

FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA

XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

Estudo preliminar de atenuação sonora de elementos arbóreos isolados

Zanlorenzi, H.C.P.¹; Monteiro, L.M.²

^{1,2} Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, helepadovani@gmail.com, leo4mm@usp.br

Resumo

Considerar elementos arbóreos como barreiras atenuadoras de ruído é natural para grande parte dos usuários de espaços urbanos abertos. No entanto, pesquisas já desenvolvidas indicam uma atenuação acústica pouco significativa para pequenos maciços vegetais; alguns experimentos incluem fatores ligados à percepção humana para esta atribuição. O presente estudo tem por objetivo quantificar possíveis atenuações sonoras de três elementos arbóreos isolados, como parte integrante da tese de doutorado da autora. A hipótese é de que os níveis de pressão sonora têm atenuação pouco significativa, porém pode haver alteração na frequência sonora pela vegetação, o que poderia alterar a percepção do receptor. As medições de acústica foram realizadas em fevereiro de 2022, nas espécies *Cheflera* (*Schefflera arboricola* / ARALIACEAE), *Cica* (*Cycas revoluta* Thunb. / CYCADACEAE) e *Caliandra* (*Calliandra brevipes* Benth. / FABACEAE MIMOSOIDEAE), localizadas no IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), junto à Cidade Universitária em São Paulo – SP. Inicialmente foram feitas as medições do ruído de fundo para cada espécie, antes e depois da vegetação; em seguida, nas mesmas configurações, efetuou-se as medições com uma fonte sonora omnidirecional. As três espécies estavam em posições próximas, com solo vegetado. Os resultados obtidos indicam, conforme esperado, uma diminuição dos níveis sonoros com o aumento da distância em relação à fonte. Foi possível constatar que existem fortes indícios de uma atenuação sonora pelas vegetações, porém de pequena intensidade e apresentando um comportamento com semelhanças ao longo das frequências para as três espécies avaliadas.

Palavras-chave: acústica ambiental, acústica urbana, barreiras vegetais, atenuação acústica, conforto acústico.

PACS: 43.10. Df, 43.30. Zk, 43.35. Ty, 43.50. Gf, 43.58. -e.

Preliminary sound attenuation study of isolated tree elements

Abstract

Considering tree elements as noise attenuating barriers is natural for most users of open urban spaces. However, developed research indicates a negligible acoustic attenuation for small vegetation masses; some experiments include factors linked to human perception for this attribution. The present study aims to quantify possible sound attenuation of three isolated tree elements, as an integral part of the author's doctoral thesis. The hypothesis is that sound pressure levels have little significant attenuation, but there may be a change in the sound frequency by the vegetation, which could modify the perception of the receiver. Acoustic measurements were performed in February 2022, in the species *Cheflera* (*Schefflera arboricola* / ARALIACEAE), *Cica* (*Cycas revoluta* Thunb. / CYCADACEAE) and *Caliandra* (*Calliandra brevipes* Benth. / FABACEAE MIMOSOIDEAE), located at the Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), next to Cidade Universitária in São Paulo – SP. Initially, measurements of background noise were made for each species, before and after vegetation; then, in the same settings, measurements were taken with an omnidirectional sound source. The three species were in close positions, with vegetated soil. The results obtained in the three species indicate, as expected, a decrease in sound levels with increasing distance from the source. It was possible to verify that there are strong indications of sound attenuation by the vegetation, however of low intensity and presenting a behavior with similarities along the frequencies for the three evaluated species.

Keywords: environmental acoustics, urban acoustics, plant barriers, acoustic attenuation, acoustic comfort.



1. INTRODUÇÃO

A importância dos espaços públicos abertos é cada vez maior em centros urbanos, funcionando como uma possibilidade de lazer e descanso fora dos compartimentos de moradias e trabalho. A variedade de usos é ampla e depende de vários fatores como conforto termoacústico, percepção de segurança, qualidade do ar e ergonomia, entre outros.

A sensação de conforto compreende um conjunto de condições ideais que torne atrativa a permanência dos usuários; os parâmetros que definem essas condições estão interconectados, de forma que devem atuar simultaneamente para atingir o objetivo desejado. É preciso criar espaços urbanos confortáveis para melhorar a qualidade ambiental das cidades, em locais onde as pessoas circulam a pé, de transporte público ou por outros meios não motorizados [1].

Estudos que relacionam elementos arbustivo-arbóreos como barreiras acústicas são feitos há décadas, com importantes resultados. Algumas pesquisas avaliam a vegetação e sua influência nos níveis sonoros na altura do pedestre [2-4].

As árvores são frequentemente citadas como elementos atenuadores de ruído urbano. A bibliografia disponível não confirma esta afirmação em termos quantitativos. Diante da insistência de colocações como esta, despertou-se a intenção de aprofundamento nesta questão.

O presente estudo tem por objetivo quantificar possíveis atenuações sonoras de três elementos arbóreos isolados, como parte integrante da tese de doutorado da autora [5].

2. FUNDAMENTOS

Segundo Bistafa [6], muitas pessoas afirmam que a vegetação atenua o ruído ambiente, mesmo quando as medições indicam que não houve atenuação significativa; o autor considera que talvez a razão seja psicológica, ou que a sensibilidade auditiva humana perceba alterações não captadas pelos medidores sonoros.

Martínez-Sala et al. [7] tiraram importantes conclusões em seus estudos com atenuação

sonora ao longo das frequências. Afirmam que em frequências inferiores a 1 kHz a vegetação é transparente ao som; em baixas frequências, o efeito do solo é o mecanismo mais importante, embora abaixo de 500 Hz o nível sonoro aumente em algumas frequências; nas frequências médias, a atenuação sonora ocorre devido ao espalhamento por folhas e galhos; no geral as florestas atenuam o ruído principalmente nas frequências altas devido à absorção do som pela folhagem, mas é necessário ter algumas dezenas de metros de espessura de árvores para obtenção de baixos índices de atenuação. Bullen e Fricke [8] chegaram a resultados semelhantes, bem como Horoshenkov et al. [9]. Em condições homogêneas, é previsto que a propagação do som através da floresta é afetada apenas pela dispersão por troncos e folhagens; previsões numéricas sugerem que em condições de refração descendente do som, a atenuação extra atribuída à floresta está entre 2 e 6 dB, com o receptor a menos de cem metros de distância da fonte sonora.

Smirnova et al. [10] encontraram que a absorção pelas plantas depende da forma, tamanho e espessura das folhas, bem como da altura da planta. A vibração induzida na planta pelos sons pode desempenhar um papel importante na absorção das frequências médias e altas; plantas e folhagens também podem funcionar como difusora do som, que refletem e espalham sua energia por elementos vegetais como troncos, galhos, caules e folhas, afetando a propagação sonora principalmente nas frequências médias e altas.

Li e Kang (2020) examinaram as respostas das folhas das plantas por vibração aos sons ambientais, avaliando as influências das propriedades físicas das vegetações na amplitude vibracional velocidade e frequências, antes e depois da estimulação sonora [11]. Para esse estudo, foram selecionadas nove espécies de plantas com ampla variedade de folhas, com diferentes tamanhos, espessuras e larguras. A amplitude das folhas após o estímulo sonoro variou entre as espécies, principalmente por causa das diferenças entre as texturas das folhas. Nas folhas das espécies suculentas as variações não foram significativas, por serem mais

espessas e seu alto teor de água amorteceu as vibrações. Em contraste, folhas finas e membranosas foram altamente responsivas a estímulos sonoros. A relação entre as propriedades físicas e a vibração das folhas pode ser usada para estudar a resposta sonora e a redução de ruído em diferentes espécies vegetais.

Scholes et al. [12] realizaram importantes estudos de barreiras acústicas em escala real, de várias alturas e com diferentes condições de vento. Os ventos podem ter uma influência significativa no desempenho acústico da barreira, em algumas situações; este efeito é mais intenso sobre a atenuação em altas frequências, em locais mais baixos e distantes da barreira, mas tem pouco ou nenhum efeito na atenuação sonora de frequências mais baixas.

Os estudos de Josse (1975) a respeito de barreiras acústicas são de extrema importância e servem de base para o desenvolvimento de novos experimentos [4]. O fenômeno da difração em barreiras é avaliado, com os estudos de acústica geométrica; segundo o autor, considera-se comumente uma barreira vegetal na borda de vias de tráfego como um meio eficaz de atenuar o nível do ruído transmitido, porém isto apenas acontece quando se trata de espessuras de vegetação significativas, como várias dezenas de metros. A baixa atenuação sonora pela vegetação ocorre porque o som penetra entre as folhas, ramos e troncos sem enfraquecer muito; esta atenuação ocorre de forma linear, sendo da ordem de 0,1 dB por metro para as frequências na faixa de 500 Hz (em vegetação típica da cidade de Paris).

Fan et al. [13] estudaram seis espécies vegetais com diferentes arranjos e densidades e as atenuações sonoras resultantes, no intuito de estabelecer um modelo ecológico de barreira ao som; concluíram que há uma notável diferença nas atenuações das frequências baixas e altas em função dos diferentes arranjos, e que cada espécie apresenta um espectro característico de atenuação do ruído.

Em uma pesquisa abordando a percepção humana ao ruído, Yang et al. [14] estudaram os benefícios psicológicos proporcionados por

parques urbanos e outros ambientes paisagísticos, combinando uma abordagem subjetiva com uma abordagem quantitativa objetiva. Por meio de um questionário, foi possível constatar que 90% das pessoas acreditavam que as plantas da paisagem contribuem para a redução do ruído e que 55% superestimaram a capacidade real das plantas de promover esta atenuação.

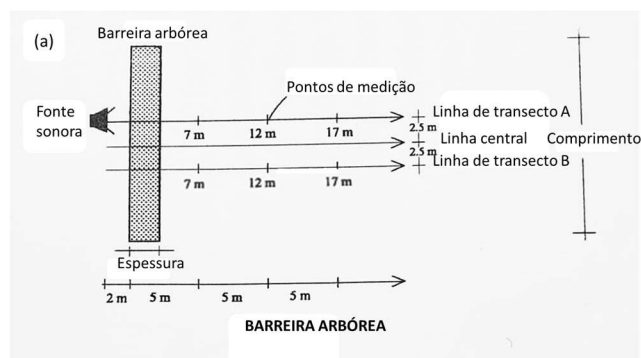
3. MATERIAIS E MÉTODOS

As medições de acústica foram realizadas em três espécies localizadas no IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), junto à Cidade Universitária em São Paulo – SP. As três espécies estavam em posições próximas, todas em solo vegetado.

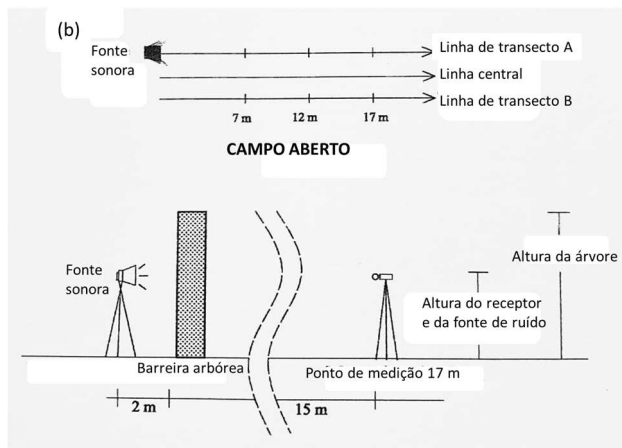
As medições foram feitas no dia 14 de fevereiro de 2022, com a reabertura do IPT após a pandemia e conciliando-se com a disponibilidade dos equipamentos.

3.1 Estudo de referência

Como principal referência para as medições de acústica, tomou-se como base a configuração citada por Fang e Ling [15]. Neste estudo, a fonte sonora foi colocada à distância de dois metros da barreira em planta; considerando-se uma linha perpendicular à barreira passando pela fonte, foram feitas três medições posteriores distantes cinco metros entre si. Em paralelo, mediu-se nas mesmas distâncias sem a presença da barreira (em campo aberto). As indicações da configuração estudada estão na Figura 1 a seguir, em planta (a) e em corte (b).



(a)



(b)

Figura 1: Diagrama do experimento de medição em planta (a) e em corte (b) utilizado como referência (adaptado de Fang e Ling [15]).

Nas medições ora efetuadas, foi necessário fazer adaptações em relação ao estudo citado: os elementos vegetais estudados como barreiras não são elementos contínuos, e sim árvores isoladas; além disso, não havia espaço livre para medições em campo aberto.

Inicialmente foram feitas as medições do ruído de fundo para cada espécie, antes e depois da vegetação; em seguida, nas mesmas configurações, efetuou-se as medições com uma fonte sonora omnidirecional.

As medições do ruído de fundo foram feitas para verificar o nível sonoro mínimo a ser emitido pela fonte, de forma que seja mascarado para não interferir nas medições (no mínimo 10 dB acima do ruído de fundo).

3.2 Escolha das espécies

As espécies selecionadas foram:

- **Cheflera** (*Schefflera arboricola* / ARALIACEAE), vide Figura 2;
- **Cica** (*Cycas revoluta* Thunb. / CYCADACEAE), vide Figura 3;
- **Caliandra** (*Calliandra brevipes* Benth. / FABACEAE MIMOSOIDEAE), vide Figura 4.



Figura 2: Espécie selecionada 1 – **Cheflera**, foto da autora, em 14 fev. 2022.



Figura 3: Espécie selecionada 2 – **Cica**, foto da autora, em 14 fev. 2022.



Figura 4: Espécie selecionada 3 – **Caliandra**, foto da autora, em 14 fev. 2022.

As espécies estavam situadas conforme Figura 5 a seguir.

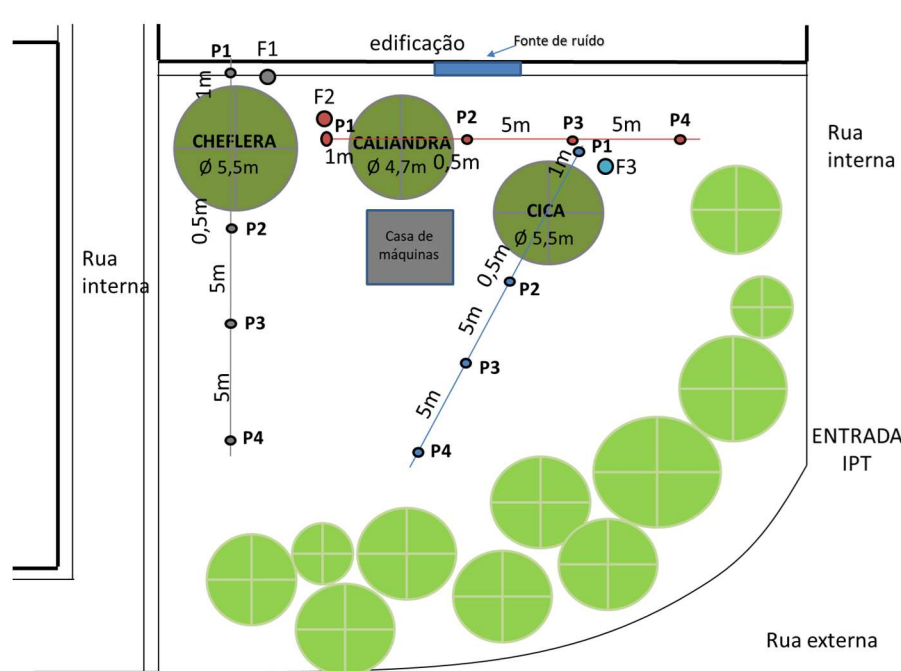


Figura 5: Configuração em planta das medições acústicas nas três espécies, sendo F1, F2 e F3 as posições da fonte sonora em cada espécie, P1 o ponto de medição antes da vegetação, e P2, P3 e P4 os pontos de medição depois da vegetação

As principais justificativas de escolha das espécies foram:

- Tratavam-se de três espécies com características diferentes; a Cheflera tem corpo arbóreo com folhagem desde o chão e é composta por folhas espessas e de tamanho maior (Figura 2); a Caliandra tem corpo arbóreo com copa acima de 1m e folhas bastante pequenas (Figura 3), e a Cica por sua vez tem tronco robusto desde o solo e folhas muito grandes (Figura 4);
- Situavam-se na mesma área, com piso vegetado (gramado);
- Estavam expostas a um ruído de fundo semelhante;
- O espaço livre no entorno permitia seguir o mesmo critério de colocação da fonte e distanciamentos para coleta dos níveis sonoros;
- O local tinha acesso à fonte de energia para a alimentação da fonte sonora.

Durante as medições, havia uma fonte de ruído pontual próxima que interferiu nos ruídos de

fundo resultantes (aparelhos de ar-condicionado do edifício junto às árvores, ver localização em planta na Figura 5).

3.3 Configuração das medições

Para cada espécie, as medições seguiram as configurações conforme descrito abaixo e indicado na Figura 5:

- A fonte sonora foi situada em um lado da vegetação, com a medição em um Ponto P1 a um metro da fonte e a um metro da vegetação;
- Em linha reta, meio metro após a vegetação, marcou-se o Ponto P2;
- Na mesma linha, marcou-se o Ponto P3 distante cinco metros do Ponto P2;
- Na continuidade, marcou-se o Ponto P4 distante cinco metros do Ponto P3.

Foi feita a medição de uma espécie por vez, com a realocação da fonte se adequando para cada uma delas conforme indicado na Figura 5.



3.4 Equipamentos de medição

Os equipamentos utilizados foram:

- Um sonômetro Larson Davis modelo 831, efetuando as medições no Ponto P1 (próximo à fonte);
- Um sonômetro Brüel & Kjaer modelo BK 2238, efetuando as medições nos Pontos P2, P3 e P4;
- Uma fonte sonora omnidirecional Brüel & Kjaer Tipo 4292-L.

Para as espécies Cheflera e Cica, que têm folhagens a partir do solo, os sonômetros foram situados a 1,20 m de altura. No caso da Caliandra, que tem a copa a partir de um metro acima do solo, as medições foram feitas com os sonômetros à altura de 1,70 m.

3.5 Processo de medições

O processo de medições foi feito na seguinte sequência:

- Foi feita a calibração dos dois sonômetros com o ruído de fundo;
- Situou-se a fonte próxima à primeira espécie medida (Cheflera);
- Antes de ligar a fonte, foram feitas medições completas do ruído de fundo no espectro por bandas de oitava, e em seguida mediu-se os níveis globais em dB(A), sempre na sequência de coletas simultâneas nos Pontos: P1 + P2, P1 + P3 e P1 + P4;
- Antes de ligar a fonte, foram feitas medições completas do ruído de fundo no espectro por bandas de oitava, e em seguida mediu-se os níveis globais em dB(A), sempre na sequência de coletas simultâneas nos Pontos: P1 + P2, P1 + P3 e P1 + P4;
- Na sequência, ligou-se a fonte omnidirecional emitindo um ruído branco, que é o ruído que apresenta um nível constante para todas as frequências sonoras, segundo Bistafa [6].

- Foram analisadas as seis principais frequências por bandas de oitava, a saber: 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz e 4 kHz;
- As medições completas foram repetidas no mesmo processo que foi feito para o ruído de fundo, agora com a fonte omnidirecional ligada. A fonte emitiu um nível de pressão sonora acima do ruído de fundo, de forma a mascará-lo;
- Após finalizar as medições para a primeira espécie (Cheflera), todo o processo foi repetido para a segunda espécie (Cica) e posteriormente para a terceira espécie (Cheflera).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As intensidades do ruído de fundo foram maiores no Ponto P1 quando o aparelho de ar condicionado do edifício adjacente estava ligado.

4.1 Análise por espécie

Os resultados obtidos nas três espécies indicam, conforme esperado, uma diminuição dos níveis sonoros com o aumento da distância em relação à fonte, entre os Pontos 2 e 4, pois a energia sonora vai se dissipando ao longo do caminho. O principal objeto de análise da atenuação sonora pela vegetação é a diferença obtida entre os Pontos 1 (próximo à fonte) e Ponto 2 (após a vegetação), conforme mostrado graficamente nas Figuras 6 a 8 a seguir, por espécie.

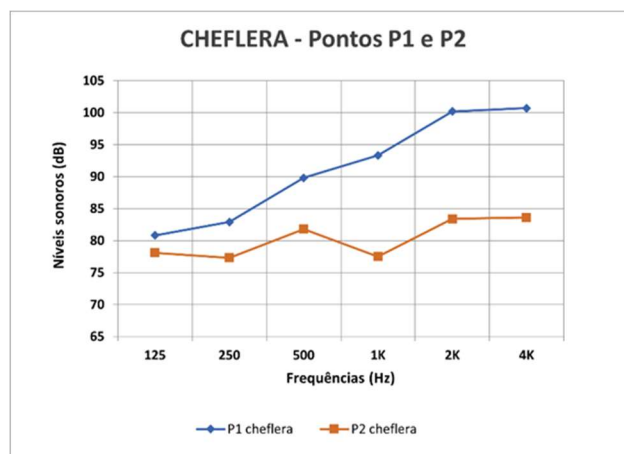


Figura 6: Níveis sonoros medidos - Pontos 1 e 2 - Cheflera

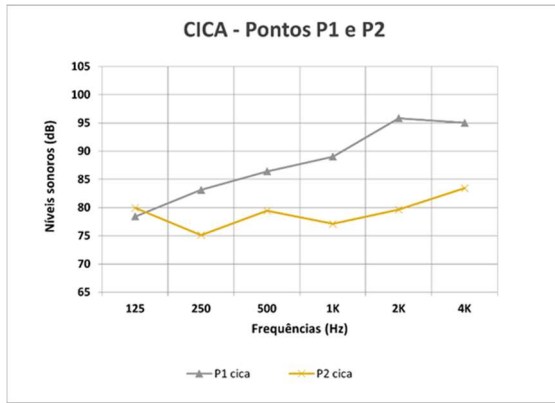


Figura 7: Níveis sonoros medidos - Pontos 1 e 2 - Cica

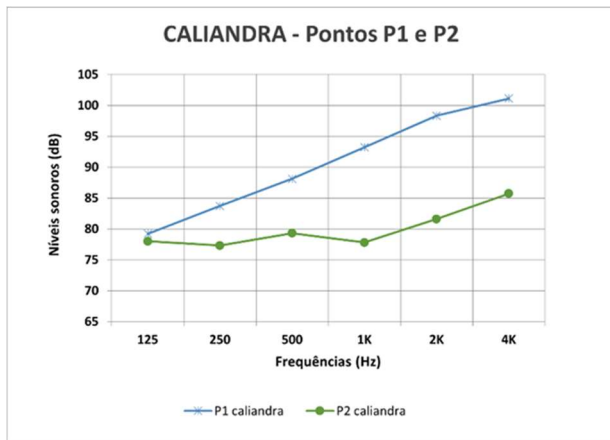


Figura 8: Níveis sonoros medidos - Pontos 1 e 2 - Calíandra

Nas três espécies, observou-se uma tendência de manutenção da curva crescente nos níveis sonoros resultantes, embora com algumas especificidades; em todas, a atenuação diminuiu na frequência de 500 Hz e manteve-se mais constante nas frequências altas. No caso das baixas frequências, de difícil atenuação por tratar-se de ondas sonoras maiores, a diminuição foi um pouco mais perceptível nos resultados da Cheflera.

A avaliação dos resultados de cada espécie separadamente é complexa, pela quantidade de diferentes fatores envolvidos, como a absorção pelo ar, a absorção pelo solo macio, além da absorção pela distância. Desta maneira, optou-se por avaliar os resultados de forma relativa entre as espécies, que por estarem expostas a situações, solo e distâncias semelhantes, podem ter seu desempenho como barreira melhor avaliado pelas diferenças entre elas.

4.2 Análise conjunta dos resultados

A partir dos resultados obtidos, foi feita a análise das atenuações sonoras medidas para as três espécies e a relação entre elas (Figuras 9 a 11).

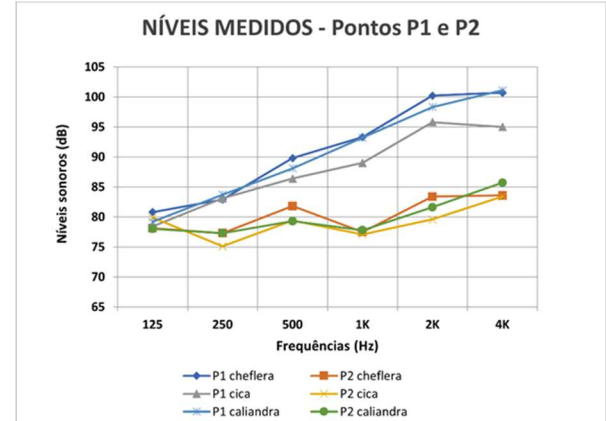


Figura 9: Níveis sonoros medidos - Pontos 1 e 2 - COMPARATIVO

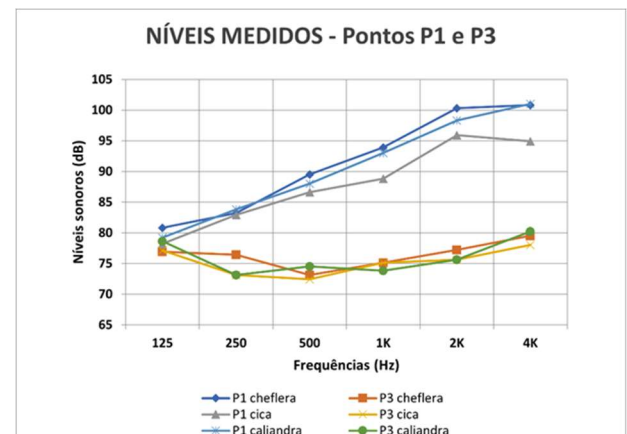


Figura 10: Níveis sonoros medidos - Pontos 1 e 3 - COMPARATIVO

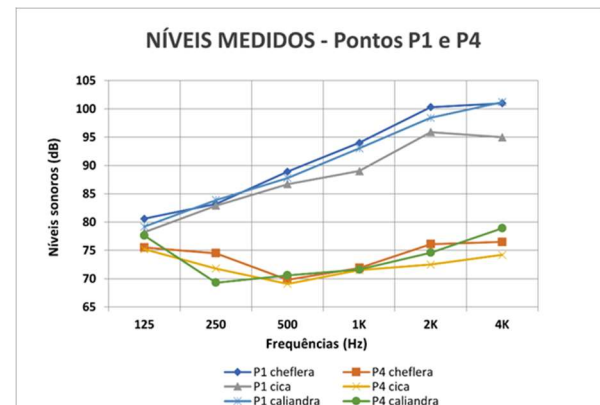


Figura 11: Níveis sonoros medidos - Pontos 1 e 4 - COMPARATIVO



Em relação às diferenças entre os níveis medidos no Ponto 1 de cada espécie (próximo à fonte), em especial os níveis mais baixos no caso da Cica, uma possível justificativa seria o fato desta fonte estar em um espaço mais aberto que nos demais, favorecendo a dispersão do som.

Pela Figura 9, entre os Pontos 1 e 2, pode-se constatar um comportamento semelhante nas três espécies em função das frequências, com aumento nas atenuações nas frequências de 250 Hz e 1 kHz, e diminuição do desempenho na frequência de 500 Hz.

No gráfico das diferenças entre os Pontos 1 e 2, as curvas de atenuação para a Cheflera e para a Caliandra têm comportamentos semelhantes em função das frequências; no caso da Cica, o comportamento é distinto.

A Cheflera mantém o comportamento em função das frequências também nos pontos mais distantes (em relação a P3 e P4, respectivamente nas Figuras 10 e 11).

5. CONCLUSÕES

Estudos que envolvem medição de campo são geralmente complexos, em especial envolvendo a acústica, uma vez que apresentam variabilidade instantânea e com múltiplos fatores interferentes; no entanto, são importantes para a obtenção de alguns parâmetros de referência.

Deve-se levar em conta que a própria natureza do estudo tem limitações inerentes: árvores isoladas têm dimensões limitadas, com maiores probabilidades de difração nas bordas (como citado nos experimentos de Kurze e Anderson [16]) e com comportamento diferente de uma barreira extensa que possa ser considerada semi-infinita.

Nesta pesquisa em específico, há uma limitação de amostragem de espécies para que as respostas sejam mais conclusivas. Diante de todas estas questões, a análise dos resultados permite dizer que existem fortes indícios de uma atenuação sonora pelas vegetações, porém de pequena intensidade e apresentando um

comportamento com semelhanças ao longo das frequências.

Os resultados obtidos podem representar que a parcela da percepção relativa à atenuação pela vegetação é significativa, como sugerem muitos estudos, alguns aqui citados.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da complexidade do tema, estudos complementares devem ser realizados, levando-se em conta parâmetros interferentes aqui não considerados por limitação de equipamentos e amostragem.

7. AGRADECIMENTOS

Ao IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) por permitir o desenvolvimento deste trabalho tendo a autora como pesquisadora visitante.

À Profa. Dra. Stelamaris Rolla Bertoli, da UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas), pelo apoio e auxílio nas medições de campo e empréstimo de equipamentos.

À FAUUSP (Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo) pelo apoio nas medições de campo.

REFERÊNCIAS

- [1] Duarte, D. O clima urbano e o ambiente construído. Edifício Ambiental / Joana Carla Soares Gonçalves, Klaus Bode, organizadores. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- [2] Kragh, J. Road traffic noise attenuation by belts of trees. *Journal of Sound and Vibration*, v.74, p. 235-241, 1981.
- [3] Pathak, V.; Tripathi, B.D.; Mishra, V.K. Dynamics of traffic noise in a tropical city Varanasi and its abatement through vegetation. *Environ Monit Assess*, v.146, p.67–75, 2008.
- [4] Josse, R. La acústica en la construcción. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A., 1975, 296 p.
- [5] Zanlorenzi, H. C. P. A influência da vegetação no ambiente termoacústico em espaços abertos / Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Área de concentração: Tecnologia da Arquitetura, São Paulo, 2022.163 p.
- [6] Bistafa, S. Propagação sonora ao ar livre e ruído ambiental. In: *Acústica aplicada ao controle do ruído*. Cap. 9, 2.ed. revista. São Paulo: Blucher, 2011.

- [7] Martínez-Sala, R.; Rubio, C.; García-Raffi, L. M.; Sánchez-Pérez, J.V.; Sánchez-Pérez, E. A.; Llinares, J. Control of noise by trees arranged like sonic crystals. *Journal of Sound and Vibration*, v. 291, p. 100–106, 2006.
- [8] Bullen, R.; Fricke, F. Sound propagation through vegetation. *Journal of Sound and Vibration*, v.80 (1), p. 11-23, 1982.
- [9] Horoshenkov, K.; Lam, Y.W.; Attenborough, K. Noise attenuation provided by road and rail barriers, earth berms, buildings, and vegetation. *Handbook of Noise and Vibration Control*, Chapter 122, p. 1446-1457. Edited by Malcolm J. Crocker Copyright © 2007 John Wiley & Sons, Inc.
- [10] Smyrnova, Y.; Kang, J.; Hornikx, M.; Forssén, J. Effect of vegetation on noise propagation in streets and squares. *Proceedings of the Institute of Acoustics*, v. 34, Pt.1, 2012.
- [11] Li, M.; Kang, J. Influence of Leaf Physical Properties on Single-Leaf Vibrational Response to Sound. *Forests*, v. 11, 115, 2020; doi:10.3390/f11010115
- [12] Scholes, W.E.; Salvidge, A.C.; Sargent, J.W. Field performance of a noise barrier. *J. Sound Vib.*, v. 16 (4), p. 627-642, 1971.
- [13] Fan, Y.; Zhiyi, B.; Zhujun, Z.; Jiani, L. The investigation of noise attenuation by plants and the corresponding noise-reducing spectrum. *Journal of Environmental Health*, v. 72, n. 8, p. 8-15, 2010.
- [14] Yang, F.; Bao, Z. Y.; Zhu, Z. J. An assessment of psychological noise reduction by landscape plants. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 8, p. 1032-1048, 2011; doi:10.3390/ijerph8041032
- [15] Fang, C-F.; Ling, D-L. Investigation of the noise reduction provided by tree belts. *Landscape and Urban Planning* v. 63, p. 187-195, 2003.
- [16] Kurze, U. J.; Anderson, G.S. Sound attenuation by barriers. *Applied Acoustics*, v. 4, p. 35-53, 1971.