

# O conforto acústico em escritórios panorâmicos: estudo de caso em um escritório real

*Acoustic comfort in open-plan offices: case study of a real office*

Carolina Reich Marcon Passero  
Paulo Henrique Trombetta Zannin

## Resumo

**E**scritórios panorâmicos são normalmente caracterizados por ambientes ruidosos. Este trabalho tratou da avaliação acústica de um escritório desse tipo. Para isso, foram realizadas medições do ruído ambiente e do tempo de reverberação. Os valores encontrados para o nível de pressão sonora foram de 64,9 a 67,2 dB(A), sendo o ruído predominante nas bandas de frequência de 500 a 2.000 Hz, frequências típicas da fala humana. Já para o tempo de reverberação, os valores encontrados foram de 1,25, 1,31 e 1,29 s para as frequências de 500, 1.000 e 2.000 Hz respectivamente. Tanto os valores de nível de pressão sonora como os valores de tempo de reverberação estão muito elevados. Para a pressão sonora, os valores ideais são de 45 a 65 dB(A); para o tempo de reverberação, o valor deve ser inferior a 0,5 s para as bandas de frequência de 500, 1.000 e 2.000 Hz. Após a avaliação, melhorias acústicas para o ambiente foram sugeridas. Essas sugestões reduziram o nível de pressão sonora em até 5,6 dB na frequência de 1.000 Hz e o tempo de reverberação para 0,3 s nessa mesma frequência. Após a instalação do tratamento acústico no ambiente, novas medições de tempo de reverberação e do nível de pressão sonora foram realizadas, comprovando a eficácia do projeto acústico.

**Palavras-chave:** Escritório Panorâmico. Tempo de Reverberação. Ruído Ambiente. Melhorias Acústicas.

## Abstract

*Open-plan offices are normally noisy working places. In this study, an acoustical evaluation of a real open-plan office was performed. Ambient noise and reverberation time were measured. Sound pressure levels of 64.9-67.2 dB(A) were determined, with noise mostly within the frequency range of 500 to 2000 Hz, which is typical of human speech. Reverberation times of 1.25, 1.31, and 1.29s were detected for the frequencies of 500, 1000, and 2000 Hz, respectively. Both sound pressure levels and reverberation times are too high. Optimal values for sound pressure levels are in the range of 45 to 65 dB(A), while reverberation time values should be below 0.5 s for the frequencies of 500, 1000, and 2000 Hz. After the evaluation, acoustical improvements to the office were suggested. These improvements would be able to reduce sound pressure levels by 5.6 dB, and reverberation time down to 0.3s, both in the frequency of 1000 Hz. After the acoustical treatment, new measurements confirmed the adequacy of the acoustical design.*

**Keywords:** Open-plan office. Reverberation time. Ambient Noise. Acoustic Improvements.

Carolina Reich Marcon  
Passero  
Laboratório de Acústica  
Ambiental - Industrial e  
Conforto Acústico  
Universidade Federal do Paraná  
Centro Politécnico, s/n, Jardim  
das Américas  
Curitiba - PR - Brasil  
CEP 81540-420  
Tel.: (41) 3361 3433  
E-mail: cal@onda.com.br

Paulo Henrique Trombetta  
Zannin  
Laboratório de Acústica  
Ambiental - Industrial e  
Conforto Acústico  
E-mail:  
paulo.zannin@pesquisador.cnpq  
p.br

Recebido em 12/11/2008  
Aceito em 20/02/2009

## Introdução

A questão da qualidade acústica no ambiente de trabalho pode ser dividida em dois grandes setores: o ambiente industrial e o ambiente comercial. Esses setores dividem-se em vários subsetores, de acordo com as atividades realizadas, tendo cada um deles necessidades ambientais específicas. Ambientes com níveis de ruído inferiores aos encontrados no chão de fábrica, escritórios técnico-administrativos de indústrias, bancos e outros ramos comerciais devem ser tratados acusticamente.

Os escritórios, em relação ao tipo de organização do espaço, podem ser divididos em dois setores: escritórios fechados, ou convencionais, e escritórios de plano aberto, ou panorâmicos.

Segundo Durval, Charles e Veitch (2002), desde 1960 os escritórios panorâmicos são populares entre os profissionais de projeto. A necessidade de comunicação e a busca de intensa produtividade levaram a seu surgimento. Conforme Duffy (1980), as características dos escritórios desenhados com esse conceito são as grandes plantas abertas, com um meio de trabalho organizado de uma forma livre, e não de maneira geométrica e retilínea.

Enquanto essa forma de organizar o ambiente traz vantagens a seus usuários, devido à rapidez na comunicação e ganho de produtividade, gera prejuízos no que diz respeito ao conforto, à privacidade da fala e à capacidade de concentração. Por isso, um correto tratamento acústico do ambiente torna-se necessário. Conforme Nijs *et al.* (2002), a necessidade de planejamento acústico nesses locais tem crescido, pois profissionais têm concebido arquitetonicamente grande número de ambientes com o conceito de plano aberto.

A ausência de partições altas e de portas beneficia a visualização de todo o ambiente, a comunicação entre os usuários e o acesso a departamentos, além de proporcionar maior flexibilidade ao layout, entretanto, como ponto negativo, amplia a interferência sonora entre os postos de trabalho, gerando falta de inteligibilidade e de privacidade da fala nesses locais (NOGUEIRA, 2002). Segundo Yoon e Loftness (2002), a falta de privacidade é apontada como o fator de maior insatisfação entre os ocupantes de escritórios panorâmicos.

Durval, Charles e Veitch (2002) atentam para o fato de que escritórios panorâmicos comportam uma maior densidade de ocupantes que escritórios convencionais. Segundo Hongisto, Keranen e

Larm (2004), escritórios de planta aberta, em substituição aos convencionais, intensificam a densidade de trabalhadores de 100% a 200%. Isso pode causar um problema, pois estudos mostram que, quanto mais espaço tem um empregado, mais satisfeito ele está com seu ambiente de trabalho (DURVAL; CHARLES; VEITCH, 2002). Os mesmos autores enfatizam que a densidade de trabalhadores adequada em um escritório pode ser determinada pela atividade realizada no local. Muitas vezes, em escritórios panorâmicos, principalmente de empresas de pequeno e médio portes, várias atividades são desenvolvidas no mesmo ambiente de trabalho, negligenciando as exigências ambientais necessárias para a realização de cada tarefa.

Segundo Knudsen e Harris (1988), trabalhadores de escritórios, bancos e lojas geralmente preferem ambientes silenciosos. Muitos dizem que se sentem menos cansados ao final do dia se não estiverem expostos a elevados níveis de ruído. Estudos em escritórios panorâmicos mostram que o ruído nesses ambientes pode ser estressante e desmotivante (EVANS; JOHNSON, 2000) e pode ocasionar alto grau de distração e baixo nível de privacidade (HEDGE, 1982).

Conforme análise de questionários, a fala é a fonte sonora de maior incômodo em escritórios panorâmicos (HONGISTO; KERANEN; LARM, 2004). A conversação de maior distração é a vinda das estações de trabalho mais próximas. Então, a privacidade da fala entre estações de trabalho deve ser a maior possível, mas essa é tipicamente inferior àquela encontrada em escritórios de planta fechada. O nível sonoro em grandes escritórios, segundo Bobram (1995), encontra-se na faixa de 55 a 65 dB(A), enquanto em escritórios fechados o nível sonoro encontra-se em torno de 35 dB(A).

Em relação ao meio, a acústica de escritórios panorâmicos pode ser melhorada tecnicamente por três fatores principais: a) a absorção da sala, a qual reduz a reverberação e as reflexões recentes; b) as barreiras, que controlam o som direto; e c) o mascaramento artificial do som, o qual proporciona um ambiente sonoro uniforme em escritórios panorâmicos (HONGISTO; KERANEN; LARM, 2004). Segundo a Norma E 1374-02 (ASTM, 2002), o alcance da privacidade entre estações de trabalho é determinado pela influência que um local de trabalho exerce sobre o outro. Esse grau de interferência depende da amplitude e da orientação da fonte sonora, da atenuação do som pela distância, da proteção por barreiras, da absorção do ambiente, do nível de

pressão sonora no local do ouvinte, o que é influenciado principalmente pelo sistema de mascaramento e sistema de ar-condicionado e ventilação. Além disso, a disposição do mobiliário e a orientação do orador e do ouvinte influenciam na privacidade nesses ambientes (ASTM, 2002). A orientação do orador é um fator importante em escritórios panorâmicos, havendo uma redução de aproximadamente 10 dB no nível de pressão sonora quando medido em um ponto nas costas de um orador em relação ao ponto medido em sua frente, quando a fonte sonora principal é a fala desse orador (EGAN, 1988).

Segundo Harris (1998), para se obter nível de privacidade aceitável, o som refletido por superfícies horizontais e verticais deve ser reduzido. A fim de se intensificar o desempenho das divisórias, é necessário que o material do teto tenha um alto coeficiente de absorção, especialmente nas bandas de frequência da fala, 500 a 4.000 Hz. A importância do material do teto deve-se à geometria típica de ambientes panorâmicos, a qual é de grandes dimensões e tem a altura até o teto inferior à metade da dimensão horizontal menor. Segundo Knudsen e Harris (1988), para ambientes com essas características, o teto é a melhor superfície para o tratamento da absorção. Entretanto, além do teto, as superfícies verticais podem refletir o som próximo à barreira, reduzindo sua atenuação. Essas superfícies, e as próprias barreiras, devem ser revestidas com material absorvente. Dessa forma, as estações de trabalho próximo às janelas são acusticamente prejudicadas, pois o vidro tem um baixo coeficiente de absorção, intensificando as reflexões nesse local.

Com o exposto, percebe-se que os ambientes de escritórios panorâmicos são prejudicados acusticamente pela grande densidade de trabalhadores e reduzido isolamento sonoro entre eles. Assim, esses ambientes devem ser estudados como casos especiais. Este trabalho se propôs a realizar tal estudo.

O objetivo deste estudo é a avaliação e o melhoramento do ambiente acústico de um grande escritório. Assim, o ambiente acústico do escritório panorâmico foi avaliado, foram realizadas sugestões de melhoramento acústico e, após a implantação do projeto, foi realizada uma nova avaliação do escritório.

## Método de pesquisa

Este trabalho, o qual tem como objeto de estudo um escritório panorâmico de uma grande empresa brasileira, pode ser dividido em três etapas:

(a) avaliação do ambiente acústico;

(b) proposições de melhorias acústicas; e

(c) reavaliação do ambiente acústico após a implantação das melhorias.

## Avaliação do ambiente acústico e reavaliação após a implantação das melhorias

Nessas etapas, foram realizadas medições acústicas in situ e, através dos dados medidos, cálculos dos parâmetros acústicos. Foram obtidos:

(a) o ruído ambiente; e

(b) o tempo de reverberação.

As medições do ambiente antes da instalação do material acústico foram realizadas em meados de 2006. Já as medições posteriores foram realizadas no ano seguinte.

A medição do ruído ambiente foi realizada com o escritório em horário normal de funcionamento, ou seja, foi medido o ruído gerado pelas atividades realizadas no local. Para essa medição foi utilizado o analisador sonoro da Brüel e Kjaer, BK 2260. Conectado ao analisador acústico estava o microfone BK 4189. A Figura 1, a seguir, mostra a carta de calibração original, com o número 704215, do microfone BK 4189, realizada nos laboratórios da Brüel & Kjaer (Dinamarca) em 14 de novembro de 2005.

As medições do ruído ambiente foram realizadas conforme prescrito na Norma Brasileira NBR 10151 (ABNT, 2000). Os pontos de medição foram selecionados de forma a abranger toda a extensão do escritório, totalizando quatro pontos de medição na primeira avaliação e dez pontos na avaliação posterior, após a implantação do projeto acústico. O tempo de medição em cada ponto foi de 5 minutos. Após esse tempo, percebeu-se que os parâmetros de nível de pressão sonora se tornavam estáveis, não havendo modificação deles com um maior tempo de medição.

A medição do tempo de reverberação foi realizada fora do horário de funcionamento do escritório, pois os ruídos do local prejudicariam essa medição. As medições do tempo de reverberação foram realizadas segundo o prescrito na Norma Internacional ISO 3382 (ISO, 1997). Na primeira avaliação, a fonte sonora foi disposta em duas posições distintas, posições A e B. Para a posição de fonte A, o microfone foi disposto em 6 pontos, e para a posição B, em 9, gerando um total de 15 pontos de medição. Para a avaliação posterior, após a implantação do projeto acústico, a fonte sonora foi disposta em 3 pontos. Para cada posição de fonte o microfone assumiu 3 localizações, totalizando 9 pontos de medição.

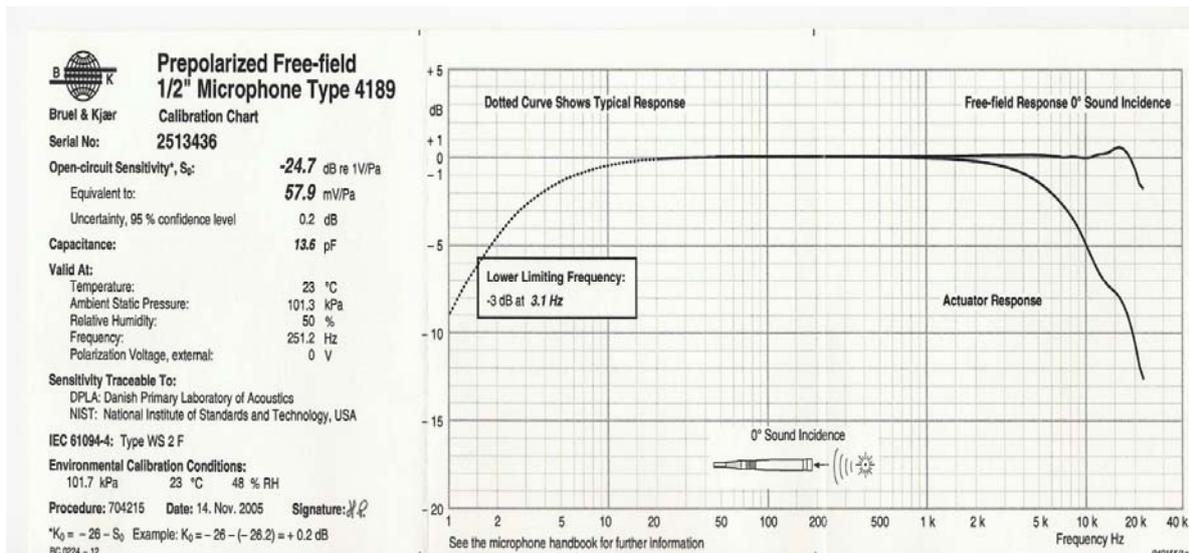


Figura 1 - Carta de calibração do microfone BK 4189, conectado ao analisador acústico BK 2260

Essas modificações no posicionamento dos pontos de medição, da avaliação antes das modificações para a avaliação após a implantação do projeto acústico, fizeram-se necessárias pelas exigências da norma ISO 3382 (ISO, 1997), principalmente no que diz respeito à relação entre sinal e ruído no momento da medição do tempo de reverberação. Para se obter esse parâmetro, T30, a relação entre sinal e ruído deveria ser de no mínimo 45 dB(A) (ISO 3382, 1997).

Nessa avaliação, as medições foram realizadas com o software para análise da resposta impulsiva, DIRAC 3.1 (BRUEL; KJAER, 2003). Além do software, foram utilizados um notebook, uma interface de áudio (Fireface 800), um amplificador de potência sonora (BK 2716), uma fonte sonora onidirecional (BK 4296) e o analisador acústico BK 2260. A medição procede da seguinte forma:

- (a) o software DIRAC 3.1, que está instalado no notebook, gera o sinal sonoro – nesse caso foi utilizado o sinal do tipo varredura logarítmica;
- (b) esse sinal passa pela interface de áudio e pelo amplificador de potência, sendo emitido através da fonte sonora onidirecional;
- (c) a resposta da sala é captada pelo microfone, que está conectado ao analisador acústico; e
- (d) essa resposta passa pela interface de áudio e chega ao software, que, então, realiza o cálculo do tempo de reverberação através da resposta impulsiva.

### Proposições de melhorias acústicas

As sugestões de melhoramento da qualidade acústica do ambiente foram baseadas em cálculos, com as seguintes etapas:

- (a) média aritmética dos resultados de tempo de reverberação dos 15 pontos, medidos na primeira avaliação acústica, nas frequências de banda de oitava de 125 a 4.000 Hz;
- (b) cálculo da absorção sonora existente através da fórmula de Sabine:

$$A = \frac{0,161 \times V}{T_R} \tag{1}$$

- (c) após isso, as áreas de absorção dos materiais propostos foram substituídas pelas áreas de absorção dos materiais existentes no teto e em parte das paredes. Tal modificação foi realizada alterando-se o coeficiente de absorção dos materiais ( $\alpha$ ), com a fórmula 2. Para o cálculo do TR com essa nova área de absorção, foi utilizada a fórmula de Sabine:

$$A = S \times \alpha \tag{2}$$

Para o cálculo aproximado da redução do nível de pressão sonora após a substituição dos materiais, foi utilizada a fórmula sugerida por Harris (1994). Harris afirma o seguinte:

*Se o som emitido pelas fontes sonoras dentro de uma sala permanece constante, a redução do nível de ruído (do som difuso) através da instalação do material absorvente é dada por:*

$$\text{Redução do Ruído} = 10 \log \frac{A_{\text{depois}}}{A_{\text{antes}}} \quad (3)$$

Sendo:

a redução do ruído a diferença entre o nível de pressão sonora atual e após a substituição dos materiais;

$A_{\text{depois}}$ : a área de absorção acústica após a substituição dos materiais;

$A_{\text{antes}}$ : a área de absorção acústica anterior à substituição dos materiais.

Tanto Harris (1994) quanto Kuttruff (2004) mostram que a utilização dessa equação leva à redução de 3 dB no nível sonoro do ambiente quando sua absorção é dobrada.

## Resultados e Discussões

### Avaliação do ambiente acústico

Para a avaliação do conforto acústico no escritório panorâmico em estudo, foram realizadas medições do ruído ambiente e medições do tempo de reverberação.

#### Medições do ruído ambiente

Na avaliação do nível de pressão sonora dentro do escritório, enquanto esse estava em pleno funcionamento, foi medido o nível sonoro equivalente  $L_{eq}$  em dB(A).

A Tabela 1 apresenta os valores pontuais dos níveis sonoros no ambiente, assim como o valor resultante de uma média espacial deles. Os resultados das medições apresentados na Tabela 1 mostram que os níveis sonoros equivalentes são similares aos resultados obtidos em medições referenciadas na literatura internacional

(BOBRAN, 1995), a qual aponta valores dos níveis sonoros equivalentes  $L_{eq}$  em grandes escritórios na faixa de 55–65 dB(A). Além disso, a norma brasileira NBR 10152 (ABNT 1987) recomenda os níveis de 45 a 65 dB(A) para escritórios, salas de computadores, especificação de ambiente mais próxima à dos escritórios estudados encontrada nessa norma. Segundo essa norma, para o conforto acústico, o nível deve ser de até 45 dB(A), sendo aceitável até 65 dB(A). Assim, para a norma NBR 10152 (ABNT, 2000), o escritório estudado está acusticamente desconfortável, com níveis de pressão sonora acima do valor máximo considerado como aceitável, 65 dB(A).

Profissionais da saúde do trabalhador recomendam os seguintes níveis sonoros em função do nível de exigência intelectual no ambiente de trabalho (BOBRAN, 1995):

- (a) nível elevado:  $L_{eq}=50\text{dB}(A)$ ;
- (b) nível médio:  $L_{eq}=50\text{--}60\text{dB}(A)$ ; e
- (c) demais casos:  $L_{eq}=50\text{--}70\text{dB}(A)$ .

Do ponto de vista da saúde do trabalhador, os valores medidos, conforme a Tabela 1, estão muito acima dos níveis aceitáveis para trabalho que necessite médio e elevado nível de concentração intelectual.

As atividades desenvolvidas no local avaliado exigem de médio a elevado nível de concentração intelectual. Portanto, o ambiente em estudo pode ser considerado um local não adequado às atividades nele desenvolvidas em função dos níveis sonoros ambientais atualmente presentes.

Outra análise realizada foi a medição do nível de pressão sonora em frequências. A Figura 2 mostra essa medição em um dos pontos avaliados.

Pontos de Medição	$L_{eq}$ dB(A)
Ponto 1	65,3
Ponto 2	64,9
Ponto 3	67,2
Ponto 4	65,8
<b>Nível Sonoro Médio</b>	<b>65,9</b>

Tabela 1 - Níveis sonoros medidos no "Escritório Ocupado" na primeira avaliação

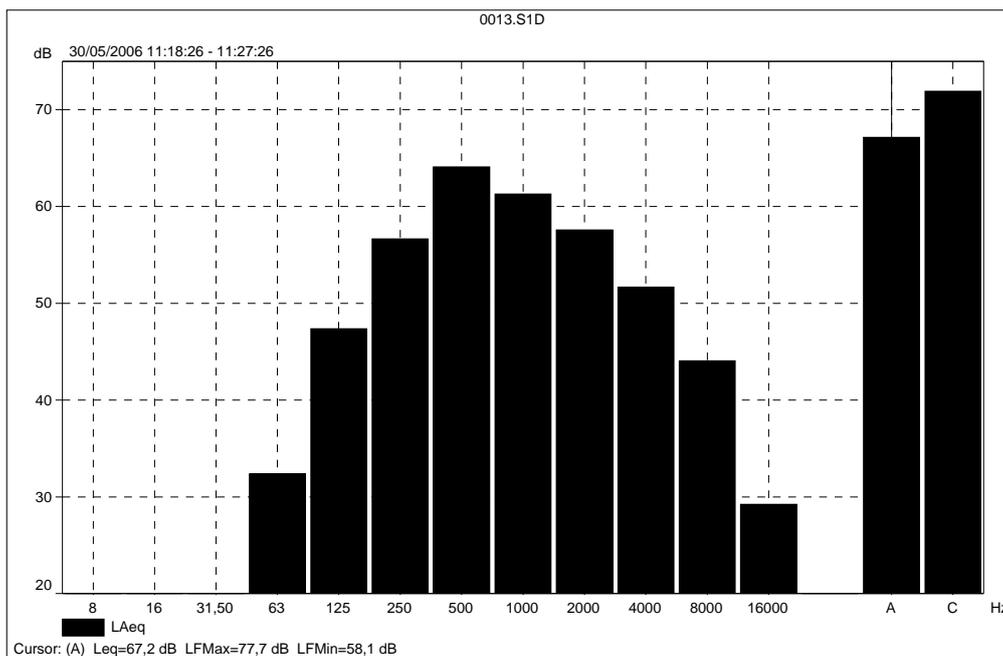


Figura 2 - Medição do nível de pressão sonora com ponderação em A por frequência

A Figura 2 indica que o som no local concentra-se predominantemente na faixa de frequências entre 250 Hz e 4.000 Hz. Essa faixa de frequência caracteriza as emissões da voz humana.

A síntese das análises realizadas leva à conclusão de que o ambiente é caracterizado por níveis constantes de ruído advindos das conversações no local, fruto da grande densidade de indivíduos ali presentes.

#### Medição do tempo de reverberação

Pelos critérios utilizados, as análises anteriores mostraram que o ambiente em foco é, em função das atividades nele desenvolvidas, desprovido de conforto acústico.

A fim de caracterizar mais detalhadamente a qualidade do ambiente e, a partir daí, buscar a solução para o tratamento acústico dele, foram realizadas medições do tempo de reverberação (TR).

Segundo a norma brasileira NBR 12179 (ABNT, 1992), o tempo de reverberação é definido como o tempo necessário para que o som deixe de ser ouvido em um ambiente após a extinção da fonte sonora. Tecnicamente, o tempo de reverberação é o tempo necessário para que o som sofra um decréscimo de 60 dB, uma vez cessada a emissão sonora. A caracterização do tempo de reverberação ótimo para grandes escritórios foi realizada com base nas recomendações da norma alemã VDI 2569 (1990) intitulada *Schallschutz und Akustische Gestaltung im Büro* (Controle de ruído e

tratamento acústico em escritórios) (FREYMUTH *et al.*, 2002).

No Brasil, não existe norma técnica específica para controle de ruído e tratamento acústico de escritórios. A norma brasileira NBR 12179 (ABNT, 1992) apresenta recomendações para tempos de reverberação ótimos em ambientes como:

- (a) estúdio de rádio para a palavra;
- (b) sala de conferência;
- (c) cinema;
- (d) estúdio de rádio para a música;
- (e) sala de concerto;
- (f) igreja protestante;
- (g) sinagoga;
- (h) igreja católica;
- (i) ópera; e
- (j) música de órgão.

Como pode ser observado, nenhum dos ambientes acima citados mantém qualquer relação funcional com um grande escritório, donde se conclui que a NBR 12179 (ABNT, 1992) não pode ser aplicada para a avaliação desse ambiente.

Na Tabela 2, podem ser vistos os tempos de reverberação medidos nos 15 pontos e o valor do tempo de reverberação resultante da média espacial dos tempos de reverberação nesses pontos.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1.000 Hz	2.000 Hz	4.000 Hz
1A (s)	1,02	1,02	1,19	1,22	1,23	1,10
2A (s)	1,13	1,20	1,28	1,33	1,33	1,27
3A (s)	1,18	1,25	1,14	1,36	1,32	1,25
4A (s)	1,36	1,19	1,38	1,38	1,33	1,28
5A (s)	1,11	1,19	1,35	1,31	1,28	1,25
6A (s)	1,17	1,28	1,17	1,35	1,32	1,26
1B (s)	1,25	1,28	1,24	1,30	1,24	1,22
2B (s)	1,14	1,25	1,32	1,33	1,31	1,27
3B (s)	1,18	1,30	1,28	1,34	1,29	1,25
4B (s)	1,39	1,27	1,29	1,37	1,35	1,28
5B (s)	1,13	1,12	1,16	1,31	1,28	1,21
6B (s)	1,10	1,16	1,31	1,31	1,26	1,27
7B (s)	1,24	1,19	1,25	1,21	1,23	1,25
8B (s)	1,06	1,09	1,23	1,23	1,30	1,24
9B (s)	1,00	1,17	1,23	1,30	1,32	1,25
<b>Tempo de Reverberação Médio (s)</b>	<b>1,16</b>	<b>1,20</b>	<b>1,25</b>	<b>1,31</b>	<b>1,29</b>	<b>1,24</b>

Tabela 2 - Tempos de reverberação medidos na primeira avaliação

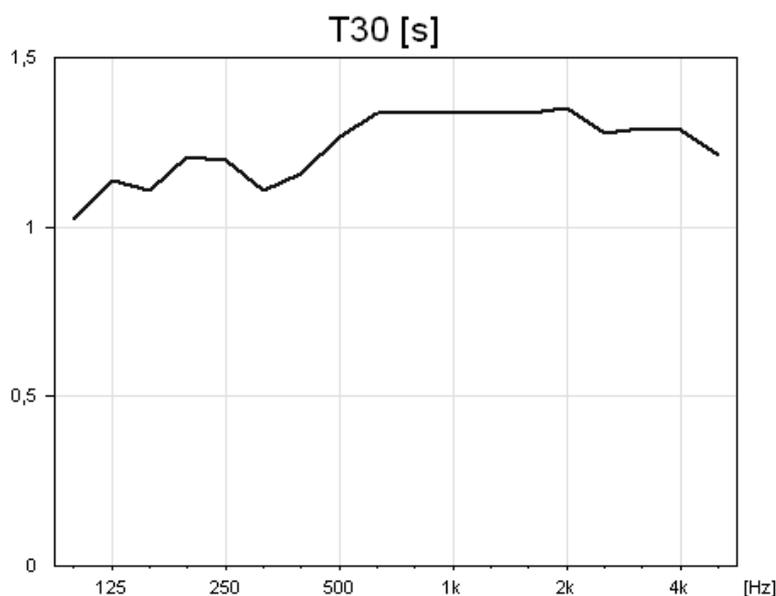


Figura 3 - Tempo de reverberação em função da frequência para o ponto 2A

A norma alemã VDI 2569 (1990) recomenda um valor menor ou igual a 0,5 s para o tempo de reverberação médio nas frequências de 500, 1.000 e 2.000 Hz (FREYMUTH *et al.*, 2002).

Na Tabela 2, observa-se que os tempos de reverberação medidos estão bem acima de 0,5 s. Tempos de reverberação elevados tornam a sala acusticamente “viva”, ou seja, grande parte da emissão sonora que encontra anteparos como paredes, teto, piso e divisórias é refletida. Em outras palavras, permanece no ambiente, o que

vem a causar uma sensação de desconforto acústico constante nos indivíduos afetados. No caso de locais com grandes dimensões e com muitas fontes sonoras, um alto tempo de reverberação cria um ambiente bastante desconfortável, opressor, que dificulta a concentração dos funcionários e a realização de suas tarefas.

A Figura 3 mostra o gráfico do tempo de reverberação medido em um dos pontos avaliados.

Nessa figura percebe-se o aumento do tempo de reverberação na faixa de frequência entre 500 e 2.000 Hz, o que é apontado como ponto negativo do condicionamento acústico do local, pois no escritório estudado há predominância sonora justamente nessas frequências. Um maior tempo de reverberação na frequência sonora dominante dos sons em um local significa que o som permanecerá por mais tempo no ambiente.

### Proposições de melhorias acústicas

Como apresentado anteriormente, o escritório avaliado apresenta problemas de condicionamento acústico. Esses problemas estão relacionados ao elevado nível de pressão sonora e elevado tempo de reverberação.

Esses dois itens possuem grande correlação, pois o elevado tempo de reverberação, consequência da baixa absorção sonora existente, amplifica o som no ambiente, o que eleva os níveis de pressão sonora. O escritório em estudo pode ser tratado através de:

- (a) redução da densidade de trabalhadores, o que gera uma diminuição do número de fontes sonoras e um maior distanciamento entre as fontes; e
- (b) organização espacial por grupos de trabalhadores com atividades relacionadas. Entre esses grupos deve haver um espaço de corredor para que haja maior distanciamento entre grupos de fontes sonoras, tornando-os independentes, ou seja, que não haja influência de uns sobre os

outros; aumento da altura das divisórias entre as estações de trabalho, que é de aproximadamente 1,00 m, para no mínimo 1,20 m a partir do nível do chão e revestimento dessas divisórias com material absorvente, o que geraria uma redução do som direto, já que a altura de 1,20 m representa a altura média da boca de uma pessoa sentada; e aumento da absorção acústica do ambiente.

Por exigência dos administradores da empresa, os itens a, b e c não poderiam ser colocados em prática. Em relação ao item d, as superfícies da sala que devem ser tratadas acusticamente são o teto, com área de 995 m<sup>2</sup>, e parte das paredes, somando 129 m<sup>2</sup>.

O projeto acústico do escritório em questão consistiu no tratamento acústico das superfícies do teto e parte das paredes. Foram utilizados forros acústicos com lã de vidro e revestimento em véu de vidro, tecido ou plástico. Outra opção sugerida foi a utilização de placas planas de espuma de poliuretano, as quais são caracterizadas pela elevada absorção acústica, principalmente em altas e médias frequências.

O forro foi projetado em todo o teto, com exceção da área onde existia uma clarabóia. Quando utilizado nas paredes, o material acústico foi instalado na parte superior até 1,65 m do chão, como mostra a Figura 4.

A Tabela 3 mostra os materiais absorventes sugeridos para o teto e paredes, a fim de melhorar a qualidade acústica do escritório.

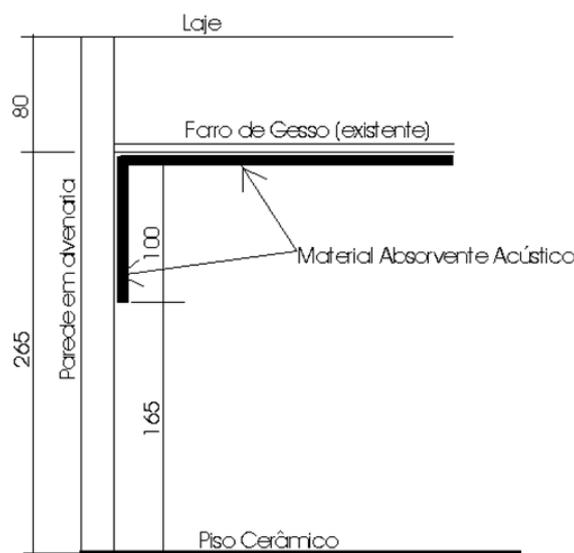


Figura 4 - Local de instalação do material absorvente acústico

Frequência (Hz)	Material de absorção no teto e em parte das paredes	Área de absorção acústica (m <sup>2</sup> )	Tempo de reverberação (s)	Redução de ruído (dB)
500	Forro em lã de vidro densidade 60 kg/m <sup>3</sup> revestido com PVC microperfurado espessura 25 mm	1.219,84	0,40	5,01
1.000		1.492,14	0,32	6,07
2.000		1.272,22	0,38	5,32
500	Forro em lã de vidro densidade 80 kg/m <sup>3</sup> revestido com véu de vidro espessura 25 mm	1.219,84	0,40	5,01
1.000		1.373,36	0,35	5,71
2.000		1.339,63	0,36	5,54
500	Placas planas de espuma de poliuretano densidade 30 kg/m <sup>3</sup> espessura 35 mm	837,58	0,58	3,37
1.000		1.143,61	0,42	4,91
2.000		1.418,38	0,34	5,79
500	Placas planas de espuma de poliuretano densidade 30 kg/m <sup>3</sup> espessura 50 mm	1.141,14	0,42	4,72
1.000		1.334,74	0,36	5,58
2.000		1.440,86	0,34	5,86
500	Placas planas de espuma de poliuretano densidade 30 kg/m <sup>3</sup> espessura 75mm	1.410,97	0,34	5,64
1.000		1.537,11	0,31	6,20
2.000		1.497,08	0,32	6,02
500	Painéis de lã de vidro densidade 60 kg/m <sup>3</sup> revestido com tecido espessura 25 mm	1.298,54	0,37	5,28
1.000		1.435,93	0,34	5,90
2.000		1.395,89	0,35	5,72

Tabela 3 - Redução de ruído conforme a equação 3 após a utilização de material absorvente

Antes do tratamento acústico, o escritório em estudo apresentava área de absorção acústica de 385,27 m<sup>2</sup>, 369,13 m<sup>2</sup> e 374,07 m<sup>2</sup> para as frequências de 500, 1.000 e 2.000 Hz consecutivamente. O projeto resultou em uma área de absorção aproximada de 1.300 m<sup>2</sup>, o que significa triplicar a área de absorção acústica do escritório avaliado.

Deve-se salientar que o objetivo desse projeto acústico foi reduzir o som difuso, ou seja, aquele que encontra obstáculos e é refletido. O som direto não foi reduzido, pois esse independe da absorção sonora do meio.

### Reavaliação após a implantação do projeto acústico

Após a implantação do projeto acústico, novas medições do tempo de reverberação e do nível de pressão sonora foram realizadas. Optou-se pela instalação do forro de lã de vidro com densidade de 60 kg/m<sup>3</sup> revestido com PVC microperfurado e espessura de 25 mm no teto e em parte das paredes do escritório, conforme a Figura 4. Tal material foi selecionado por apresentar desempenho acústico adequado (Tabela 3) e por ser de fácil manutenção

e limpeza. Além disso, apresentava bom custo-benefício para a empresa ocupante do escritório. A tabela a seguir apresenta os níveis de pressão sonora medidos após a instalação desse material.

Comparando os dados da Tabela 4, níveis de pressão sonora após a implantação do projeto, com os dados da Tabela 1, níveis de pressão sonora antes da instalação do condicionamento acústico, percebe-se que houve uma redução de aproximadamente 5 dB(A) nos valores de ruído ambiente com a instalação do material acústico no teto e em parte das paredes.

Com valores de nível de pressão sonora próximos a 60 dB(A), o escritório tratado acusticamente é considerado aceitável pela norma brasileira NBR 10152 (ABNT, 1987), entretanto não pode ser considerado um ambiente confortável segundo essa norma. Do ponto de vista da saúde do trabalhador, o ambiente ainda não pode comportar atividades que exijam elevada exigência intelectual. O escritório apresenta valores de nível de pressão sonora próximos ao máximo recomendado para a execução de atividades com moderada exigência intelectual, 60 dB(A).

Além do nível de pressão sonora, após a instalação do tratamento acústico, foi medido o tempo de

reverberação. A tabela a seguir apresenta o resultado dessa medição.

Observando a Tabela 5, percebe-se que os valores de tempo de reverberação estão ainda acima do recomendado pela norma alemã VDI 2569 (1990), que recomenda um valor  $\leq 0,5$  s para o tempo de reverberação médio nas frequências de 500, 1.000 e 2.000 Hz (FREYMUTH *et al.*, 2002). Calculando o valor médio para essas frequências, através dos valores apresentados na Tabela 5, é obtido o valor de TR=0,57 s, que, apesar de acima do recomendado, é muito próximo a 0,50 s.

Quando comparados os dados da Tabela 5 com os dados obtidos anteriormente (Tabela 2), vê-se que houve uma redução de mais de 50% no tempo de reverberação devido ao condicionamento acústico (Figura 5). A redução mais significativa do TR foi observada nas frequências de 500 e 1.000 Hz. Segundo Zannin, Passero e Sant'Ana (2008), em escritórios panorâmicos acusticamente tratados, a absorção acústica em médias e altas frequências é predominantemente realizada pelo material do forro. Já nas baixas frequências, a maior parte da absorção é devida ao material das mesas de trabalho.

Se comparados os dados da Tabela 5 com os valores de TR calculados (Tabela 3), observa-se que a redução do TR não foi tão significativa quanto se previa. Os valores calculados são

inferiores aos valores medidos. Essa imprecisão pode ter sido ocasionada pela limitação da fórmula utilizada para predição do TR, a fórmula de Sabine. Essa fórmula assume que a energia sonora é igualmente difusa pela sala (homogênea e isotrópica), condição raramente atendida, uma vez que as grandes áreas existentes em um recinto são caracterizadas por absorções diversas (NEUBAUER; KOSTEK, 2001). Outra fonte de erro no momento da predição do tempo de reverberação são os coeficientes de absorção adotados para as superfícies. Zannin *et al.* (2005) destacaram a importância do uso de coeficientes de absorção "calibrados" para a obtenção de valores precisos de TR. Segundo Mehta, Johnson e Rocafort (1999), para utilizar o coeficiente de absorção do material para cada situação particular, é importante que a condição de montagem desse material seja identificada, pois, sem essa identificação, o valor do coeficiente não tem significado. Os fabricantes do forro acústico utilizado, com quem foram obtidos os coeficientes de absorção do material, não forneceram qualquer especificação em relação à forma de instalação para a obtenção dos coeficientes de absorção acústica especificados. Deve-se salientar que nesse escritório, a fim de reduzir o tempo de instalação, o forro acústico foi instalado sob o forro de gesso existente.

Ponto de Medição	Leq dB(A)	Ponto de Medição	Leq dB(A)
1	62,0	6	60,3
2	59,0	7	62,1
3	60,0	8	62,2
4	60,4	9	61,3
5	61,1	10	61,0
<b>Nível Sonoro Médio</b>		<b>61,0</b>	

Tabela 4 - Níveis sonoros medidos no "Escritório Ocupado" na reavaliação após a implantação do projeto

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
1A (s)	0,74	0,64	0,47	0,51	0,63	0,67
2A (s)	0,69	0,73	0,64	0,72	0,75	0,77
3A (s)	0,71	0,59	0,47	0,53	0,69	0,81
1B (s)	0,54	0,42	0,33	0,41	0,51	0,62
2B (s)	0,59	0,44	0,40	0,46	0,60	0,73
3B (s)	0,69	0,63	0,51	0,63	0,66	0,79
1C (s)	0,78	0,73	0,64	0,75	0,73	0,82
2C (s)	0,60	0,60	0,48	0,62	0,67	0,74
3C (s)	0,76	0,58	0,51	0,59	0,63	0,78
<b>Tempo de Reverberação Médio (s)</b>	<b>0,68</b>	<b>0,60</b>	<b>0,49</b>	<b>0,58</b>	<b>0,65</b>	<b>0,75</b>

Tabela 5 - Tempos de reverberação medidos na reavaliação após a instalação do tratamento acústico

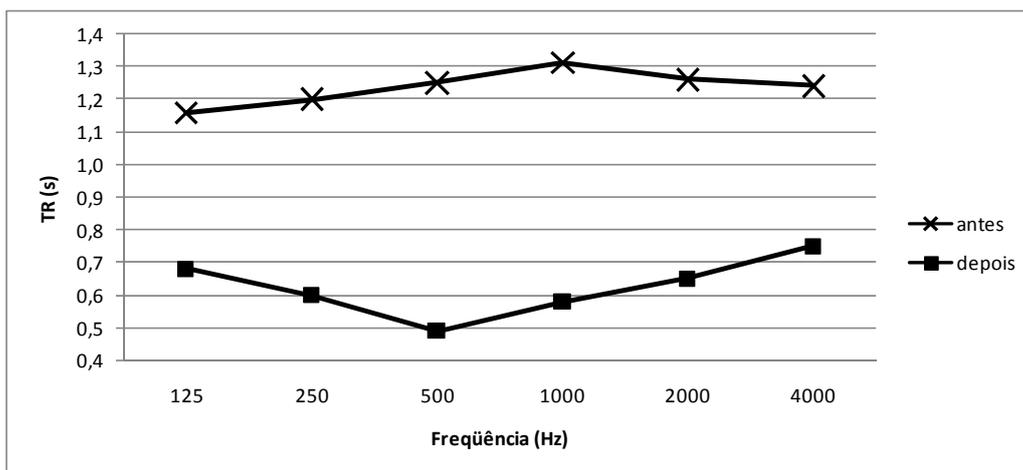


Figura 5 - Gráfico dos tempos de reverberação medidos antes e depois da instalação do tratamento acústico

## Conclusões

Trabalhadores de escritórios geralmente preferem ambientes silenciosos, sentindo-se menos cansados ao fim do dia se não forem expostos a níveis de ruído intensos (KNUDSEN; HARRIS, 1988). No escritório avaliado, antes da instalação do condicionamento acústico, os níveis de pressão sonora equivalentes encontravam-se entre 64,9 e 67,2 dB(A). Para a norma brasileira NBR 10152 (ABNT, 1987), esses níveis são superiores ou muito próximos ao limite recomendado para atividades realizadas em escritórios (45 dB(A) para o conforto acústico, sendo aceitável até 65 dB(A)). Do ponto de vista da saúde do trabalhador, os níveis de ruído para atividades que exijam de médio a alto grau de concentração são entre 50 e 60 dB(A). O nível sonoro encontrado nesse escritório está acima desses valores, na faixa de 65 dB(A).

Através da análise em frequência dos níveis de pressão sonora, medidos antes da instalação do condicionamento acústico, observou-se que as bandas de frequência dominantes são as que caracterizam a voz humana, o que vem ao encontro à literatura, pois, segundo Hongisto, Keranen e Larm (2004), a fala é a fonte sonora de maior incômodo em escritórios panorâmicos. Na primeira avaliação, os tempos de reverberação, resultantes de uma média espacial, eram de 1,25 s para a frequência de 500 Hz, de 1,31 s para a de 1.000 Hz e de 1,29 s para a de 2.000 Hz. Esses valores são muito elevados se comparados ao tempo ideal recomendado para esses ambientes, que é de no máximo 0,5 s para o TR médio entre as frequências de 500, 1.000 e 2.000 Hz, segundo a norma alemã VDI 2569 (1990) (FREYMUTH *et al.*, 2002). A fim de reduzir o tempo de reverberação e o nível de pressão sonora, o

ambiente foi tratado acusticamente mediante a instalação de material mais absorvente.

O projeto acústico mostrou que, com a instalação de materiais acústicos no teto e em parte das paredes, seria possível reduzir o tempo de reverberação, chegando a valores inferiores ao estabelecido pela norma VDI 2569/1990 (FREYMUTH *et al.*, 2002). Os tempos de reverberação alcançados através do cálculo foram de aproximadamente 0,35 s. Apenas quando utilizada a espuma de 35 mm, na frequência de 500 Hz, o valor do tempo de reverberação ficou acima de 0,5 s (Tabela 3).

Por meio da fórmula que calcula a redução do nível de pressão sonora (3), observou-se que, num ambiente com pouca absorção, qualquer aumento da absorção reduz muito o nível de pressão sonora. Entretanto, quando o ambiente já possui absorção acústica elevada, a redução de cada decibel no nível sonoro torna-se muito mais difícil. Com o projeto acústico, percebeu-se que o nível de pressão sonora poderia ser reduzido em aproximadamente 5 dB com a instalação de material acústico no teto e em parte das paredes.

Com a análise dos resultados obtidos através dos cálculos e respeitando os anseios da empresa ocupante do escritório, optou-se pela instalação do forro de lã de vidro com densidade de 60 kg/m<sup>3</sup>, revestido com PVC microperfurado e espessura de 25 mm no teto e em parte das paredes do escritório.

As medições do tempo de reverberação após o condicionamento acústico mostraram grande redução do tempo de reverberação em relação à situação anterior. Entretanto, apresentaram valores de TR superiores aos obtidos pelos cálculos com a fórmula de Sabine. Essa diferença provavelmente foi causada pelas limitações da fórmula e por

imprecisões dos coeficientes de absorção utilizados, principalmente no que diz respeito à forma de instalação do material.

Após a instalação do tratamento acústico, houve uma redução de aproximadamente 5 dB(A) nos níveis de pressão sonora, tornando o ambiente aceitável segundo a norma brasileira, mas ainda acusticamente desconfortável. Essa redução é resultado da diminuição dos sons reverberantes, alcançada mediante o aumento da absorção sonora da sala. Para uma maior redução do nível de pressão sonora, o som direto teria que ser reduzido, por exemplo, por meio de barreiras, do aumento da distância entre orador e ouvinte, da redução do número de fontes e da redução da potência sonora das fontes.

A predição dos níveis de pressão sonora e do tempo de reverberação através de cálculos mostrou-se uma boa ferramenta para prever as condições acústicas após a implantação do projeto, entretanto devem ser usados com cuidado. O ambiente acústico de grandes escritórios apresenta variáveis que não são consideradas pelas fórmulas, como a forma de difusão do som e a intensidade do som direto.

O ambiente estudado, antes do tratamento acústico, mostrou-se inadequado acusticamente para a atividade nele realizada. Com o aumento da absorção sonora, tornou-se mais confortável acusticamente, principalmente pela grande redução no tempo de reverberação. Entretanto, ainda não pode ser considerado um ambiente silencioso nem com alta privacidade sonora. Isso ocorre porque outros fatores, como a altura das divisórias e a densidade de trabalhadores, estão influenciando negativamente no conforto acústico do ambiente estudado.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152**: níveis de ruído para conforto acústico: procedimento. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12179**: tratamento acústico em recintos fechados: procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade: procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO DE ENGENHEIROS ALEMÃES. **VDI 2569**: Schallschutz und Akustische Gestaltung im Büro. Berlin, 1990.

INTERNATIONAL STANDARDS WORLDWIDE. **E 1374-02**: open office acoustics and applicable ASTM standards. USA, 2002.

BOBRAN, H. W. **Handbuch der Bauphysik**. 7. ed. Stuttgart: Völlig Neubearbeitete Auflage, 1995.

BRUEL; KJAER. Versão 3.0. **DIRAC Room Acoustics Software Type 7841**. Instruction Manual. Dinamarca: Bruel & Kjaer, 2003. 24 p.

DUFFY, Francis. Oficinas. Madrid: Blume, 1980. 248 p.

DURVAL, C. L.; CHARLES, K. E.; VEITCH, J. A. **Open-Plan Office Density and Environmental Satisfaction**. IRC Research Report RR-150. Ottawa, 27 set. 2002. 25 p.

EGAN, M. D. **Architectural Acoustics**. New York: McGraw Hill, 1988. 448 p.

EVANS, G. W.; JOHNSON, D. Stress and Open-Office Noise. **Journal of Applied Psychology**, Michigan, v. 85, n. 5, p. 779-783, out. 2000.

FREYMUTH, H. *et al.* **Lehrbuch der Bauphysik**. 5. ed. Stuttgart: B. G. Teubner, 2002.

HARRIS, C. M. **Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control**. Nova York: Acoustical Society of America, 1994. 408 p.

HEDGE, Alan. The Open-Plan Office: a systematic investigation of employee reaction of their work environment. **Environment and Behavior**, Arizona, v. 14, n. 5, p. 519-542, set. 1982.

HONGISTO, V.; KERANEN, J.; LARM, P. Simple Model for Acoustical Design of Open-Plan Offices. **Acta Acustica**, Gent, Belgica, v. 90, n. 3, p. 481-495, maio./jun. 2004.

INTERNATIONAL STANDARD. **ISSO 3382**: acoustics: measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters. Suíça, 1997.

KNUDSEN, V. O.; HARRIS, C. M. **Acoustical Designing in Architecture**. Nova York: Acoustical Society of America, 1988. 400 p.

KUTTRUFF, H. **Akustik**: eine Einführung. Stuttgart: Hirzel, 2004. 405 p.

MEHTA, M.; JOHNSON, J.; ROCAFORT, J. **Architectural Acoustics**: principles and design. New Jersey: Prentice-Hall, 1999. 210 p.

NEUBAUER, R.; KOSTEK, B. Prediction of the Reverberation Time in Rectangular Rooms with Non-Uniformly Distributed Sound Absorption. **Archives of Acoustics**, Gdansk, Polônia, v. 26, n. 3, p. 183-201, 2001.

NIJS, L. *et al.* Absorbing Surfaces in Ray-Tracing Programs for Coupled Spaces. **Applied Acoustics**, Milton Keynes, v. 63, n. 6, p. 611-626, jun. 2002.

NOGUEIRA, F. F. **Análise Paramétrica do Campo Acústico de Escritórios Panorâmicos**. 2002. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

YOON, W. C.; LOFTNESS, V. Comparison of Two Speech Privacy Measurements, Articulation Index (AI) and Speech Privacy Noise Isolation Class (NIC), in Open Workplaces. **Journal of the Acoustical Society of America**, Alabama, v. 111, n. 5, p. 2441, maio 2002.

ZANNIN, P. H. T. *et al.* Comparação entre Tempos de Reverberação Calculados e Medidos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 69-79, out./dez. 2005.

ZANNIN, P. H. T.; PASSERO, C. R. M.; SANT'ANA, D. Q. Acoustic Design of Enclosed Spaces. In: BRINKERHOFF, B. N. (ed.).

**Ergonomics: design, integration and implementation**. Hardcover: Nova Science, 2008.