

# Intensimetria: uma ferramenta útil na determinação do ruído gerado ao meio ambiente

## INTENSITY: A HELPFUL TOOL IN THE DETERMINATION OF THE NOISE SOURCES IN THE ENVIRONMENT

Luis Antonio Perrone Ferreira de Brito

Departamento de Arquitetura da Universidade de Taubaté - UNITAU

Stelamaris Rolla Bertoli

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Campinas - UNICAMP

### RESUMO

O conforto acústico em grandes aglomerados urbanos é cada vez mais raro. Poucas cidades possuem legislações adequadas sobre o assunto. Legisladores e urbanistas pouco levam em conta o parâmetro ruído quando elaboram o plano diretor de uma cidade, muitas vezes, por não disporem de informações adequadas. Uma das fontes mais importantes no ruído ambiental é a construção civil, que está presente nos mais variados locais do espaço urbano. Não raro, essas atividades, por necessidade de tráfego ou outras interferências, são executadas no horário noturno, agravando o problema. O conhecimento do nível de potência sonora (NWS) destas fontes é a base para o estudo de sua propagação. O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados da aplicação da técnica de intensimetria para determinação do NWS de uma furadeira e os erros inerentes ao método segundo a ISO 9614- 2, *Acoustics determination of sound power levels of noise sources by sound intensity measurement – measurements for scanning*. Essa técnica permite a obtenção do NWS *in loco*, sem necessidade de câmaras especiais. A precisão dos resultados foi avaliada pela comparação com NWS da furadeira determinado em câmara reverberante segundo a ISO 3741, *Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure*.

### PALAVRAS-CHAVE

Intensimetria. Potência sonora. Ruído ambiental.

### INTRODUÇÃO

A Organização Mundial de Saúde considera as capitais brasileiras entre as mais ruidosas do mundo (ROTT, 1995). Devido a essa realidade, muitos trabalhos foram realizados nos últimos anos no sentido de identificar e buscar soluções para esse crescente problema. A grande maioria desses trabalhos ficou con-

centrada no ruído gerado pelo trânsito. Segundo Schimtt (2000), na cidade de Porto Alegre, a predominância das reclamações sobre excesso de ruído encaminhadas à Prefeitura Municipal se origina em função das casas de espetáculos e boates no horário noturno e das prestadoras de serviço ligadas à construção civil no horário diurno. A intervenção do poder público no primeiro caso é relativamente simples, pois as fontes geradoras de ruído são facilmente identificáveis e existe legislação pertinente para a solução. O mesmo não acontece com as atividades da construção civil. O ritmo de crescimento das cidades é constante e a construção civil é a grande impulsora desse crescimento, não podendo ser simplesmente proibida. Sattler, Rotte e Coradiny (1995) executaram um levantamento do ruído ambiental na cidade de Porto Alegre e concluíram que a construção civil é a segunda maior fonte de ruído naquela cidade para 50% dos 321 entrevistados, ficando apenas atrás do ruído gerado pelo tráfego de veículos pesados. Rolla (1996) verificou que o ruído gerado por máquinas e equipamentos na construção civil é a segunda maior fonte de incômodo à comunidade na região de Campinas, sendo superada apenas pelo ruído do tráfego de automóveis. Maia (2001) realizou um levantamento do nível de pressão sonora gerado por equipamentos da construção civil e obteve valores da ordem de 100 dB(A). Portanto, o desenvolvimento e domínio de técnicas de predição e controle da propagação do ruído gerado pela construção civil ao meio ambiente é de extrema necessidade para a manutenção de uma certa qualidade de vida nas grandes cidades.

Dentro dos parâmetros acústicos que podem ser utilizados para servir de base de dados em sistemas de predição de propagação de ruído, podem-se destacar o nível de pressão sonora, o nível de potência sonora

e o nível de intensidade sonora. O nível de pressão sonora de um equipamento é facilmente obtido por meio de um medidor de pressão sonora, mas é altamente influenciável por fatores como a reflexão, difração, absorção e difusão sonora. Para sua obtenção são necessários ambientes como câmaras anecóicas. O nível de potência sonora não é influenciado pelas características dos campos abertos e fechados, sendo uma característica intrínseca da fonte, válido em qualquer situação, mas também deve ser determinado em câmaras especiais. Esse procedimento acarreta alguns inconvenientes como a dificuldade de simulação das reais condições de trabalho do equipamento, pois muitas vezes seu funcionamento depende de outros, além dos custos de deslocamento, do tempo que esse equipamento deixa de produzir e, às vezes, da inexistência de câmaras reverberantes do porte da fonte sonora analisada. O conhecimento do nível de potência sonora de um equipamento é uma ferramenta muito valiosa na caracterização de uma fonte de ruído. A técnica de obtenção da intensidade sonora proposta por Fahy (1977) permite que as medições sejam realizadas no campo, sem que os resultados sejam contaminados por outras fontes de ruído. A partir do nível de intensidade sonora pode-se determinar o nível de potência sonora pela integração do vetor intensidade sobre um volume que envolva a fonte em análise. O conhecimento do nível de potência sonora de equipamentos comuns em nosso cotidiano, como os utilizados na construção civil, possibilitará aos nossos urbanistas, arquitetos e engenheiros, a formação de um banco de dados para o estudo da propagação de ruído no meio ambiente, podendo assim, melhor projetar as edificações, dotando-as das características acústicas adequadas ao meio urbano em que está inserida e planejar os aspectos urbanos de uma cidade.

O objetivo deste trabalho é o estudo da viabilidade da utilização da técnica da intensimetria na determinação do nível de potência sonora em equipamentos ligados à construção civil, por meio das medições em uma furadeira, segundo a norma ISO 9614-2 (1993). Foram analisadas as condições de ruído de fundo a fim de se verificar a eficácia da técnica para a realização de medições em campo. Os resultados obtidos foram comparados com outras medidas executadas com a mesma furadeira por meio do procedimento da norma ISO 3741.

## MATERIAL E MÉTODOS

A técnica da intensimetria tem como função mais usual a determinação do nível de potência sonora. As dificuldades encontradas na implementação da técnica são os desvios de resultados, a complexidade de se tratar os erros e a matemática nem sempre trivial, o que restringe sua utilização ao meio acadêmico. A determinação de procedimentos práticos, acessíveis à atividade de engenharia, com uma precisão adequada a esta análise, possibilitaria a difusão da técnica de intensimetria na obtenção do nível de potência sonora de equipamentos. Brito et al. (2004) apresentaram um estudo detalhado das principais fontes de erro da intensimetria.

### Apresentação da Técnica

A obtenção da potência sonora pelas medidas da intensidade sonora é feita por meio de uma sonda com dois microfones de pressão, separados por uma distância pré-estabelecida, que enviam os sinais obtidos para um analisador de frequência, que implementa as equações 01 e 02. A equação 01 é conhecida como método direto de determinação da intensidade sonora, pois a determinação é feita diretamente pelas medidas de pressão sonora para sua posterior integração. A equação 02 é conhecida como método indireto, já que o valor de intensidade é determinado pela parte imaginária da densidade de espectro cruzado. Este método foi desenvolvido por Fahy (1977) e Chung (1977), sendo este o grande propulsor do desenvolvimento dos sistemas de medição utilizado em nossos dias. Inserindo a intensidade sonora média na equação 03, determina-se o nível de potência sonora da fonte pela integração sobre a área da superfície de um volume que envolva a fonte de ruído, conforme mostra a Figura 1.

[Equação 01]

$$I_n = -\frac{1}{\rho_0 * d} \lim_{T \rightarrow 0} \frac{1}{T} \left[ \int_0^T p_1(t) \int_{-\infty}^t p_2(\tau) d\tau \right] dt$$

[Equação 02]

$$I(w) = \frac{1}{\rho_0 * w * d} \text{Im}[G_{12}(w)]$$

[Equação 03]

$$\int_V \nabla I(t) dV \Rightarrow \int_A I(t) * \vec{n} dA = W_s$$

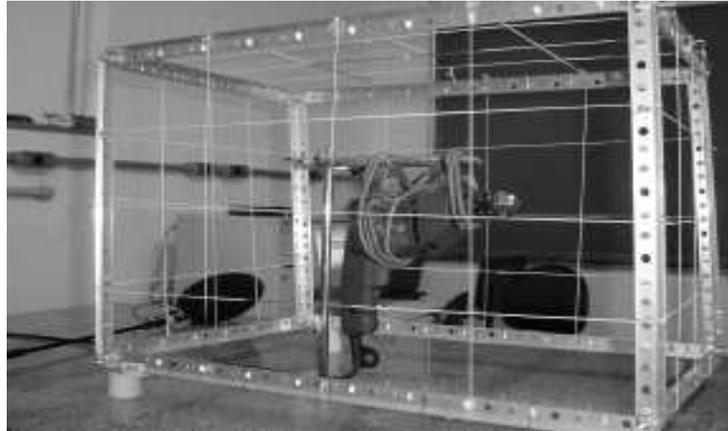


Figura 4 - Furadeira ensaiada posicionada no suporte e na superfície de medição

$I$  é o fluxo de intensidade sonora,  $p_1$  e  $p_2$  a pressão sonora nos pontos 1 e 2 separados por uma distância  $d$ ;  $\rho_0$  a densidade do meio,  $w$  a freqüência angular da onda,  $W$  a potência sonora da fonte e  $Im[G_{12}(w)]$  a parte imaginária da função de densidade espectral cruzada dos sinais dos microfones de pressão 1 e 2.

Este processo está sujeito a erros sistemáticos devido às aproximações feitas no processo de obtenção da intensidade sonora, como a aproximação do valor da variação instantânea da pressão em função da distância pela variação média,  $\left(\frac{\partial p}{\partial r} \approx \frac{\Delta p}{\Delta r}\right)$  conhecida

como variação de diferenças finitas. As imperfeições dos transdutores no processamento de sinal e o desarranjo de fase entre os canais da sonda são considerados erros aleatórios. Jacobsen, Cutanda e Jhul (1996) concluíram que a ressonância da cavidade dos microfones causa um incremento na leitura de intensidade sonora. Assim, o erro resultante é o efeito combinado do erro de aproximação de diferença finita, que é negativo, com o erro de ressonância da cavidade dos microfones, que é positivo. A configuração da sonda com separação de 12mm entre microfones praticamente elimina esse tipo de erro. Neste trabalho também foi mostrado que a distância entre os microfones deve ser igual ao seu diâmetro.

O desarranjo de fase afeta a precisão de qualquer instrumento de medição e depende da magnitude das imperfeições da diferença da pressão sonora. O efeito do desarranjo de fase pode ser obtido pela equação 04, que indica a diferença entre o nível de pressão sonora,  $L_p$ , de uma fonte e seu nível de intensidade

sonora,  $\delta_{PI}$ , conhecido como Índice Pressão Intensidade, [Equação 04]

$$\delta_{PI} = L_p - L_I$$

Como o desarranjo de fase indica um valor de  $\delta_{PI}$  que é diferente do verdadeiro valor pela introdução de um erro de leitura da intensidade,  $\delta_{PI}$  não pode ser estritamente um indicador de erro, mas pode ser um parâmetro das dificuldades de se conseguir um resultado satisfatório do valor da intensidade. Caso a sonda esteja em um campo sonoro especialmente controlado, como em um calibrador, com pressão uniforme o valor correspondente torna-se conhecido como Índice Pressão Intensidade Residual,  $\delta_{PI0}$  que é uma medida de desarranjo de fase do sistema de medição, sendo agora um indicador de qualidade.

A diferença entre  $\delta_{PI0}$  e  $\delta_{PI}$ , medido em um campo sonoro é denominado de  $L_\phi$ , Índice de Erro de Fase e determina erro  $e_\phi(I)$ , equações 05 e 06. Se for admitido um erro máximo aceitável, um critério de performance da instrumentação, este deve ser colocado em função de  $L_\phi$ . Um erro normalizado de  $\pm 0,25$  corresponde a aproximadamente a um  $L_\phi = 7 \text{ dB}$  e  $e_\phi = 1 \text{ dB}$ . A diferença entre o  $L_\phi$  da instrumentação e o  $L_{\phi_{\text{mín}}}$  aceitável para o caso estudado é denominado de Capacidade Dinâmica,  $L_D$  (equação 7). As incertezas do erro aleatório ligado ao processo de medição são limitadas pela seleção do Fator de Erro de Fase,  $K$ , de acordo com a precisão desejada. A precisão da instrumentação é especificada pela IEC 61043.

$$\delta_{PI0} - \delta_{PI} = 10 \log \left| 1 \pm \frac{1}{e_\phi(I)} \right| \quad \text{[Equação 05]}$$

$$e_\phi(I) = \left( \left| 10^{\left(\frac{L_\phi}{10}\right)} \pm 1 \right| \right)^{-1} \quad \text{[Equação 06]}$$

$$L_d = \delta_{PI0} - K \quad \text{[Equação 07]}$$

A norma ISO 9614-2 determina que o valor de  $K$  deve ser 10 para medidas com precisão de engenharia e 7 para medições aproximadas.

Outras fontes de erros aleatórios, como ruídos induzidos por vibrações, e sinais externos, como altas velocidades de fluxo de ar, impedem a obtenção do valor verdadeiro da intensidade sonora. Para contornar a dificuldade de se implementar a equação 03, utiliza-se o valor da potência média de cada área da superfície envoltória, Figura 1. Essa aproximação, baseada em dados contínuos, método de varredura, produz variáveis estatísticas como desvio padrão. A Tabela 1 indica os valores do desvio padrão de uma série de medidas em função da frequência e para vários graus de precisão.

### Procedimento Experimental

O equipamento utilizado para este experimento foi o analisador de frequência em tempo real Bruel e Kjaer (B&K) 2260 Investigator Tipo 1 com dois canais de entrada, sonda de intensimetria Bruel e Kjaer 3595, microfones B&K 4181, calibrador B&K 4231 e software de apoio BZ 7205. A fonte sonora utilizada foi uma furadeira de impacto Black and Decker com mandril de 3/4" e tensão de 127 V. A mesma foi posicionada no dispositivo de sustentação e envolta por barras de alumínio localizadas nos vértices de um paralelepípedo de modo a representar a superfície de medição conforme determina a equação 03, apresentada na Figura 1. As dimensões da superfície são 60x40x40 cm. A calibração externa dos microfones foi realizada através do calibrador B&K 4231, segundo manual de calibração.

A calibração interna dos canais dos transdutores do analisador de frequência e sonda de medição foi feita a fim de se determinar o Índice Pressão Intensidade Residual,  $\delta_{PI0}$  padrão do equipamento. Como neste trabalho busca-se a elaboração de um procedimento

de medição adequado ao uso na engenharia, não foi executada a calibração de fase do analisador de frequência, devido ao custo desse equipamento ser elevado e de difícil implementação no campo. Assim pôde-se analisar a eficiência da calibração interna do analisador B&K 2260.

A pressão no local de medição foi de 93KPa e a temperatura de 23°C, dados inseridos no analisador de frequência para correção dos resultados. Segundo Jacobsen; Cutanda e Jhul (1996), a utilização de microfones de campo livre com de 1/2" de diâmetro e com 12 mm de separação é a configuração mais precisa. A norma ISO 9614-2 determina que para medidas de 1/1 de oitava, as frequências analisadas estejam entre 125 a 4000Hz. Nesta pesquisa foram utilizados microfones de 1/2" com 12 mm de separação. Foram analisadas as frequências de 1/1 de oitava de 125 a 4000 Hz.

Os índices de campo determinados pela ISO 9614-2 estabelecem o grau de precisão das medidas e a confiabilidade dos resultados. O primeiro deles estabelece que a capacidade dinâmica,  $L_D$ , deve ser maior que o índice pressão-intensidade,  $\delta_{PI}$  ou  $F_{PI}$  como indica a norma ISO 9614-2. Vários autores, entre eles Fahy (1995), recomendam que o Índice Pressão Intensidade seja menor que 10 dB. O segundo critério é o índice de potência parcial,  $F_{PP}$ , que é determinado com uma medida de intensidade sonora no ponto onde aparentemente ela é mais significativa, seguido de um giro de 180° na sonda e nova medição. Assim consegue-se avaliar se o fluxo vetorial pela superfície de medição em um sentido é equivalente no sentido oposto. O máximo de variação permitido pela ISO 9614-2 é de 3 dB de diferença. No método de varredura, devem-se fazer pelo menos duas medições por superfícies e que elas sejam ortogonais. Assim consegue-se determinar a repetibilidade dos resultados que devem estar de acordo com os valores da Tabela 1, sendo este o terceiro índice de campo.

Tabela 1 Desvio padrão sugerido pela norma ISO 9614-2

Frequência HZ		Desvio Padrão		
Bandas de Oitava	1/3 de Bandas de Oitava	Precisão dB	Engenharia dB	Análise dB
63 - 125	50 - 160	2	3	
250 - 500	200 - 630	1,5	2	
1000 - 4000	800 - 5000	1	1,5	
	6300	2	2,5	
Escala A	-	-	-	4

O tempo de varredura de uma superfície é no mínimo 20 segundos, conforme a ISO 9614-2, com uma velocidade de deslocamento da sonda entre 0,1 e 0,5 m/s. Esses parâmetros devem ser respeitados a fim de se limitarem os erros causados pela excessiva velocidade do ar, que causam erro de leitura na sonda, e proporcionar uma integração no tempo adequada ao grau de precisão utilizado. Nesta pesquisa, a varredura foi executada em um tempo de 25 segundos, que resulta em uma velocidade média de 0,15m/s.

A primeira etapa da pesquisa consistiu em se fazer uma verificação na precisão da técnica pela comparação com medições de potência sonora dessa mesma furadeira efetuadas em uma câmara reverberante, segundo a norma ISO 3741 (1999), executadas por Santos (2004). Foram realizadas seis medidas (1 a 6) por meio da técnica de intensimetria, sendo que após as três primeiras, os microfones foram interpostos na sonda e recalibrados e, em seguida, efetuadas outras três medidas. Utilizou-se como valor final a média logarítmica entre todas as medidas. Os resultados foram corrigidos conforme calibração dos microfones fornecidos pelo fabricante, pois eram de campo livre e não de pressão e estão expostos na Figura 2. Os índices de campo das seis primeiras medidas foram analisados e estão apresentados na Tabela 2. Nos campos marcados com OK, todas as frequências atenderam aos requisitos da norma, caso contrário, a frequência que não atendeu está destacada. A repetibilidade dos resultados comparada com a recomendação da ISO 9614-2 está apresentada na Tabela 3. Os erros de diferença de fase também foram calculados pelas equações 04, 05 e 06 e estão apresentados na Tabela 4.

Na segunda etapa da pesquisa foram introduzidas no laboratório fontes coerentes com a fonte analisada, a fim de se elevar o ruído de fundo do local, e com isso averiguar a eficiência do analisador de frequência na eliminação de ruído do fundo. Para isso, em uma primeira etapa foi ligada dentro do laboratório uma furadeira semelhante à utilizada como fonte sonora e posicionada dentro de uma caixa de madeira revestida com 75mm de espuma. A tampa dessa caixa ficou aberta, permitindo o escape de ruído. Foram feitas quatro medidas (7 a 10), seguindo o mesmo procedimento de calibração e interposição de microfones. Na segunda etapa, a mesma furadeira foi posicionada a apenas 2,0 metros da superfície de medição e foram executadas duas medidas (11 e 12), novamente seguindo o mesmo procedimento. A alteração do ruído de fundo do laboratório foi registra-

da por um segundo analisador de frequência B&k 2260 pela determinação do nível de ruído equivalente,  $L_{eq}$ , em uma integração no tempo de 5 segundos, Tabela 5. Os índices de campo dessas medidas estão na Tabela 6. Na Figura 3 estão os resultados das medidas com baixo, médio e alto ruído de fundo.

## RESULTADOS

Os resultados da Figura 2 indicam o bom desempenho do sistema de medição de intensidade sonora. Nesse gráfico, "NWS INT" significa o nível de potência sonora obtido por intensimetria e "NWS REF", o nível de potência sonora da mesma furadeira obtido em câmara reverberante através da ISO 3741. Deve ser ressaltado que o ensaio em câmara reverberante também tem seus desvios, portanto estes devem ser considerados na análise, assim como no ensaio de intensimetria. Assim sendo, nesse gráfico, os resultados são analisados junto com o desvio padrão previsto em cada norma utilizada. Os índices de campo, Tabela 2, cumprem os requisitos da ISO 9614-2. Apenas na frequência de 125 Hz, a capacidade dinâmica,  $L_{Df}$ , do sistema de medição, ficou aquém dos requisitos de norma. Isto ocorreu devido à velocidade do fluxo de ar gerado pela ventoinha de resfriamento do motor da furadeira, chegando em certos pontos a 13m/s. Esta movimentação do ar causa um fluxo de intensidade negativo na superfície de medição diminuindo sua precisão. Esse fato foi significativo mesmo com o uso do protetor de vento. Houve também alterações no Índice Pressão Intensidade,  $F_{PI}$ , em algumas medidas pelo mesmo motivo. O índice que mede a Potência Parcial Reativa,  $F_{PR}$ , foi satisfeito em todas as medições, apesar do fluxo negativo da intensidade sonora. A repetibilidade das medidas ortogonais também foi satisfatória. Cabe aqui uma ressalva: este critério, além de considerar o quão é estacionário o campo acústico, está diretamente ligado à habilidade do operador da sonda em manter a velocidade de varredura constante, com o eixo ortogonal à superfície de medição e ainda varrendo sempre pela mesma linha de deslocamento, o que requer bastante treino. Os desvios padrões entre as medidas, Tabela 3, estão dentro do exigido pela norma, salvo na frequência de 125 Hz devido à velocidade do ar gerado pela ventoinha. Os erros de fase entre os canais dos transdutores, Tabela 4, apresentam resultados desprezíveis, não alterando de forma significativa os resultados, mesmo que seus canais não tenham sido calibrados.

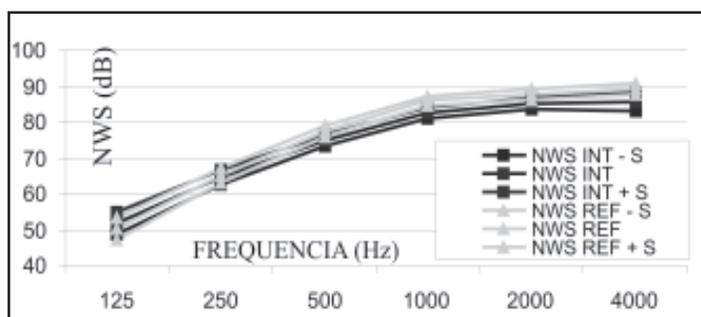


Figura 2 - Comparação dos resultados segundo as normas ISO 9614-2 e ISO 3741

Tabela 2 - Índices de campo da primeira etapa de medições

	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Medida 6
$L_d$	125Hz	125Hz	125Hz	125Hz	125Hz	125Hz
$F_{pi} < 10$	OK	125	125	125	OK	OK
$F = +/-$	OK	OK	OK	OK	OK	OK
REP	OK	125Hz	125Hz	125Hz	OK	63-125Hz

Tabela 3 - Desvio padrão das medidas comparado com o sugerido pela ISO 9614-2

Frequência Hz	Desvio padrão das medidas executadas						Desvio padrão Recomendado ISO 9614-2
	medida 1	medida 2	medida 3	medida 4	medida 5	medida 6	
125	-9,9	-9,1	-9,1	-10,2	-8,5	-8,4	3
250	0,2	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	2
500	0,2	0,3	0,1	0,0	0,1	0,0	1,5
1000	0,1	0,2	0,2	- 0,1	-0,1	-0,1	1,5
2000	0,1	0,3	0,2	0,0	-0,1	-0,1	1,5
4000	0,0	0,1	0,1	- 0,2	-0,2	-0,2	2,5

Tabela 4 - Erro devido ao desarranjo de fase, dB

Frequência Hz	Erro devido ao desarranjo de fase, dB					
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Medida 6
125	0,627	1,518	4,674	1,399	0,942	1,124
250	0,091	0,088	0,088	0,091	0,087	0,085
500	0,072	0,067	0,067	0,069	0,069	0,070
1000	0,042	0,045	0,044	0,046	0,045	0,045
2000	-0,065	-0,064	-0,064	-0,062	-0,062	-0,062
4000	-0,497	-0,496	-0,496	-0,494	-0,494	-0,494

O ruído de fundo do laboratório é composto basicamente pela pressão sonora gerada pelo ar condicionado, Tabela 5. Durante as medições, várias alterações dessa condição ocorreram, pois como se estava procurando simular situações cotidianas, foi permitido o livre circular das pessoas, ocasionando a flutuação do nível de pressão sonora. O funcionamento de outras fontes nas medidas 7 a 10 e 11 a 12 alterou significativamente o nível de pressão sonora do ambiente, Tabela 5, mas com uma mínima variação no nível de potência sonora obtido por meio da intensimetria, Figura 3.

Novamente, na frequência de 125 Hz, houve um desvio de resultados devido à baixa capacidade dinâmica do equipamento. Esse erro é gerado pela elevada velocidade do ar gerado pela ventoinha da furadeira. O tempo de reverberação do laboratório pode ser considerado adequado ao experimento e com certeza é abaixo de algumas situações reais de medição. Nesse caso, a reverberação pode ser controlada com a distribuição de placas de materiais absorventes, como espumas, e assim, com o campo sonoro menos reativo, atingir a precisão desejada.

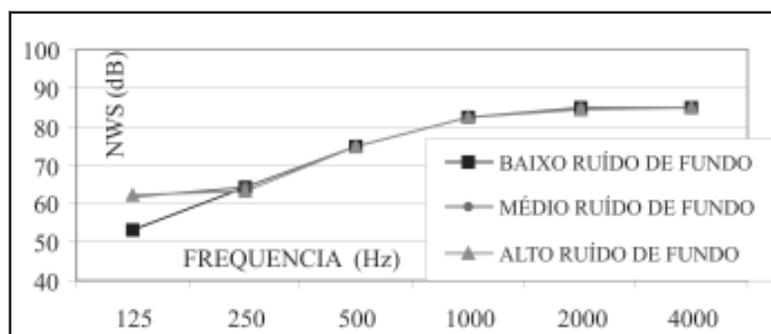


Figura 3 - Nível de potência sonora em várias condições de ruído de fundo

Tabela 5 - Nível de pressão sonora do laboratório durante as medições e tempo de reverberação

Frequência Hz	Nível de Pressão Sonora Ambiente do Laboratório (dB)	Nível de Pressão Sonora do Laboratório (dB) Medidas 1-6	Nível de Pressão Sonora do Laboratório (dB) Medidas 7-10	Nível de Pressão Sonora do Laboratório (dB) Medidas 11-10	Tempo de Reverberação do Laboratório (segundos)
125	51,4	51,7	60,5	61,2	1,10
250	47,6	59,3	59,3	61,6	0,85
500	43,8	71,2	72,8	78,5	0,90
1000	41,8	78,0	78,3	82,4	1,20
2000	37,5	81,4	81,8	84,2	1,20
4000	36,8	82,7	82,8	85,0	1,50

Obs.: Medidas de 1 a 6 realizadas nas condições normais de ruído de fundo do laboratório. Medidas de 7 a 10 com uma segunda furadeira em uma caixa de madeira revestida com material de absorção. Medidas de 11 a 12 realizadas com uma segunda furadeira posicionada a 2 metros do volume de medição.

Tabela 6 - Índices de campo durante as medições com ruído de fundo elevado

	Medida 7	Medida 8	Medida 9	Medida 10	Medida 11	Medida 12
$L_d$	OK	OK	OK	OK	OK	OK
$F_{pi} < 10$	OK	OK	OK	OK	OK	OK
$F = +/-$	OK	OK	OK	OK	OK	OK
REP	63-125	63	250	63-125	OK	125

## DISCUSSÃO

A técnica de intensimetria permite a obtenção da potência sonora de equipamentos em seu local de trabalho, conseguindo uma série de vantagens, como já mencionado. Os resultados obtidos validam a teoria. Os vetores de intensidade sonora, externos ao volume de medição não alteram de maneira significativa os resultados, tornando o método bastante confiável em medidas de campo. Alguns procedimentos simples como posicionar a fonte a, pelo menos, 1,50 m de distância de superfícies reflexivas, manter o campo reverberante controlado por meio de materiais absorvedores acústicos, manter a velocidade e inclinação da sonda constante e manter o interior do volume de medição livres de absorção acústica são importantes na obtenção de índices de campo apropriados, o que significa resultados mais precisos.

A calibração das fases da sonda de intensimetria e do analisador de frequência pôde ser dispensada, o que facilita a utilização da técnica, pois é um procedimento que exige ambientes silenciosos e bastante precisão na sua execução, situações difíceis de se encontrar em campo. O custo de aquisição do calibrador também é um fator a se considerar.

Na primeira etapa de medições, foram executadas seis medidas com um desvio padrão reduzido, o mesmo ocorrendo nas demais etapas. Em situações práticas de levantamento de campo pode-se recomendar duas medições preliminares e uma análise do desvio padrão das medidas. No caso de estarem em acordo com a ISO 9614-2 (1993), procede-se a interposição dos microfones com sua posterior calibração e a realização de mais uma medida. Havendo novamente desvios coerentes com o imposto pela norma, pode-se considerar como potência sonora da fonte a média logarítmica das três medidas. Equipamentos que produzem uma velocidade do ar acima de 5m/s devem ter especial atenção, até porque são muito comuns, já que este escoamento está relacionado com o resfriamento do motor. Fahy (1995) recomenda a aproximação das superfícies de medição da fonte emissora para uma melhor precisão dos resultados. Mas no caso de grande velocidade do ar o inverso, ou seja, afastamento da superfície de medição da fonte, pode trazer melhores resultados, à medida que a velocidade do ar diminui com a distância. A sistemática de determinação das dimensões da superfície de medição deve ser melhor estabelecida, devendo ser alvo de futuras pesquisas.

## CONCLUSÃO

A técnica da intensimetria mostrou-se confiável mesmo em situações de ruído de fundo elevado. Com apenas alguns cuidados no ambiente de medição, a intensimetria pode ser implementada no campo por pessoas com uma mínima formação técnica, tornando-se uma precisa fonte de dados para sistemas de predição de propagação de ruído ambiental. O efeito da velocidade do ar na sonda de medição precisa ser melhor estudado a fim de se determinar a distância adequada entre a fonte de ruído e a superfície de medição de modo que a precisão não seja alterada e que permita uma diminuição da velocidade do ar.

## ABSTRACT

The acoustic comfort in big cities is each time more rare. Few cities possess an adjusted legislation on the subject. Our legislators and city planners little take in account the parameter noise when they elaborate the managing plan of a city, many times, for not making use of adequate information. One of the most important sources in the environmental noise is the civil construction that is present everywhere on urban space. Not rare, these activities are executed at night, aggravating the problem. The knowledge of the sound power level (NWS) of these sources is the base for the research of its propagation. The objective of this work is to present the results of the use the intensity technique on determination of the NWS of an electric drill, the inherent errors to method according to ISO 9614-2, Acoustics determination of sound to power levels of noise sources by sound intensity measurement - measurements for scanning. This technique allows to the attainment of the NWS *in situ*, without special chambers. The precision of the results was evaluated through the comparison with NWS of this wimble determined in reverberant chamber according to ISO 3741, Determination of sound to power levels of noise sources using sound pressure.

## KEY-WORDS

Environmental noise. Intensity. Sound power level.

## AGRADECIMENTOS

Aos Srs Obadias Pereira da Silva Jr e Daniel Celente do Laboratório de Conforto Ambiental e Física da Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP pela preciosa ajuda nas medições. A Furnas Centrais Elétricas pela

cessão dos equipamentos necessários à execução desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

BRITO, L.A. et al. Determinação da potência sonora de uma furadeira através da intensimetria, apresentação da técnica, In: ENCONTRO NACIONAL DA TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. *Analís...* ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2004. Trabalho 860.

BRUEL; KJAER. Technical Documentation, Sound Intensity Software BZ7205, Naerum, 1997. Research publication of Bruel & Kjaer Sound and Measurement S.A.

CHUNG, J. Y. *Cross-spectral method of measuring acoustic intensity*. Michigan, 1977. Research Publication of General Motors.

FAHY, F. J. Measurements of acoustic intensity using the cross spectral density of two microphones signals, *Journal of Acoustical Society of America*, v. 62, p. 1057- 1059, 1977.

\_\_\_\_\_, *Sound Intensity*, London, 2 nd. ed. London E&FN SPON, 1995, 294p.

JACOBSEN, F.; CUTANDA, V., JHUL, P. M. A sound intensity probe for measuring from 50 Hz to 10 KHz. In: INTERNOISE 96. 1996, Liverpool. *Proceedings...* 1996, p. 3356-3361.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 3741*: Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Precision methods for reverberation rooms. Geneva, 1999.

\_\_\_\_\_, *ISO 9614-2*, Acoustics determination of sound power levels of noise sources by sound intensity measurement – Measurements for Scanning, Geneva, 1993.

\_\_\_\_\_, *ISO/IEC/1043*. Instruments for the measurements of sound intensity, Geneva, 1991

MAIA, P. A. O ruído nas obras da construção civil, e o risco

de surdez ocupacional. 2001. 145f, Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

ROLLA, S. Ruído na construção civil, In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 17., 1996, Petrópolis, *Analís...* Florianópolis: SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 1996. p. 352- 359.

ROTT, J. A. *Mapa simplificado de ruídos para a cidade de Porto Alegre*. 1995. 187f. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

SANTOS. C. *Investigação sobre métodos de determinação de potência sonora visando programa de etiquetagem de ferramentas elétricas de uso doméstico*. 2004. 162f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SATTLER, M. A., ROTT, A. A., CORADINI, R. A. Avaliação do Ruído Ambiental em Porto Alegre, In: ENCONTRO NACIONAL DA TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6. 1995, Rio de Janeiro, *Analís...* Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1995. p. 647 - 652.

SCHIMTT, I. N. et al. Gestão ambiental no controle da poluição sonora: A experiência de Porto Alegre, In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 19., 2000, Belo Horizonte, *Analís...* Florianópolis: SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 2000, p. 398 - 415.

### Luiz Antonio Perrone Ferrelira de Brito

Universidade de Taubaté, UNITAU, Departamento de Arquitetura  
End.: Praça Felix Guisard 120, Taubaté - SP.  
e-mail: labrito@bigghost.com.br

## TRAMITAÇÃO

Artigo recebido em: 17/08/2005

Aceito para publicação em: 27/01/2006