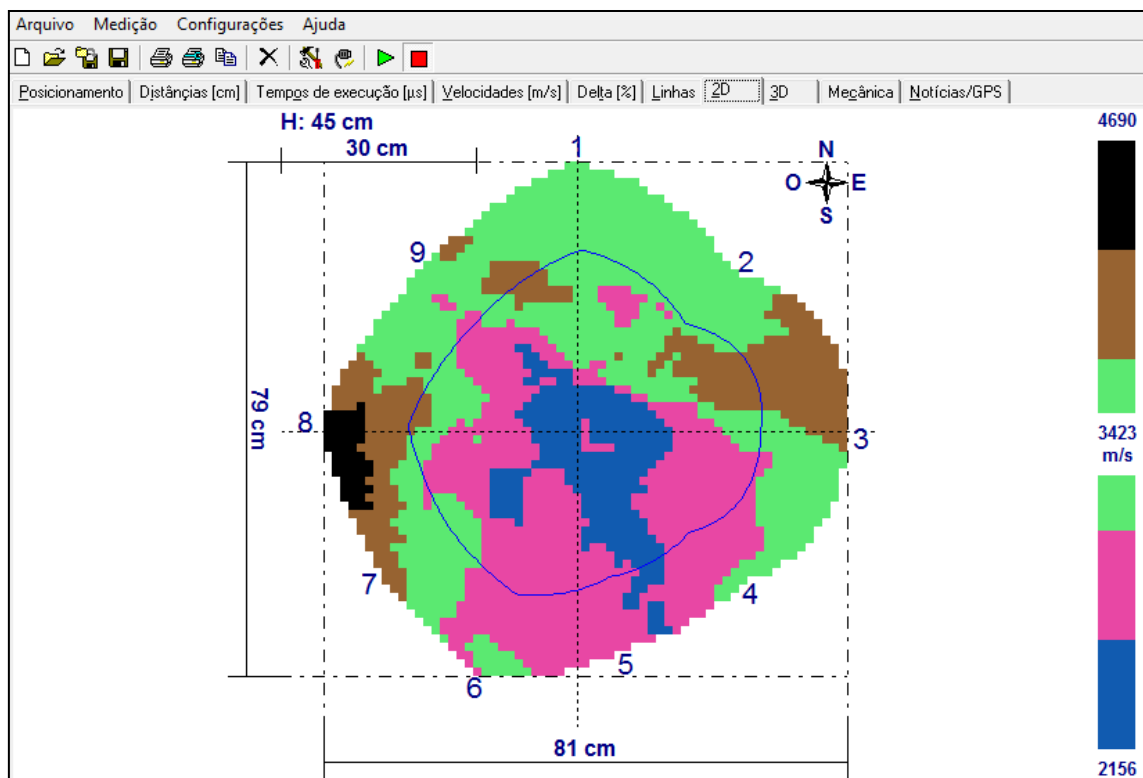


Figura 6: tomografia em pau-brasil (*Caesalpinia echinata*).

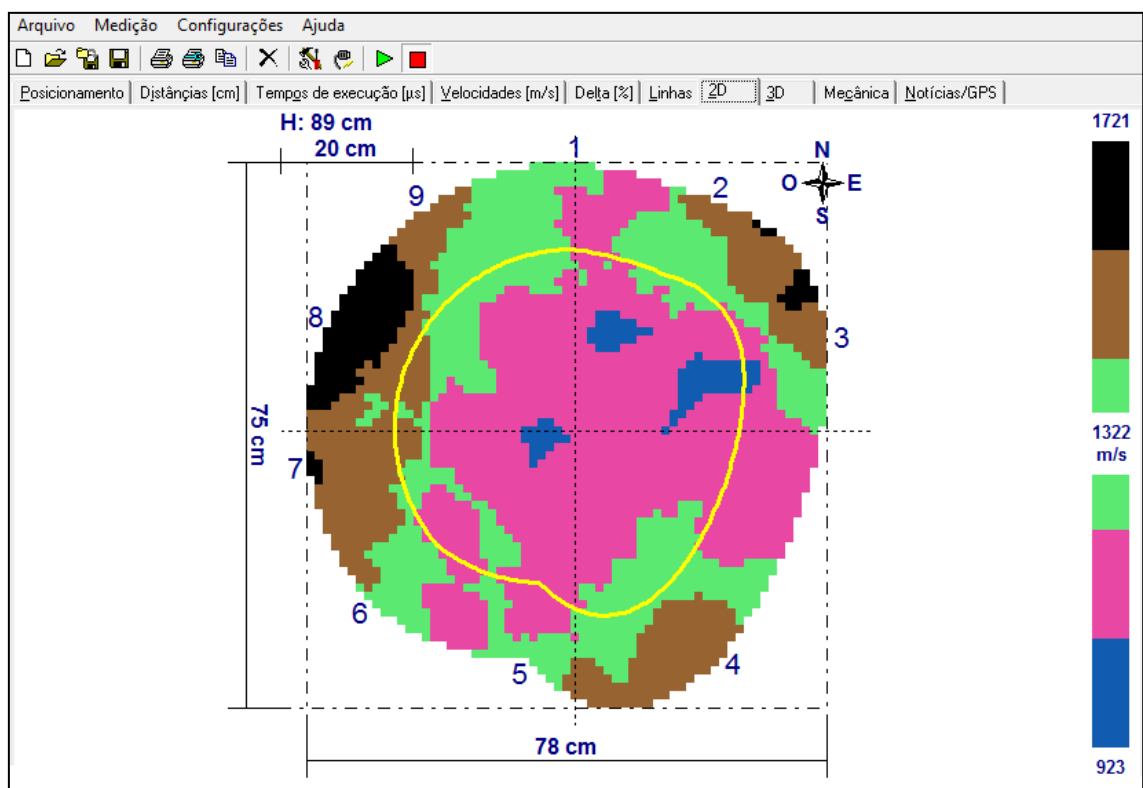


Figura 7: tomografia em guapuruvu (*Schizolobium parahyba*).

De posse das 27 tomografias, com auxílio computacional, tendo as distâncias entre os sensores e os tempos de execução, o próprio software calcula as velocidades das ondas (m/s). Assim, fez-se a exportação de tais valores em arquivo .txt e adicionados ao Microsoft Excel, em planilha.

No programa de planilha eletrônica, a fim de eliminar velocidades de onda referentes a tecidos de reação (tensão ou compressão), buscando os valores médios das velocidades, excluiu-se os extremos e fez-se a média dos 20% valores intermediários, ou seja, valores compreendidos entre $\bar{X} - 10\%$ e $\bar{X} + 10\%$, (figura 8).

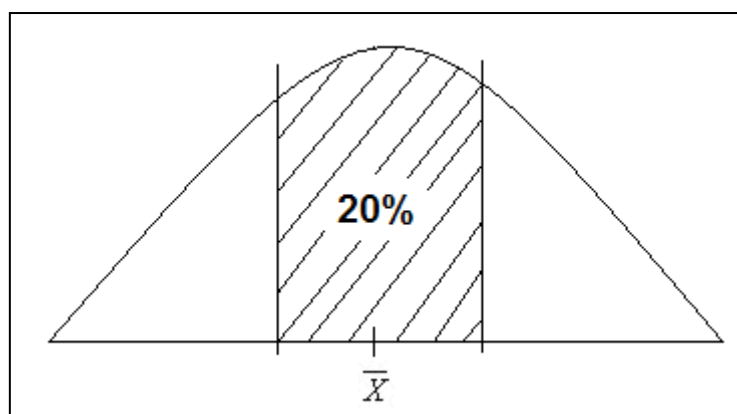


Figura 8: dados utilizados de velocidade de propagação da onda tomográfica.

Dessa forma, obtiveram-se os valores de velocidade média (m/s) das respectivas espécies (tabela 1):

Tabela 1: resultados das medições tomográficas comparados com as respectivas densidades básicas.

Código	Espécie	Nome científico	Fonte dB	dB (g/cm³)	Velocidade média (m/s)
1	Pau-ferro	<i>Libidibia ferrea</i>	IPEF	1,12	1763,88
2	Pau-brasil	<i>Caesalpinia echinata</i>	IPEF	1,10	2081,25
3	Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i>	IPEF	1,00	1513,77
4	Coração-de-negro	<i>Poecilanthus parviflora</i>	Lorenzi, 1992	0,99	1609,44
5	Guaritá	<i>Astronium graveolens</i>	IPEF	0,97	1453,31
6	Cabreúva	<i>Myrocarpus frondosus</i>	IPEF	0,95	1389,75
7	Abiuzeiro	<i>Pouteria caimito</i>	SBF	0,88	1883,33
8	Jacarandá-da-Bahia	<i>Dalbergia nigra</i>	IPEF	0,87	1680,44
9	Sapucaia	<i>Lecythis pisonis</i>	SBF	0,84	1446,19
10	Peroba-rosa	<i>Aspidosperma polyneuron</i>	IPEF	0,83	796,19
11	Jequitibá-rosa	<i>Cariniana legalis</i>	IPEF	0,78	1281,56
12	Jequitibá-branco	<i>Cariniana estrellensis</i>	IPEF	0,78	1231,06
13	Olho-de-cabra	<i>Ormosia arborea</i>	Lorenzi, 1992	0,70	1159,88

14	Alecrim-de-Campinas	<i>Holocalix balansae</i>	EMBRAPA Florestas	0,69	1472,38
15	Canafistula	<i>Peltophorum dubium</i>	IPEF	0,69	1076,63
16	Mogno	<i>Swietenia macrophylla</i>	IPEF	0,63	1581,74
17	Orelha-de-negro	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	IPEF	0,60	717,56
18	Mangueira	<i>Mangifera indica</i>	FAO, 1997	0,55	945,25
19	Angico	<i>Anadenthera colubrina</i>	IPEF	0,52	1520,37
20	Boleira	<i>Joannesia princeps</i>	IPEF	0,48	1270,44
21	Pau-mulato	<i>Calophyllum Spruceanum</i>	Andrade; Carvalho, 1998	0,46	1715,81
22	Gmelina	<i>Gmelina arborea</i>	FAO, 1997	0,41	1530,44
23	Chichá	<i>Sterculia chicha</i>	Lorenzi, 1992	0,39	1250,75
24	Cajá-mirim	<i>Spondias mombin</i>	SBF	0,38	1071,06
25	Paineira	<i>Ceiba speciosa</i>	IPEF	0,34	871,63
26	Guapuruvu	<i>Schizolobium parahyba</i>	IPEF	0,32	931,88
27	Sumaúma	<i>Ceiba pentandra</i>	SBF	0,29	823,56

Ao dispusermos a correlação graficamente das 27 espécies, numa regressão linear, o valor de R^2 encontrado foi de 0,3271 (figura 9):

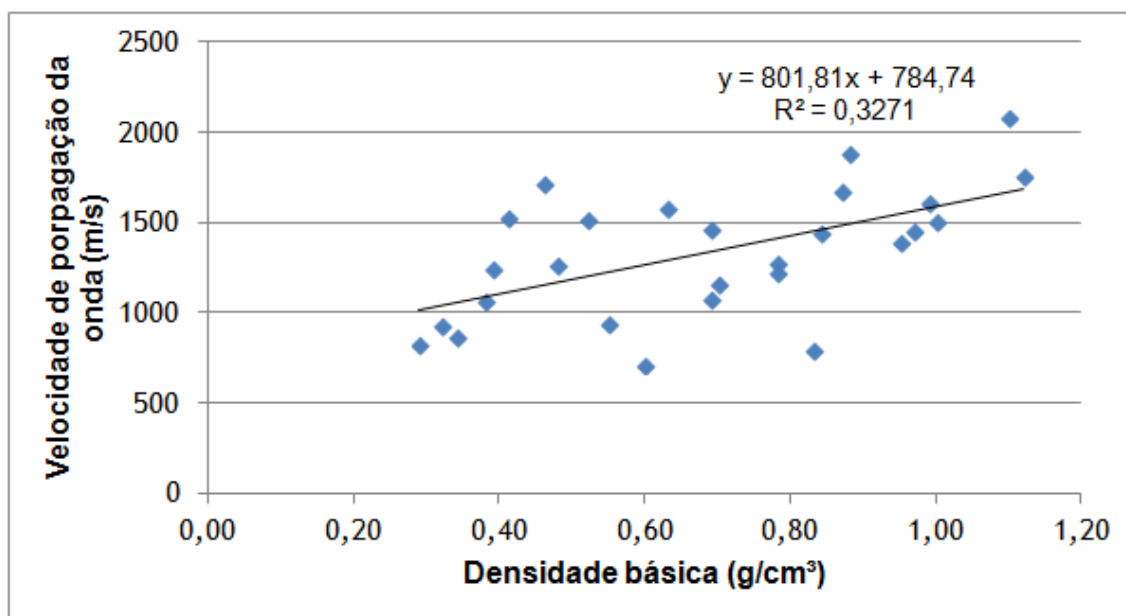


Figura 9: R^2 com grande dispersão na parte intermediária da regressão.

Entende-se por R^2 como o coeficiente de determinação, podendo variar de 0 a 1. Ele representa uma medida de ajustamento do modelo estatístico; em outras palavras, em quanto o modelo consegue explicar os valores observados. De fato, era esperado valor de R^2 maior que 0,3271, visto que a velocidade da onda de impulso tende a aumentar diretamente com o aumento da densidade básica, haja vista a teoria da física acústica, na qual o som propaga-se com mais facilidade em meios sólidos.

Entretanto, se desconsiderarmos os valores intermediários e dispusermos num outro gráfico apenas os 10 valores mais extremos de densidade básica correlacionados com as respectivas velocidades, o valor de R^2 aumenta muito: 0,8548 (figura 10):

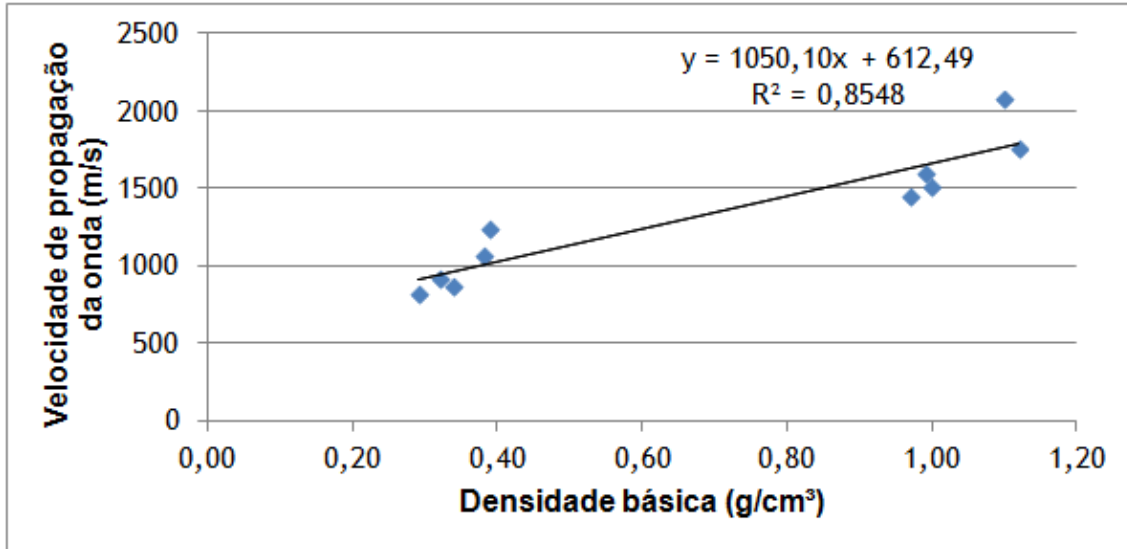


Figura 10: boa correlação para valores extremos de densidade básica.

Contudo, pelo fato de eliminarmos valores do banco de dados, o valor mais correto para análise estatística seria o R^2 ajustado (\bar{R}^2). Ele significa um ajustamento em relação ao número de preditores do modelo, já que o R^2 tende a superestimar a força de associação. O mesmo pode ser obtido por meio da seguinte equação:

$$\bar{R}^2 = 1 - \frac{n - 1}{n - (k + 1)} (1 - R^2) \quad (2)$$

Onde:

n = tamanho da amostra;

k = número de variáveis independentes e

R^2 = coeficiente de determinação.

Então, o R^2 ajustado referente aos extremos da regressão foi de 0,8133. Isso quer dizer que 81,33% da velocidade média da onda para os extremos é explicada em função da dB.

Ao final, fez-se o teste de Student (t). Esse teste “t” admite curva de distribuição normal em relação à média e permite testar se há diferença entre a média amostral (aleatória) e a média da população, por meio da comparação entre duas amostras pareadas, que, para o caso, foram (n-1) graus de liberdade.

Os valores obtidos foram:

- (i) População total de 27 tomografias; GL = 26; $p = 0,01$; $t_{\text{tab}} = 2,7787$; $t_{\text{obs}} = 3,6226$.
- (ii) População selecionada de 10 tomografias; GL = 9; $p = 0,01$; $t_{\text{tab}} = 3,2498$; $t_{\text{obs}} = 7,6738$.

Tanto para a população total (27 tomografias) quanto para a selecionada (10 tomografias), $t_{\text{observado}} > t_{\text{tabelado}}$, a nível de probabilidade de 0,01 (99% de confiança). Portanto, rejeita-se H_0 e conclui-se que as variáveis densidade básica da madeira e velocidade de propagação da onda tomográfica são correlacionadas.

6. Conclusão

A correlação esperada entre as variáveis de estudo, densidade básica da árvore e velocidade de propagação da onda demonstrou ser boa, comprovada pelo teste de Student (t). Destaque para a regressão feita com valores extremos de densidade básica, como $<0,40 \text{ g/cm}^3$ ou $>0,95 \text{ g/cm}^3$, cujo R^2 foi muito elevado.

A tomografia foi capaz de identificar madeiras de reação (tensão e compressão) no tronco. Tais zonas podem ser facilmente verificadas ao comparar as tomografias com a atual situação de cada árvore, como inclinação do tronco e sustento da ramificação acima da área tomografada. A maior parte das árvores tomografadas na ESALQ (44,4%) apresentou madeira de compressão na parte oeste do tronco. Estudos futuros podem avaliar se o principal responsável pelo ocorrido teria o vento originário de leste (90°) como agente causador.

Em geral, a parte central das árvores analisadas (cerne) foi a região que apresentou menores valores de velocidade de propagação da onda. Isso pode ser explicado pela preferência de organismos xilófagos por essa parte do tronco, na qual há umidade e oxigênio adequados, além da atenuação dos extrativos em árvores adultas.

Em futuras pesquisas, seria interessante uma análise aprofundada de cada espécie separadamente, com o intuito de verificar se a velocidade da onda varia dentro da própria espécie ou se estabiliza próximo ao valor encontrado nesse trabalho.

7. Referências Bibliográficas

ALCOFORADO, M.J. **O clima da região de Lisboa: contrastes e ritmos térmicos**. Lisboa: Memórias do Centro de Estudos Geográficos, v. 15. 1992. 347 p.

ANDRADE, A.M.; CARVALHO, L.M. Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do estado do Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 24-42, jan./dez. 1998.

BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a Primer**. Rome: FAO Forestry Paper-134, 1997. 55 p.

BUCUR, V. An ultrasonic method for measuring the elastic constants of wood increment cores bored from living trees. **Ultrasonics**, New York, v. 21, n. 1, p. 116-126, May 1983.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_436.html>. Acesso em: 22 ago. 2013.

EMBRAPA FLORESTAS. Disponível em: <http://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/index_especies.htm>. Acesso em: 4 set. 2013.

FOELKEL, C.E.B.; BARRICHELO, L.E.G.; MILANEZ, A.F. Estudo comparativo das madeiras de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus paniculata*, *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus tereticornis* para a produção de celulose sulfato. **IPEF**, Piracicaba, v. 10, p.17-37, 1975.

FREER-SMITH, P.H.; EL-KHATIB, A.; TAYLOR, G. Capture of particulate pollution by trees: a comparison of species typical of semi-arid areas (*Ficus nitida* and *Eucalyptus globulus*) with European and North American species, **Water, Air, & Soil Pollution**, Dordrecht, v. 155, n. 1, p. 173-187, Jun. 2004.

GILBERT, E. A.; SMILEY, T. Picus Sonic tomography for the quantification of decay in white oak (*Quercus alba*) and hickory (*Carya* spp.). **Arboriculture & Urban Forestry**, Champaign, v. 30, n. 5, p. 277-281, Sept. 2004.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/nativas/>>. Acesso em: 4 set. 2013.

LOPES, A. **Modificações no clima de Lisboa como consequência do crescimento urbano: Vento, ilha de calor de superfície e balanço energético**. 2003. 375 p. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2003.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 382 p.

MARTINIS, R.; SOCCO, L.V.; SAMBUELLI, L.; NICLOTTI, G.; SCHIMITT, O.; BUCUR, V. Tomographie ultrasonore pour les arbres sur pied. **Annals of Forest Science**, Champenoux, v. 61, n. 2, p. 157-162, Mar. 2004.

MATTHECK, C.; BRELOER, H. Field guide for visual tree assessment (VTA). **Arboriculture & Urban Forestry**, Champain, v. 18, n. 6, p. 1-23. 1994.

MATTHECK, C.; BRELOER, R.C. **The body language of trees**: a handbook for failure analysis. London: The Stationery Office, 1997. 239 p.

McPHERSON, E.; MUCHNICK, J. Effects of street tree shade on asphalt concrete pavement performance. **Arboriculture & Urban Forestry**, Champaign, v. 31, n. 6, p. 303-310, Nov. 2005.

MILANO, M.S. **Avaliação quali-quantitativa e manejo da arborização urbana de Maringá - PR**. 1988. 120 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

MILANO, M.S.; DALCIN, E.C. **Arborização de Vias Públicas**. Rio de Janeiro: Light, 2000. 226 p.

MILLER, R.W. **Urban forestry**: planning and managing urban greenspaces. 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 1997. 502 p.

NICLOTTI, G.; SOCCO, L.V.; MARTINIS, R.; GODIO, A.; SAMBUELLI, L. Application and comparison of three tomographic techniques for detection of decay

in trees. **Arboriculture & Urban Forestry**, Champaign, v. 29, n. 2, p. 66-78, Mar. 2003.

NOWAK, D; ROWNTREE, R; McPHERSON, E; SISINNI, S; KERKMANN, E; STEVENS, J. Measuring and analyzing urban tree cover. **Landscape and Urban Planning**, v. 36, n. 1, p. 49-57, Oct. 1996.

PAIVA, H.N. Seleção de espécies para arborização urbana. **Ação Ambiental**, Viçosa, v. 2, n. 9, p. 14-16, jan. 2000.

PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 404 p.

POKORNY, J. **Urban Tree Risk Management: A Community Guide to Program Design and Implementation**. St. Paul: USDA Forest Service. 2003, 194 p.

RAYNER, A.D.M.; BODDY, L. **Fungal decomposition of wood: its biology and ecology**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 1988. 587p.

RINNTECH. **Technology for tree and wood analysis**. Disponível em: <<http://www.rinntech.de/index-28703.html>>. Acesso em: 4 set. 2013.

ROLLO, F.M.A. **Identificação de padrões de resposta à tomografia de impulso em tipuanas (*Tipuana tipu* (Benth.) O. Kuntze)**. 2009. 123 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

SCHEFFER, T.C.; COWLING, E.B. Natural resistance of wood to microbial deterioration. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 4, p.147-168, Sept. 1966.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. Disponível em: <<http://sistemas.florestal.gov.br/madeirasdobrasil/>>. Acesso em: 4 set. 2013.

SILVA FILHO, D.F.; PIZETTA, P.U.C.; ALMEIDA, J.B.S.A.; PIVETTA, K.F.L.; FERRAUDO, A.S. Banco de dados relacional para cadastro, avaliação e manejo da arborização em vias públicas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 5, p. 629-642, Oct. 2002.

SMITH, D.M. Maximum moisture content method for determining specific gravity of small samples. **Forest Products Laboratory**, Madison, n. 2014, 8 p. Dec. 1954.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, n. 29, p. 37-45, abr. 1985.

VALE, A.T., ROCHA, L.R.; MENEZZI, C.H.S. Massa específica básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* cultivado em cerrado. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 387-394, dez. 2009.