



**Espaços para aprender  
e ensinar música:**  
construção e adequação

Aloísio Leoni Schmid (*organizador*)  
Projeto CAPES-MinC – Pró-Cultura  
“Arquiteturas para um Brasil Musical”



Projeto CAPES-MinC – Pró-Cultura  
“Arquiteturas para um Brasil Musical”

**Espaços para aprender  
e ensinar música:**  
construção e adequação

Aloísio Leoni Schmid  
(organizador)

/08

# Projeto virtual: dimensionamento e condicionamento acústicos

*Gustavo Silva Vieira de Melo, Newton Sure Soeiro e André Luis Silva Santana*

## Criação de uma sala virtual

---

**A**pós as conclusões dos capítulos anteriores, o presente capítulo apresenta uma possibilidade promissora: o dimensionamento acústico virtual de uma sala, levando-se em consideração os aspectos de condicionamento acústico.

Uma vez que este ensaio se baseia em ferramentas de acústica geométrica, não serão considerados comportamentos modais da sala – os efeitos de ondas estacionárias, tratadas no capítulo anterior - que não podem ser simulados pelo software utilizado (Odeon).

Como o objetivo é propor uma sala virtual que possa ser utilizada de fato, não se pode negligenciar o problema. Porém, este problema é abordado, indiretamente, adotando-se as proporções citadas por Rocha (2010) como base para a determinação das dimensões da sala, a saber, 1,25: 1: 1,6, observando-se também a preferência por pés-direitos altos como característica a ser priorizada.

Outra forma de evitar os problemas com ondas estacionárias consiste em modificar o paralelismo das paredes com as medidas citadas no final do capítulo anterior. Levando-se em consideração as dificuldades em compor *layouts*, formato das edificações e custo elevado com paredes

e projeto estrutural não ortogonais, adotou-se a primeira solução como mais adequada.

Utilizando-se a proporção mencionada, foi selecionado o pé-direito de 4,00 m como dimensão inicial, determinando, por consequência, os valores de 5,00 m de largura e 6,40 m de comprimento, totalizando 128 m<sup>3</sup> de volume, o que corresponde ao volume médio de salas encontradas na prática em escolas e universidades (SANTANA, 2013).

## Dimensionamento da sala virtual

---

Nas figuras a seguir são apresentadas a planta baixa e diversas seções da sala virtual, com base nas dimensões previamente escolhidas. Adicionalmente, na Figura 44 pode-se observar um painel de espuma de poliuretano expandido (tipo Sonex) posicionado em uma das paredes com dimensões de 1,875 x 3,125 m<sup>2</sup>. Nas simulações apresentadas adiante, até dois destes painéis serão considerados para o condicionamento da sala.

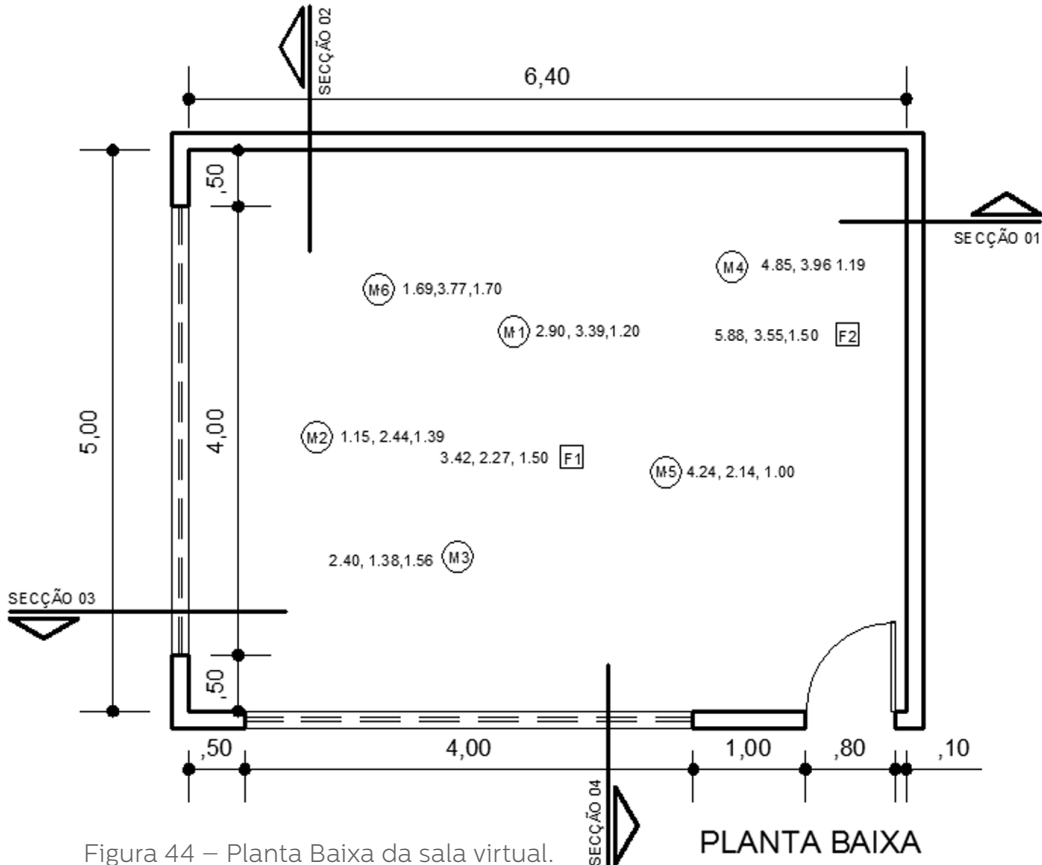


Figura 44 – Planta Baixa da sala virtual.

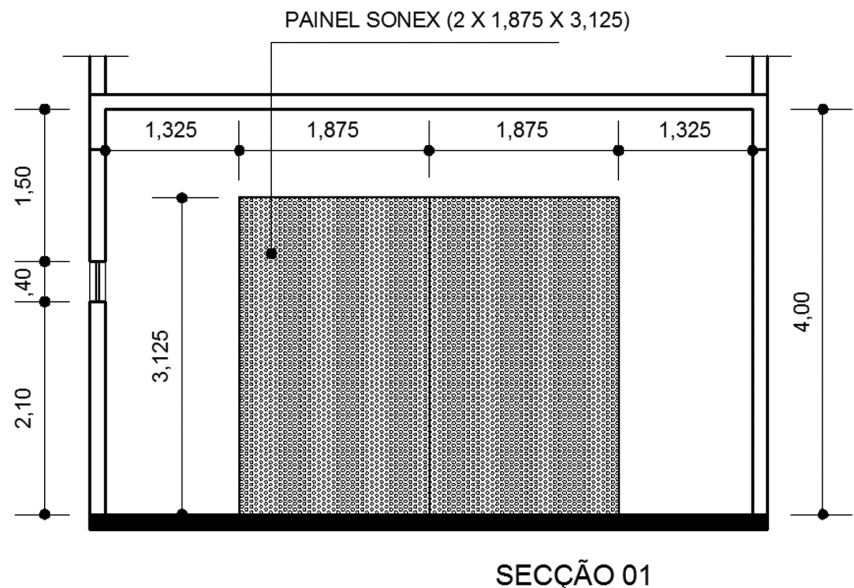
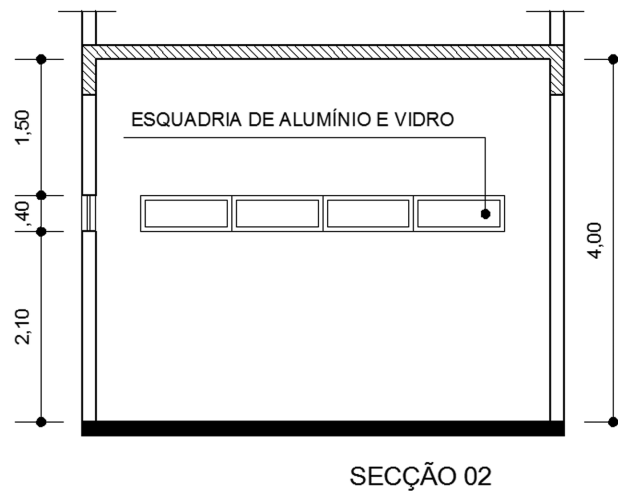


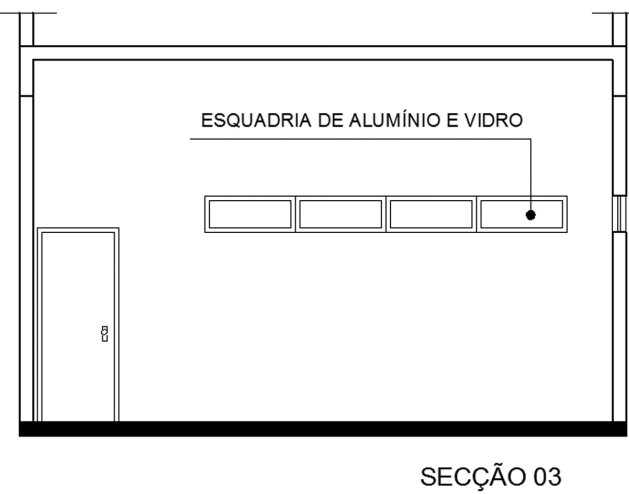
Figura 45 – Corte 01 da sala virtual.

Figura 46 – Corte 02 da sala virtual.



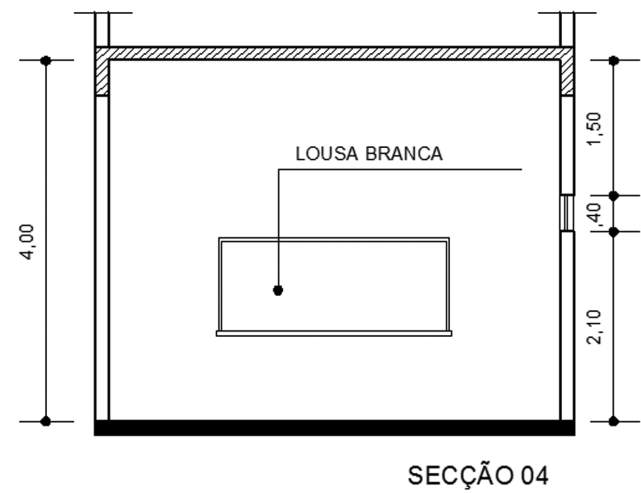
SECÇÃO 02

Figura 47 – Corte 03 da sala virtual.



SECÇÃO 03

Figura 48 – Corte 04 da sala virtual.



SECÇÃO 04

# Condicionamento acústico da sala virtual

A escolha de materiais das superfícies tem como base materiais comercialmente disponíveis. Na Figura 49 é mostrado o modelo tridimensional como visto na janela do software de simulações acústicas, ainda sem a adoção de superfícies.

Os materiais selecionados estão relacionados na Tabela 18, juntamente com os valores de absorção de cada um para as frequências estudadas.

Na Figura 50 pode-se visualizar a sala virtual após a associação das superfícies com os respectivos materiais para condicionamento acústico, listados na tabela anterior.

Tabela 18 – Materiais para condicionamento acústico e valores de coeficiente de absorção acústica das superfícies da sala virtual

Superfície	Material	Absorção por Banda					
		250	500	1000	2000	4000	8000
Vidro	vidro	0,06	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01
Portas	madeira	0,04	0,04	0,05	0,08	0,12	0,15
Paredes	alvenaria	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,09
Piso	cerâmico	0,07	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10
Forro	gesso	0,22	0,23	0,25	0,25	0,28	0,30
Quadro	madeira	0,30	0,39	0,45	0,40	0,19	0,01
Sonex Roc 45 mm	Poliuretano expandido	0,70	1,00	0,85	0,91	0,90	0,90

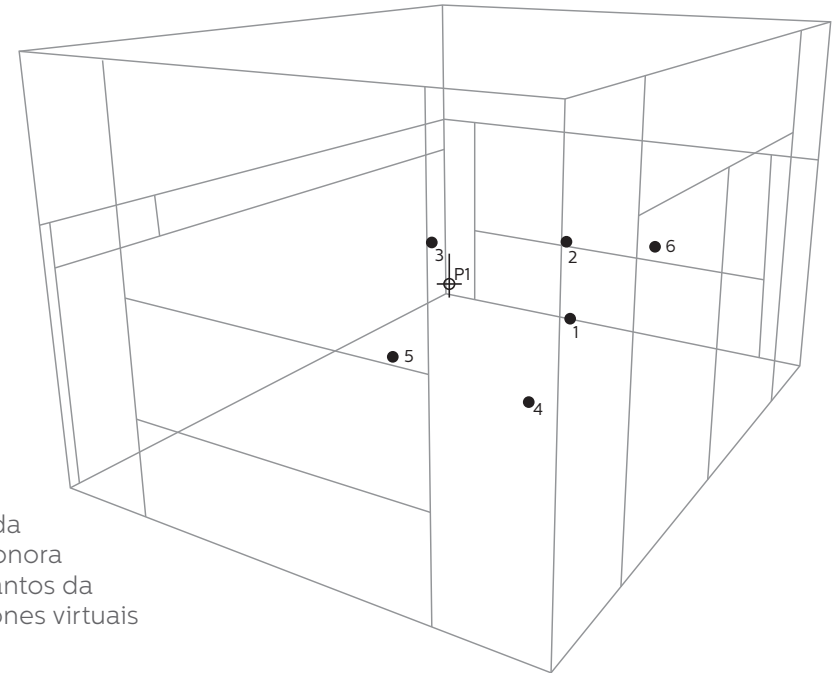
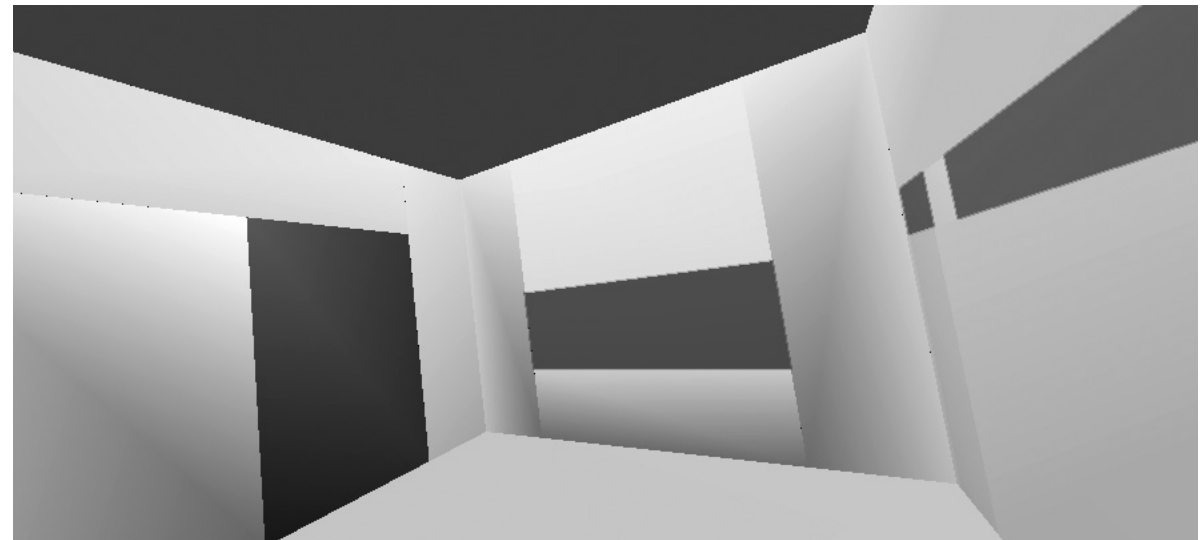


Figura 49 – Modelo 3D da sala virtual, com fonte sonora posicionada num dos cantos da sala (ponto P1) e microfones virtuais (pontos de 1 a 6)

Figura 50 – Aspecto da sala após a associação dos materiais às superfícies





## Resultados Encontrados para a Sala Virtual

### a) Tempo de reverberação ( $T_{30}$ )

Utiliza-se aqui o  $T_{30}$ , tempo de reverberação baseado no decaimento de 30 dB. As respostas da sala virtual às propostas para o parâmetro  $T_{30}$  são apresentadas na Tabela 19 e Figura 51 – Comparação dos valores de  $T_{30}$  para a Sala Virtual nas três diferentes configurações, a seguir, onde os valores referentes às descrições “Painel 1” e “Painel 2” se referem, respectivamente à utilização de um ou dois painéis de poliuretano expandido, tal como descrito anteriormente.

Observa-se que, no intervalo de frequências entre 500 e 1000 Hz, todas as curvas ocupam faixas de referência distintas. A configuração original ocupa a faixa com valores de  $T_{30}$  mais elevados.

A inclusão de um painel de poliuretano expandido (Painel 1) numa das paredes da sala virtual reduz os valores de  $T_{30}$  para a faixa intermediária, ainda que no limite superior da faixa. Após a introdução do painel adicional (Painel 2), a curva de valores de  $T_{30}$  foi deslocada para baixo atingindo a faixa inferior de valores de  $T_{30}$ .

### b) Tempo de decaimento inicial (EDT)

Na Tabela 20 e na Figura 52 são apresentados, respectivamente, os valores e as curvas da sala virtual, obtidos para o parâmetro EDT.

Da Figura 52, percebe-se, ao se adicionar os painéis de absorção acústica, a tendência das curvas obtidas se afastarem da referência para o tempo de decaimento inicial (EDT) definida pela pesquisa de Pisani (2001), com valores entre 1,8 e 2,6s. Dessa forma, os valores de EDT serão considerados válidos se ficarem dentro dessa faixa. A sala na configuração Original apresentou resultados mais próximos do limite inferior da faixa de referência e a sala com um ou dois painéis apresentou valores de EDT ainda menores.

### c) Clareza ( $C_{80}$ )

A Tabela 21 e a Figura 53 apresentam os valores e as curvas da sala virtual, obtidos para o parâmetro clareza,  $C_{80}$ .

Tabela 19 – Valores de  $T_{30}$  para a Sala Virtual

Freq. [Hz]	$T_{30}$ [s] para cada Configuração		
	Original	Painel 1	Painel 2
250	1,410	1,030	0,81
500	1,250	0,870	0,59
1000	1,195	0,860	0,58
2000	1,085	0,840	0,57
4000	0,885	0,715	0,51
8000	0,590	0,510	0,40

Tabela 20 – Valores de EDT para a Sala Virtual

Freq. [Hz]	EDT [s] para cada Configuração		
	Original	Painel 1	Painel 2
250	1,545	1,14	0,91
500	1,35	0,96	0,71
1000	1,2	0,91	0,71
2000	1,09	0,84	0,665
4000	0,895	0,71	0,575
8000	0,575	0,47	0,39

Tabela 21 – Valores de  $C_{80}$  para a Sala Virtual

Freq. [Hz]	$C_{80}$ [dB] para cada Configuração		
	Original	Painel 1	Painel 2
250	0,7	2,7	4,5
500	1,6	4,1	6,4
1000	2,45	4,45	6,4
2000	3,1	5,15	7,15
4000	4,75	6,55	8,5
8000	8,5	10,1	11,85

Figura 51 – Comparação dos valores de  $T_{30}$  para a Sala Virtual nas três diferentes configurações.

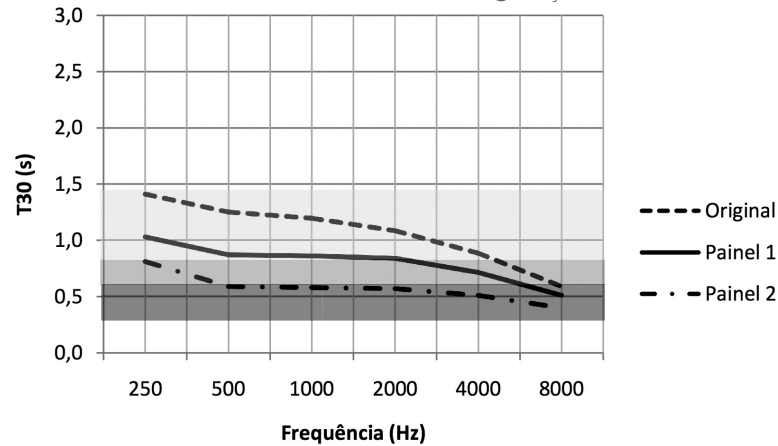
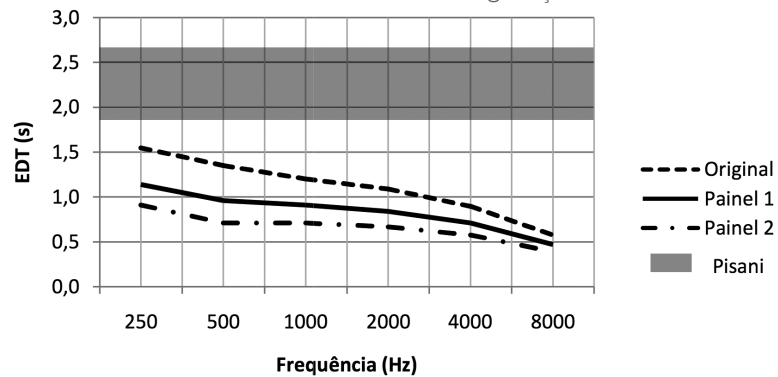
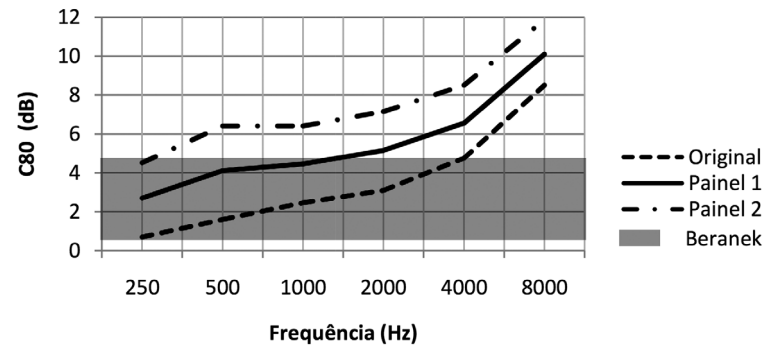


Figura 52 – Comparação dos valores de EDT para a Sala Virtual nas três diferentes configurações.



A Figura 53 apresenta os resultados de  $C_{80}$ , além da faixa de referência (área sombreada do gráfico), tal como determinada por Beranek (2004), onde se observa que a curva associada à configuração Original da sala virtual recai, em sua maior parte, dentro da faixa de valores indicada por Beranek. A curva correspondente à configuração Painei 1 também apresentou valores condizentes com aqueles da faixa assinalada por Beranek para as frequências abaixo de 1000 Hz.

Figura 53 – Comparação dos valores de  $C_{80}$  para a Sala Virtual nas três diferentes configurações



## Auralização da sala virtual

Após as análises dos valores numéricos para os parâmetros acústicos apresentados anteriormente, foi realizada a auralização para a avaliação subjetiva do modelo virtual, o que consiste em ouvir sons (através de fones de ouvido conectados ao computador) reproduzidos na sala virtual pelo software de simulações acústicas.

Considerando-se os exemplos de auralização para a sala virtual em sua configuração Original, quando nenhum painel de absorção sonora está posicionado em seu interior, a voz falada não é bem compreendida, pois a sala sustenta o som por muito tempo, prejudicando demasiadamente a percepção do conteúdo da fala, sendo esta configuração desaprovada pelos avaliadores submetidos ao processo de auralização. Para os instrumentos do tipo piano, sopro e percussão, a sustentação do som é percebida como muito longa, tornando a música confusa. Portanto, nessa configuração a sala não suporta esses instrumentos. Para voz cantada e orquestra, entretanto, a sala virtual em sua configuração Original se mostrou bastante adequada, pois estes tipos de sons demandam, de fato, tempos de reverberação maiores.

Na segunda configuração (Painel 1), com um painel de material absorvedor de som posicionado numa das paredes da sala virtual, a voz falada continuou ininteligível. Os sons se superpõem impossibilitando sua compreensão. Para os instrumentos do tipo piano, sopro e percussão, a resposta foi bem percebida. A sala conserva o som por um período ótimo para instrumentos de sopro e percussão, tornando-a apta para esse grupo de instrumentos. Já para o caso da voz cantada e orquestra, a sala virtual em sua configuração Painel 1 não foi bem avaliada, pois a sala não apoia a voz cantada apropriadamente, tampouco o som de orquestra.

Com os dois painéis presentes na sala virtual (configuração Painel 2), percebeu-se que a voz falada mostrou-se bem clara, no entanto, persistindo ainda a sensação de uma sustentação maior que a necessária, mesmo sem comprometer a inteligibilidade, de acordo com a opinião dos avaliadores que se submeteram ao processo de auralização. Percebe-se também que, quando ouvida a resposta da sala para o áudio de piano, a sustentação das notas é adequada. Dessa forma, considerou-se que essa configuração da sala pode ser recomendada, principalmente, para os instrumentos do tipo piano, sopro e percussão, além da voz cantada e orquestra, recomendando-se uma quantidade de absorção sonora intermediária entre as configurações Painel 1 e Painel 2 para melhor adequar a sala virtual à palavra falada.

## Referências

- BERANEK, L. L. *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustic and Architecture*. New York: Springer-Verlag, 2004.
- ODEON, ROOM ACOUSTICS PROGRAM. *User Manual: Industrial, Auditorium and Combined Editions*. Version 10. 20098.
- PISANI, Raffaele. Valutazione delle qualità acustiche delle sale per spettacolo. In: SPAGNOLO, Renato (Org.) *Manuale di acustica applicata*. Torino: UTET, 2001.
- ROCHA, L. *Acústica e educação em música: critérios acústicos preferenciais para sala de ensino e prática de instrumento e canto*. Dissertação para o Programa de Pós-Gr-

duação em Construção Civil da Universidade Federal do Paraná. Curitiba: UFPR, 2010.

SANTANA, A. L. S. *Estudo da acústica de salas voltadas ao ensino de música em Belém-PA*. Dissertação para o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará. Belém: UFPA, 2013.

Secretaria de Saúde do Estado de São Paulo. Resolução SS493, disponível em [http://siau.edunet.sp.gov.br/ItemLise/arquivos/notas/SS493\\_94.HTM?Time=4/5/2010%206:52:46%20PM](http://siau.edunet.sp.gov.br/ItemLise/arquivos/notas/SS493_94.HTM?Time=4/5/2010%206:52:46%20PM), acesso em 28/11/2012.



# Autores

## **Aloísio Leoni Schmid**

aloisio.schmid@gmail.com

Engenheiro Mecânico pela UFPR, mestre pela Universidade de Utsunomiya, Japão (1993) e doutor pela Universidade de Karlsruhe, Alemanha. Professor do Curso de Arquitetura e Urbanismo e dos programas de mestrado em Construção Civil e Design da UFPR. Atuou, de 2008 a 2012, na implementação do Curso Superior de Tecnologia em Luteria da UFPR. Pesquisa em adequação ambiental com destaque para conforto ambiental, conceituação em conforto ambiental, eficiência energética, simulação computacional (desenvolvimento de software para calor, iluminação e acústica - auralização). Violinista amador.

## **Guilherme Gabriel Ballande Romanelli**

guilhermeromanelli@ufpr.br

Violinista e violista, é graduado em Educação Artística - Habilitação em música pela Faculdade de Artes do Paraná, mestre e doutor em Educação pela Universidade Federal do Paraná. Professor adjunto da Universidade Federal do Paraná no setor de Educação. Tem experiência na área de Educação, com ênfase em Educação Musical, atuando principalmente nos seguintes temas: educação musical, musicalização, formação de professores, valorização da música popular e construção de instrumentos. Na área musical sua experiência se concentra em orquestras sinfônicas, música de câmara, recitais e gravações de CD.

## **Dinara Xavier da Paixão**

di\_paixao@yahoo.com.br

Graduada em Engenharia Civil pela UFSM, especialista em Acústica Arquitetônica pela Universidade Nacional de La Plata-Argentina, mestre em Educação pela UFSM e doutora em Engenharia de Produção pela UFSC. Professora associada da UFSM. Experiência em Acústica em Edificações, atuando em acústica arquitetônica, conforto acústico, isolamento acústico, acústica da sala de aula, influência do som na saúde das pessoas e qualidade de vida. Coordenadora do Grupo de Pesquisa CNPq/UFSM Acústica e do primeiro Curso de Graduação em Engenharia Acústica do Brasil. Presidente da Sociedade Brasileira de Acústica (SOBRAC).

## **Gustavo Silva Vieira de Melo**

gmelo@ufpa.br

Bacharel em Física pela UFPE e Doutor em Engenharia Mecânica, com ênfase em Vibrações e Acústica, pela UFSC, com Doutorado Sanduíche na University of Liverpool. Professor da Faculdade de Eng. Mecânica da UFPA, atualmente em

nível de Associado I. Atua na área da Acústica, especialmente em acústica de salas, controle de ruído e segurança do trabalho, ruído ambiental, desenvolvimento de painéis acústicos à base de fibras naturais, modelagem numérica por elementos finitos e raios acústicos e medição de parâmetros vibroacústicos.

## **Newton Sure Soeiro**

nsoeiro@ufpa.br

Graduado em Engenharia Mecânica pela UFPA, mestre em Engenharia Mecânica, área de Projeto de Máquinas, pela UFSC, e doutor em Engenharia Mecânica pela UFSC. Professor Associado 4 da UFPA dos Cursos de Engenharia Mecânica e Engenharia Naval. Experiência na área de Engenharia Mecânica e Engenharia Naval. Atua em métodos numéricos, análise modal experimental, desenvolvimento de painéis acústicos com fibras regionais, medição e análise de parâmetros vibroacústicos, vibração e ruído de origem eletromagnética, caixa de engrenagem e propulsores navais.

## **Letícia de Sá Rocha**

lettirocha@gmail.com

Graduada em Arquitetura e Urbanismo pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná [2003] e Mestre em Construção Civil pela Universidade Federal do Paraná. Professora de Ensino Básico Técnico e Tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná. Experiência na área de Arquitetura e Urbanismo, com ênfase em Projeto de Arquitetura e Urbanismo, atuando em arquitetura, design, maquete eletrônica e física, acústica. Desenvolve pesquisa de acústica de salas para música, como foco nas salas de ensaio e prática musical e está iniciando a pesquisa com o desenho de peças cerâmicas [branca e vermelha].

## **Andrey Ricardo da Silva**

andrey.rs@ufsc.br

Graduado e mestre em Engenharia Mecânica pela UFSC e doutor em Engenharia Mecânica com ênfase em Acústica pela McGill University - Canadá. Professor adjunto do Centro de Engenharias da Mobilidade e do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da UFSC. Experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Acústica, atuando principalmente em temas relacionados à aeroacústica, acústica computacional e controle de vibrações e ruído.

## **Raquel Rossatto Rocha**

raquel.rocha@eac.ufsm.br

Graduada em Engenharia Acústica pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), fazendo parte da primeira turma em nível de graduação na área de acústica do Brasil. Foi bolsista de iniciação científica no Grupo de Pesquisa em Acústica e Vibrações da UFSM durante dois anos, onde fez o mapeamento e a

caracterização de salas de aula. Trabalho de conclusão de curso sobre as medições objetivas e subjetivas da inteligibilidade da fala, utilizando o método STI (Speech Transmission Index).

### **Erasmus Felipe Vergara Miranda**

efvergara@gmail.com

Engenheiro Acústico pela Universidad Austral de Chile, e mestre e doutor em Acústica e Vibrações pela Eng. Mecânica da UFSC. Professor do Depto. de Engenharia Mecânica e no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PosMEC) da UFSC. Experiência e pesquisa nos seguintes assuntos: qualidade sonora de ambientes; avaliação da exposição ao ruído industrial, veicular e ambiental; controle de ruído e vibração em edificações, proteção auditiva e ruído impulsivo.

### **Andre Luis Silva Santana**

andrelss76@hotmail.com

Graduado em Engenharia de Telecomunicações pelo Instituto de Estudos Superiores da Amazônia e em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade da Amazônia, e pós-graduado em Paisagismo Tropical Urbano pela Universidade da Amazônia em 2009. Mestre em Engenharia Mecânica pela UFPA, Atualmente é professor de graduação e Coordenador do curso de pós graduação em Engenharia de Redes de telecomunicações do Instituto de Estudos Superiores da Amazônia e professor do Centro Universitário do Pará - CESUPA.

## Colaboradores

### **Márcio H. de Sousa Carboni**

mhcarboni@brturbo.com.br

Arquiteto e urbanista formado pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) e mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil (PPGECC) da mesma universidade. Professor de projeto arquitetônico no Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFPR. Atua em projeto arquitetônico, acústica e conforto ambiental. Colaborador do capítulo 7.

### **Claudia R. Gaida Viero**

claudiagaida@hotmail.com

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Mestre em Engenharia de Produção na área de Projeto de Produto pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Atualmente é Professora do Departamento de Engenharias e Ciência da Computação da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI - Campus de Frederico Westphalen). Colaboradora do capítulo 5.

### **Cristhian Moreira Brum**

crmrbr@gmail.com

Graduado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), Especialista em Gestão Ambiental pelo Centro Universitário Franciscano (UNIFRA), Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), na área de concentração de Construção Civil e Preservação Ambiental e linha de pesquisa de Conforto Ambiental. Professor do Departamento de Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI). Colaborador do capítulo 6.

### **Alysson Kleber F. de Lima**

akflima@hotmail.com

Acadêmico de Engenharia Mecânica na Universidade Federal do Pará (UFPA), onde atualmente executa atividade de pesquisa na área de acústica junto ao Grupo de Vibrações e Acústica - GVA - UFPA, financiada pelo CNPq. Colaborador do capítulo 8.

## Ilustrações (Arquitetura)

### **Cervantes Ayres Filho**

ceayres@gmail.com

Graduado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal do Paraná e Mestre em Construção Civil pelo PPGCC-UFPR, atuando principalmente nos seguintes temas: BIM, CAD, modelagem de produto na construção, modelo digital do edifício, projeto arquitetônico, IFC, EXPRESS, Interoperabilidade de sistemas CAD. Experiência em projeto de edificações, gestão pública na área de Urbanismo e acompanhamento de obras de infraestrutura aeroportuária.

## Projeto gráfico e diagramação

### **Marco A. Mazzarotto Filho**

marco@ladobdesign.com.br

Graduado em Design pela PUC-PR, Especialista em Gestão do Design pela PUC/PR. Mestre em Design pela UFPR. Atuou no desenvolvimento de projetos de design, webdesign e design instrucional para empresas como HSBC, GVT, Renault, Unicuritiba, entre outras. Para o Governo Federal, foi responsável pelos projetos de design de identidade visual e embalagem para o programa brasileiro de Assistência Humanitária Internacional e pelo projeto de padronização e design dos novos documentos de registro civil. Atualmente é professor nos cursos de Design da UTFPR.



**Espaços para aprender  
e ensinar música:**  
construção e adequação

No Brasil, a **música é conteúdo obrigatório na educação básica** desde o início de 2012, com a entrada de vigor da lei 11769/2008. Tal celebrado fato traz consigo um duplo desafio: inicialmente, o da formação de professores. Depois, o desafio da **construção e adequação das salas de para a aula de música** - uma condição crítica para a formação da sensibilidade auditiva dos alunos. Não se pode utilizar salas de aula convencionais, mas devem ganhar algumas características próprias das salas de recital e concerto: isolamento acústico e adequada reverberação. Como conseguir um compromisso? Este livro traz resultados recentes da pesquisa nas áreas de Educação Musical, Arquitetura e Acústica.

