

CÓDIGO COMPUTACIONAL

RAIOS 7



MANUAL DO USUÁRIO

Versão 7.10

Redação: *Prof. Dr. Roberto A. Tenenbaum*

ACRÔNIMOS OU SIGLAS UTILIZADAS NESTE MANUAL

RAIOS: Room Acoustics Integrated and Optimized Software (Programa integrado e otimizado para simulação de acústica de salas)

RIR: Room Impulse Response (Resposta impulsiva de sala)

BRIR: Binaural Room Impulse Response (Resposta impulsiva binauricular de sala)

HRIR: Head Related Impulse Response (Resposta impulsiva associada à cabeça humana)

HRTF: Head Related Transfer Function (Função de transferência associada à cabeça humana)

RR4: Round Robin 4 (Intercomparação internacional de programas de simulação de acústica de salas)

IACF(A): Interaural Cross-Correlation Function (All) (Função de correlação cruzada interauricular global)

IACF(E): Interaural Cross-Correlation Function (Early) (Função de correlação cruzada interauricular inicial)

IACF(L): Interaural Cross-Correlation Function (Late) (Função de correlação cruzada interauricular tardia)

IACC(A): Interaural Cross-Correlation Coefficient (All) (Coeficiente de correlação cruzada interauricular global)

IACC(E): Interaural Cross-Correlation Coefficient (Early) (Coeficiente de correlação cruzada interauricular inicial)

IACC(L): Interaural Cross-Correlation Coefficient (Late) (Coeficiente de correlação cruzada interauricular tardio)

T_{20} , T_{30} , T_{40} : Reverberation Times (Tempos de reverberação)

EDT: Early Decay Time (Tempo de decaimento inicial)

C_{80} , C_{50} : Clarity Factor (Fator de clareza, para música e para palavra)

D_{50} , D_{80} : Definition (Definição, para palavra e para música)

T_s : Center Time (Tempo central)

G: Gain (Ganho)

LG: Lateral Gain (Ganho lateral)

LF: Lateral Fraction (Fração lateral)

LFC: Lateral Fraction Cosine (Fração lateral cosseno)

ST1: Support Factor (Fator de suporte)

SUMÁRIO

- 1 INTRODUÇÃO
 - 1.1 O Anagrama do Programa
 - 1.2 Breve Histórico
 - 1.3 Dos Recursos
 - 1.4 Árvore de Diretórios
 - 1.5 A Barra de Menus
 - 1.5.1 O menu *File*
 - 1.5.2 O menu *Edit*
 - 1.5.3 O menu *View*
 - 1.5.4 O menu *Materials*
 - 1.5.5 O menu *Monoaural*
 - 1.5.6 O menu *Binaural*
 - 1.5.7 O menu *Tools*
 - 1.5.8 O menu *Help*

- 2 AS JANELAS PRINCIPAIS DO CÓDIGO **RAIOS 7**
 - 2.1 A Janela *Edit and View*
 - 2.2 A Janela *Data Entry*

- 3 A BARRA DE FERRAMENTAS
 - 3.1 Ferramentas de Visualização
 - 3.1.1 *Orbit*
 - 3.1.2 *Translate*
 - 3.1.3 *Zoom*
 - 3.1.4 *Perspective*
 - 3.2 Ferramentas de Modificação do Plano de Base
 - 3.2.1 *Size*
 - 3.2.2 *Spacement*
 - 3.2.3 *Move viewer center*
 - 3.2.4 *Hide Grid*
 - 3.3 Ferramentas de Modificação dos Elementos da Sala
 - 3.3.1 *Select*
 - 3.3.2 *Move*
 - 3.3.3 *Rotate*
 - 3.3.4 *Delete*
 - 3.4 Ferramentas de Edição de Superfícies
 - 3.4.1 *Plane*
 - 3.4.2 *Invert Normal*
 - 3.4.3 *Copy*
 - 3.4.4 *Double-sided*
 - 3.4.5 *First reflection*
 - 3.4.6 *Close polygon*
 - 3.5 Ferramentas de Edição de Fontes Sonoras e Receptores
 - 3.5.1 *Source*
 - 3.5.2 *Receiver*
 - 3.6 Coordenadas Cartesianas
 - 3.7 Ferramentas Diversas
 - 3.7.1 *Overview*
 - 3.7.2 *Surfaces*

3.7.3 *Acoustic quality parameters*

3.7.4 *SPL*

4 A JANELA DE EDIÇÃO E VISUALIZAÇÃO

5 A JANELA DE ENTRADA DE DADOS

5.1 Aba Sources

5.1.1 *Name*

5.1.2 *Rays [$\times 10^3$]*

5.1.3 *Power [W]*

5.1.4 *Position x,y,z*

5.1.5 *Orientation ϕ,θ*

5.1.6 *Visual radius*

5.1.7 *Directivity*

5.1.8 *Color*

5.1.9 *On*

5.2 Aba Receivers

5.2.1 *Name*

5.2.2 *Position x,y,z*

5.2.3 *Orientation ϕ,θ*

5.2.4 *Visual radius*

5.2.5 *Visual Radius*

5.2.6 *Color*

5.2.7 *On*

5.3 Aba Surfaces

5.3.1 O quadro *Surface properties*

5.3.2 *Scattering patterns*

5.3.3 O quadro *Material database*

5.4 Aba Running data

5.4.1 O quadro *Atmosphere*

5.4.2 O quadro *Spatial discretization*

5.4.3 O quadro *Stop criteria*

5.4.4 O quadro *Impulse response*

5.4.5 O quadro *Preview*

5.4.6 O botão *Output settings*

5.4.7 Rodando a simulação

6 IMPORTAÇÃO DE ARQUIVOS DXF

6.1 Entidades a Importar

6.2 Alguns Aspectos sobre a Importação

6.3 Exemplos

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. INTRODUÇÃO

Este Manual do Usuário está redigido em português. Contudo, os comandos do código computacional **RAIOS 7** estão todos em inglês. Quando nos referirmos a um comando, o mesmo será grafado em *itálico*, garantindo assim a distinção daquilo que é um comando no programa **RAIOS 7**. Nomes de janelas do programa também estão grafados em itálico. Palavras enfatizadas no Manual estão grafadas em cinza. 'Diretórios' ou 'pastas' são grafados com aspas simples.

Ao longo de todo este manual, o recinto a ser simulado, seja ele de qual natureza for, será designado simplesmente como sala.

Para dar início ao programa é necessário que, antes, o *Dongle* ou *Hardlock* (Pronova) esteja instalado em uma das portas USB de seu computador. Se o *Dongle* não estiver instalado, o código abrirá, porém em padrão *demo*, com todas as suas características, porém com algumas importantes limitações: 1. somente as salas fornecidas com o programa poderão ser abertas; 2. os resultados de simulação, bem como modificações das salas, não poderão ser salvos. O modo *demo* é útil, contudo, na aprendizagem do uso do código **RAIOS 7**.

Uma vez inserido o *Dongle*, para abrir o programa deve-se premir o botão *direito* do mouse sobre o ícone do código **RAIOS 7** e selecionar a linha *Run as administrator* (Execute como administrador), de modo que o *Dongle* seja reconhecido e o programa abra com todos os recursos que sua licença admite. A Fig. 1 mostra a tela inicial aberta do programa **RAIOS 7**.

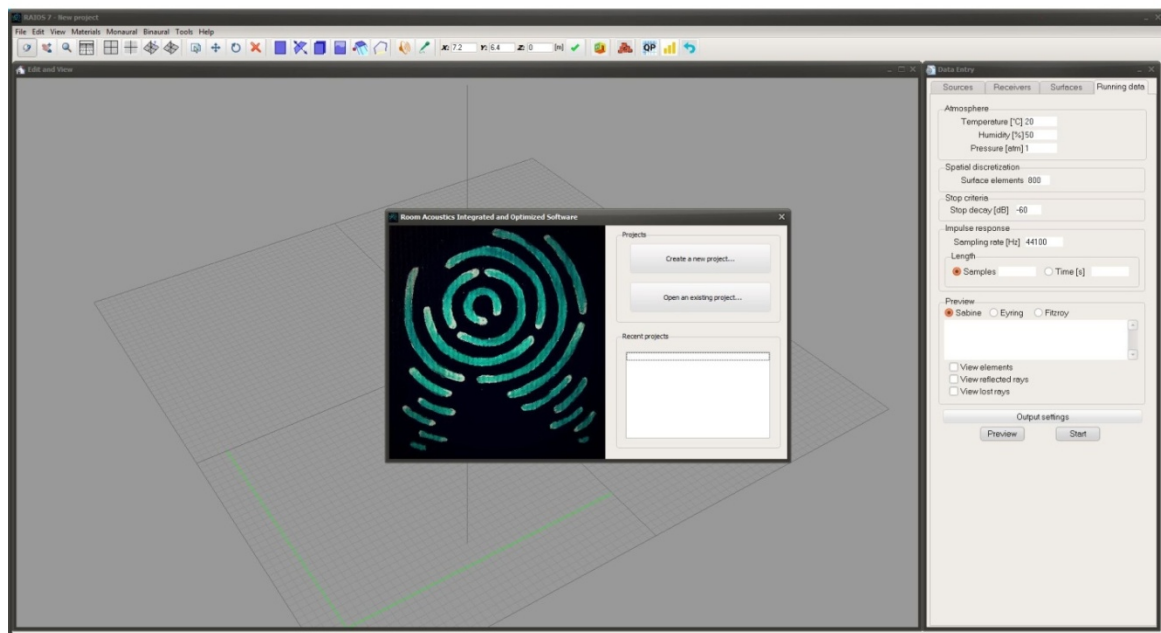


Figura 1: Tela inicial do programa **RAIOS 7**

O código computacional **RAIOS 7** roda em plataforma Windows[®] 64 bits e requer, para bom desempenho, de um processador rápido (como o CORE[™] i7, da Intel,[™] ou superior) e um mínimo desejável de 8 GB de memória RAM. Opera em sistemas operacionais Vista, Windows 7 e Windows 10.

O código computacional **RAIOS 7** é programado em linguagem C⁺⁺ e o executável foi criado por um compilador de última geração, em 64 bits. O programa opera um algoritmo híbrido¹ que

engloba o método clássico conhecido como *ray-tracing* para modelar as reflexões especulares, com absorção nas superfícies internas da sala e atenuação devida à propagação, e o método conhecido como *sound energy transition* (ou também como *radiosity method*) para modelar a difusão.² Maiores detalhes sobre a implementação desses dois métodos no software **RAIOS** podem ser encontrados na referência.³ Outras informações sobre os desenvolvimentos posteriores do código no período 2007—2017 podem ser encontrados na ampla bibliografia ao final deste manual.

1.1 O Anagrama do Programa

RAIOS é o acrônimo para *Room Acoustics Integrated and Optimized Software*, (Programa Integrado e Otimizado para Simulação Numérica de Acústica de Salas, em tradução livre). O código computacional que implementa os modelos de acústica de salas utilizados no **RAIOS** conjuga mais de um método de cálculo, daí a palavra *integrado* no nome do programa, e foi seguidas vezes aperfeiçoado^{4,5} quanto à performance computacional e daí o termo *otimizado* no nome do programa.

1.2 Breve Histórico

O código computacional **RAIOS** teve o início de seu desenvolvimento na primeira metade da década de 1990.⁶⁻⁸ O primeiro programa, **RAIOS 1**, calculava a distribuição do nível de pressão sonora em uma sala de geometria arbitrária cujo, contorno é discretizado por meio de polígonos planos, utilizando o modelo de acústica geométrica pelo método dos raios acústicos. Por essa razão, o código computacional ganhou originalmente o nome **RAIOS**, que perdura até hoje, embora com outro significado.

Na segunda metade da década de 1990, houve uma evolução importante do código computacional, quando foi incluída a variável temporal, de modo a ser calculado também o transiente acústico do recinto, obtendo-se assim as respostas impulsivas da sala (RIRs, acrônimo do inglês para *Room Impulse Responses*).⁹ Essa constituiu a versão **RAIOS 2**.

No início da década de 2000, foi introduzido no programa o algoritmo de transições de energia, que permite o cálculo das reflexões difusas e produz uma cauda reverberante mais realística.^{1,2,10} O simulador computacional passou, então, a constituir-se de um modelo híbrido, com, a grosso modo, o método dos raios acústicos calculando as reflexões especulares e o método das transições de energia — também conhecido como método da radiosidade ou dos caminhos aleatórios — computando as reflexões difusas. O nome do programa mudou, então, para **RAIOS 3**.

Entre 2001 e 2002 o programa **RAIOS 3** participou do *Round Robin 3*, uma competição internacional de simuladores de acústica de salas, promovido pelo Departamento de Acústica do PTB (*Physikalisch-Technischen Bundesanstalt*), o órgão metrológico alemão.^{11,12} Os dados geométricos e de materiais de um estúdio de música do próprio PTB foram fornecidos às 21 equipes que se interessaram em participar, em três fases de crescente complexidade. A Fig. 2 ilustra a sala de teste, na Fase 3, cuja acústica deveria ser simulada, dada em duas condições: sala com cortinas fechadas e sala com cortinas abertas. Observe, na Fig. 2, a presença de duas fontes sonoras (dodecaedros) e três receptores (poliedros de 32 faces, em verde).

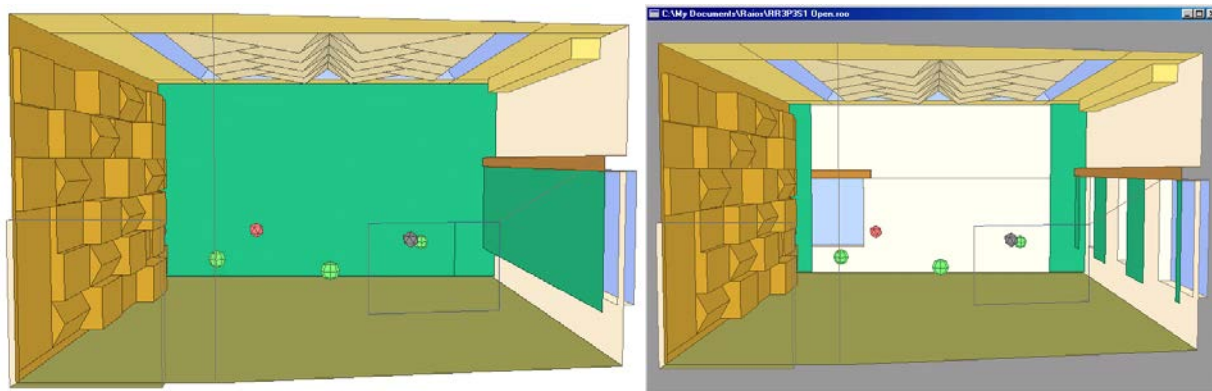


Figura 2: Sala de teste utilizada na intercomparação internacional *Round Robin 3*, Fase 3. À esquerda, sala com cortinas fechadas. À direita, sala com cortinas abertas. Observem-se duas fontes sonoras e três receptores.

Havia, entre as equipes participantes, tanto usuários como desenvolvedores de software, caso da equipe do **RAIOS 3**. As diversas equipes enviavam os resultados — parâmetros de qualidade acústica, em seis bandas de oitava — para os organizadores, num procedimento longo que durou mais de um ano. Ao final, todos os resultados das diversas simulações foram divulgados pelo PTB, bem como os resultados das cuidadosas medições conduzidas pelos organizadores. Participaram programas comerciais, bem como programas ainda em desenvolvimento. O código computacional **RAIOS 3** foi o programa que obteve a segunda melhor colocação em termos de erros médios, relativos às medições,^{13,14} no cálculo dos diversos parâmetros acústicos, como ilustra a Fig. 3, que mostra as médias dos erros médios relativos às medições, obtidas pelos programas que chegaram ao final do processo de cálculo dos parâmetros acústicos no *Round Robin 3*.

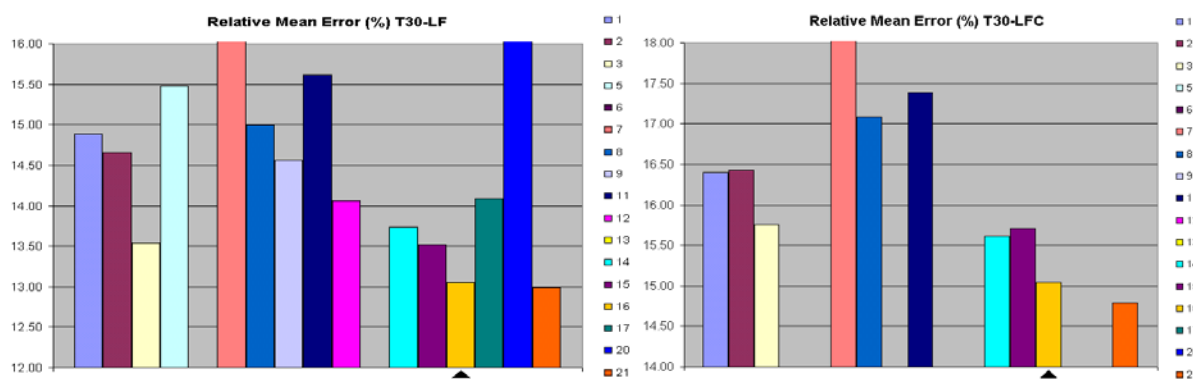


Figura 3: Médias dos erros médios relativos às medições, dos diversos participantes do *Round Robin 3*. À esquerda, a média, incluindo os parâmetros T_{30} , EDT, G, C_{80} , D_{50} , T_s e LF. À direita, incluindo também o parâmetro LFC (poucos participantes calcularam este último). A barra amarela identifica o código computacional **RAIOS 3**. Valores menores de erro indicam melhores resultados.¹⁵

Em 2004 foi elaborado um novo modelo para as funções de transferência associadas à cabeça humana (HRTFs, acrônimo do inglês para *Head Related Transfer Functions*), baseado em transformadas Wavelet e filtros esparsos, o que permitiu um significativo incremento de eficiência e economia de processamento de dados no processo de aurilização das salas.^{3,16-26}

Em 2006 foi introduzido um modelo modal para lidar com as baixas frequências da sala, ampliando o leque de modelos embutidos no código computacional **RAIOS**.²⁷ Esse módulo é

utilizado apenas nas bandas de oitava abaixo da frequência de corte da sala (tipicamente, 63~125 Hz). Essa versão do código passou a denominar-se **RAIOS 4**.

Em 2009, além de outros aperfeiçoamentos, o módulo de aurilização foi incorporado ao código, agora **RAIOS 5**, permitindo assim a geração de realidade virtual acústica em uma sala ainda em projeto com maior fidedignidade.²⁸⁻³⁰ Também no ano de 2009, foi introduzido um módulo de simulação de campo sonoro em ambientes externos,³¹ permitindo a avaliação de campo acústico em ambiente urbano e a consequente utilização do código computacional no controle de poluição sonora nesses ambientes.

Em 2010 foi elaborado um modelo baseado em redes neurais artificiais,³²⁻³⁶ capaz de gerar as respostas impulsivas biauriculares da sala (BRIRs, acrônimo do inglês para *Binaural Room Impulse Responses*) e, portanto, a aurilização no receptor com maior eficiência numérica, ou seja, com maior rapidez. Essa técnica resultou no código computacional **RAIOS 6**.³⁷⁻⁴⁵

Diversos outros desenvolvimentos ocorreram nos anos seguintes. Uma nova técnica de modelagem das HRIRs filtradas utilizando-se redes neurais artificiais, agora do tipo funções de base radial (*radial basis functions*) foi implementada no código.⁴⁶⁻⁵⁴ Com essa nova técnica, o cálculo das respostas impulsivas biauriculares da sala é realizado sem a necessidade de convoluções, com uma economia computacional de 80%, ou seja, as BRIRs são calculadas em 1/5 do tempo gasto pelo método clássico das convoluções.⁵⁵⁻⁶¹

Uma das dificuldades de se avaliar aurilizações consiste no fato de que todas as alternativas disponíveis envolverem fatores exclusivamente subjetivos.⁶² Uma técnica experimental tem sido utilizada para validar as aurilizações geradas pelo código computacional **RAIOS** via índices de articulação, que tem se mostrado valiosa.^{55,56,63-76}

Em 2016 foi lançada a intercomparação internacional de programas para simulação de acústica de salas — esta com aurilização — denominada *Round Robin 4* (RR4). Organizada por duas universidades da Alemanha, foram fornecidos aos participantes os dados geométricos de nove salas, em 25 distintas configurações, com bancos de dados com coeficientes de absorção e espalhamento, cada sala contendo diversas fontes sonoras e receptores, mono e biauriculares. Foram fornecidos os dados de direcionalidade de duas fontes sonoras, em azimute e elevação, e bancos de dados detalhados para as HRIRs da cabeça artificial utilizada nas medições, com 45 distintas posições angulares de rotação vertical da cabeça em relação ao torso.⁷⁷⁻⁸⁰ Foram solicitadas pelos organizadores do certame um total de 111 RIRs e 949 BRIRs e somente cinco equipes se dispuseram a participar, dentre as quais a equipe desenvolvedora do código **RAIOS**. A publicação oficial da equipe organizadora reportando os resultados do RR4 é esperada para o ano de 2018.

No presente momento (2018) o código computacional **RAIOS** está em sua Versão 7.

1.3 Dos Recursos

O código computacional **RAIOS 7** calcula as respostas impulsivas (especulares, difusas e híbridas) da sala para as posições selecionadas dos receptores, as curvas de decaimento e todos os parâmetros mais usuais de qualidade acústica — segundo as normas ISO⁸¹⁻⁸⁴ — para cada par fonte-receptor no interior de um recinto de geometria arbitrária, em valores globais e por bandas de oitava, entre 63 Hz e 16 kHz. Fornece, ainda, as respostas impulsivas biauriculares para pontos escolhidos no ambiente e, uma vez selecionado um sinal anecoico, gera a aurilização da sala nesses pontos. Aplica-se a auditórios, salas de concerto ou ópera, teatros, salas de aula e variados outros ambientes públicos, como aeroportos, estações, galpões

industriais e toda uma vasta gama de ambientes. Calcula, ainda, os níveis de pressão sonora em regime permanente — global e por bandas de oitava — linear e com curvas de ponderação A, B, C e D.

O código computacional **RAIOS 7** possui uma interface gráfica amigável, baseada em *OpenGL*, que facilita grandemente a visualização da sala, bem como sua própria edição, ou seja, sua construção ou modificação. Além disso, possui capacidade de importar arquivos com extensão *.dxf (*drawing exchange format*), podendo se comunicar com facilidade com programas de CAD (*Computer Aided Design*), que utilizam esse formato para intercâmbio de dados. Projetos de arquitetura salvos em programas de CAD 3D, por exemplo, podem ser importados pelo programa **RAIOS 7**, desde que atendidos alguns critérios, discutidos na Seção 6.

Além da geometria arbitrária do recinto, o programa **RAIOS 7** permite a modelagem de um número arbitrário de fontes sonoras com potência, densidade espectral, posição, orientação, direcionalidade e número de raios emitidos definidos pelo usuário. Para ambientes industriais e urbanos, pode gerar linhas de fontes sonoras distribuídas (fontes sonoras lineares).

Um sistema de camadas (*Layers*) permite a associação de cada superfície a um material, contendo uma tabela de coeficientes de absorção e de difusão, por bandas de oitava. O programa incorpora uma ampla tabela de materiais, (mais de mil) para maior comodidade do usuário. Contudo, este sempre pode introduzir com facilidade um novo material com suas características acústicas, caso a tabela de materiais não o atenda.

O usuário também escolhe receptores — que podem ser considerados como microfones, se o que se deseja são respostas impulsivas monoauriculares, ou cabeças artificiais, se as respostas impulsivas biauriculares são desejadas. Diversas características dos receptores, como posição, orientação, diâmetro visual etc. podem ser selecionados pelo usuário. Há ainda a possibilidade de girar a cabeça em relação ao torso, em torno do eixo vertical, para 45 posições angulares distintas. O programa **RAIOS 7** incorpora as funções de transferência da cabeça para cada uma dessas orientações.

1.4 Árvore de Diretórios

A árvore de diretórios padrão do código **RAIOS 7** é criada quando da instalação do programa e compõe-se de uma pasta denominada 'RAIOS' criada em 'Documents' ou 'MyDocuments'. A pasta 'RAIOS' possui as seguintes subpastas ou diretórios: 'Anechoic_Sound', 'Auralization', 'Materials', 'RAY', 'RIR', 'BRIR', 'Results' e 'Rooms'. Em cada uma dessas subpastas são armazenados arquivos necessários à correta utilização do programa (dados de entrada), ou são armazenados arquivos de saída do código, tal como descrito a seguir.

1.4.1 Em 'Anechoic_Sound' ficam armazenados arquivos de sinais anecoicos (um canal) no padrão *.wav para gerar aurilização. São arquivos de entrada do programa. O usuário pode adicionar arquivos anecoicos à vontade nesse padrão.

1.4.2 Em 'Auralization' são gravados os arquivos de sinais sonoros de aurilização (dois canais) gerados pelo código **RAIOS 7**. Esses arquivos estão ou no padrão *.txt (arquivo texto, para gerar gráficos) e/ou no padrão *.wav (arquivo sonoro, para ser escutado com fones de ouvido). São arquivos de saída do programa.

1.4.3 Em 'Materials' são armazenados os dados relativos aos materiais utilizados como acabamento interno das salas, com seus respectivos coeficientes de absorção e espalhamento

em nove bandas de oitava entre 63 Hz e 16 kHz, criados pelo usuário, ver Seção 1.5.4. São arquivos de entrada do programa. O usuário pode adicionar novos materiais de dentro do próprio programa, como pode ser visto na Seção 1.5.4.

1.4.4 Em 'RAY' são armazenados os arquivos de saída da simulação da sala. Esses arquivos contêm todas as informações de chegada dos raios acústicos (especulares e difusos) em cada receptor. O formato padrão desses arquivos é *_specular.ray (envolvendo o modelo para reflexões especulares) e *_diffuse.ray (envolvendo o modelo para as reflexões difusas). A menos que especificado diferentemente, o programa calcula pelos dois métodos e armazena no diretório 'RAY' os dois tipos de arquivos. Como padrão do código **RAIOS 7**, o (*) contém o nome da sala, o nome da fonte sonora e o nome do receptor. Isso facilita a utilização do programa, como o usuário irá reconhecer com o seu uso. Todavia, qualquer outra estrutura pode ser utilizada no lugar do (*), a critério do usuário, após o arquivo ser criado. São arquivos de saída do programa. A extensão *.ray é proprietária do código **RAIOS 7**.

1.4.5 Em 'RIR' são armazenados os arquivos com as respostas impulsivas monoauriculares da sala para os pares fonte-receptor selecionados pelo usuário. O formato geral desses arquivos é *.txt, podendo ainda ser *_specular.txt ou *_diffuse.txt. Os três formatos são para gráficos. Há, ainda, a opção de esses mesmos arquivos serem armazenados como *.wav, para serem ouvidos (há, portanto, seis opções). Como padrão do código **RAIOS 7**, o (*) contém o nome da sala, o nome da fonte sonora e o nome do receptor, mas o usuário pode optar por nomear os arquivos diferentemente, após o arquivo ser criado. São arquivos de saída do programa.

1.4.6 Em 'BRIR' são armazenados os arquivos com as respostas impulsivas biauriculares da sala para os pares fonte-receptor selecionados pelo usuário. O formato geral desses arquivos é *.txt, podendo ainda ser *_specular.txt ou *_diffuse.txt. Os três formatos são para gráficos. Há ainda a opção de esses mesmos arquivos serem armazenados como *.wav, para serem ouvidos (há, portanto, seis opções). Como padrão do código **RAIOS 7**, o (*) contém o nome da sala, o nome da fonte sonora, o nome do receptor e a rotação da cabeça sobre o torso, mas o usuário pode optar por nomear os arquivos diferentemente, após o arquivo ser criado. São arquivos de saída do programa.

1.4.7 Em 'Results' são armazenados os arquivos com os resultados das respostas impulsivas monoauriculares, curvas de decaimento e parâmetros de qualidade acústica — usualmente acessíveis pelo menu *Monoaural*, ver Seção 1.5.5, após rodar a simulação da sala. Esse diretório é útil caso o usuário deseje rever resultados após o fechamento de um projeto. Seu uso é explicado na Seção 1.5.1.

1.4.8 Finalmente, em 'Rooms' são armazenados os arquivos *.prt (de projeto) com todos os dados da sala, como sua geometria, acabamento, posições e orientações de fontes e receptores etc. Toda vez que um projeto é salvo, ele é armazenado nessa subpasta, no padrão do programa **RAIOS 7**. Sugere-se que, ao fazer uma modificação significativa no projeto, ele seja salvo com outro nome. A extensão *.prt é proprietária do código **RAIOS 7**. Arquivos *.prt são tanto arquivos de entrada como arquivos de saída do programa. Também devem ser armazenados nessa subpasta arquivos no formato *.dxf. Esses são arquivos gerados por programas de CAD que — atendendo determinadas condições, ver Seção 6 — podem ser importados pelo código **RAIOS 7**. Arquivos *.dxf são arquivos de entrada do programa.

Para concluir, vale lembrar que a árvore de diretórios para o armazenamento de arquivos acima descrita é o padrão do código **RAIOS 7**, e como tal é conveniente que seja mantida pelo usuário. Nada impede, contudo, que o usuário experiente armazene os arquivos em sua própria estrutura de pastas e subpastas.

1.5 A Barra de Menus

A barra de menus é composta dos seguintes menus: *File*, *Edit*, *View*, *Materials*, *Monoaural*, *Binaural* e *Help*. A Fig. 4 ilustra a barra de menus do programa **RAIOS 7**.

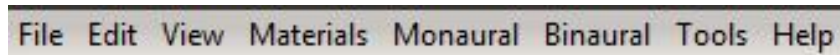


Figura 4: Barra de menus do programa **RAIOS 7**.

1.5.1 O menu *File*

Selecionando-se o menu *File*, abre-se uma janela com as seguintes opções: *New project*, *Open*, *Save project*, *Save as*, *Results* e *Exit*.

Escolhendo a opção *New project*, o usuário estará apto a criar um novo projeto, ou seja, a editar uma nova sala, não presente no diretório 'Rooms' do código **RAIOS 7**, seja no padrão *.prt ou *.dxf. Se uma sala já estiver aberta na janela *Edit and View* do programa, uma advertência se apresentará com os dizeres: *Do you want to save the current project?* A sala atual poderá, então, ser salva antes da abertura de um novo projeto. A Fig. 5 ilustra a janela do menu *File* aberta.

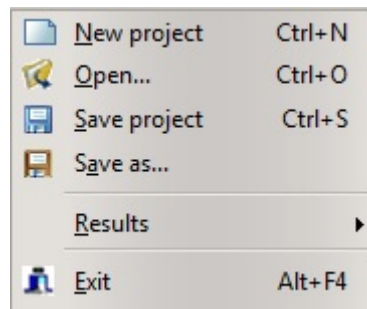


Figura 5: Janela do menu *File* aberta, mostrando as diversas opções.

Escolhendo a opção *Open*, abre-se uma nova janela, com o mesmo nome, onde o usuário poderá selecionar uma das salas já anteriormente salvas pelo programa. As salas salvas pelo código computacional **RAIOS 7**, como já mencionado, têm todas a extensão *.prt (de projeto). Os arquivos de salas podem estar em qualquer diretório ou pasta. O padrão do código **RAIOS 7** é o diretório \RAIOS\Rooms. Se uma sala já estiver aberta na janela *Edit and View* do programa, uma janela de advertência se apresentará com os dizeres: *Do you want to save the current project?* A sala atual poderá, então, ser salva antes da abertura de um projeto anteriormente armazenado. Observe que na parte inferior da janela *Open* há dois campos: *File name* e *Files of type*. O primeiro é automaticamente preenchido quando uma das salas é selecionada no campo *Name*. O segundo campo permite escolher entre dois tipos de arquivos: *.prt, já descrito acima, e *.dxf, para importação de geometria salva nesse padrão por programas de CAD. A técnica de importação de arquivos *.dxf é discutida na Seção 6.

Escolhendo a opção *Save project*, o usuário pode salvar a sala atualmente aberta na janela de edição e visualização, tenha sido feita ou não sua simulação acústica. A sala será salva com a extensão *.prt. Recomenda-se salvar periodicamente o projeto toda vez que uma modificação importante for realizada na sala. Se a modificação do projeto for julgada significativa, recomenda-se salvar com outro nome.

Escolhendo a opção *Save as*, o usuário pode salvar a sala aberta na janela de edição e visualização com outro nome ou em outro diretório. Por exemplo, se o usuário quiser salvar

uma alteração feita na geometria da sala, ou nas posições de fontes e microfones, ou ainda uma simulação efetuada com parâmetros diferentes, sugere-se salvá-la com outro nome. A sala será salva no mesmo diretório, salvo se outra opção de diretório for seleccionada pelo usuário no campo *Save in*.

Escolhendo a opção *Results*, abrem-se duas alternativas: *Export* e *Import*. Na opção *Export*, os resultados da sala que foi simulada (RIRs, Curvas de decaimento e Parâmetros de qualidade acústica) podem ser salvos para posterior uso. Na opção *Import*, esses mesmos dados podem ser importados, para serem visualizados ou escutados. Nesse caso, é necessário primeiramente abrir o projeto (sala) e, em seguida, importar os resultados desse mesmo projeto. Os resultados exportados são arquivos no padrão *.rst (de *results*) e são arquivados na subpasta 'Results'.

Finalmente, escolhendo-se a opção *Exit*, uma janela de confirmação é aberta, perguntando se o usuário deseja realmente sair do programa. Cuide de salvar seu projeto antes de confirmar a saída, bem como exportar os resultados de simulação, caso contrário, a última versão não salva do projeto e dos resultados de simulação serão perdidas.

1.5.2 O menu *Edit*

Selecione-se o menu *Edit*, abre-se a opção *Select all* que, por sua vez, dá acesso às opções *Planes*, *Sources* e *Receivers*. As opções referem-se, respectivamente, à edição de planos, fontes sonoras e receptores. A utilização desse menu será explicada na Seção 4. A Fig. 6 ilustra a janela aberta pelo menu *Edit*.

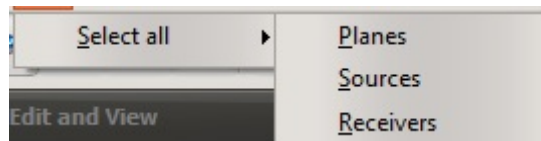


Figura 6: A janela *Select all* aberta e as opções *Planes*, *Sources* e *Receivers*.

1.5.3 O menu *View*

Selecione-se o menu *View*, abrem-se as opções: *Edit and View*, *Data Entry* e *Toolbar*. Essas opções simplesmente ativam ou desativam (✓) cada um desses três elementos principais do programa. A opção *Tile main windows* recompõe o padrão de abertura do programa, tal como em sua inicialização. A Fig. 7 mostra as opções abertas com o menu *View*.

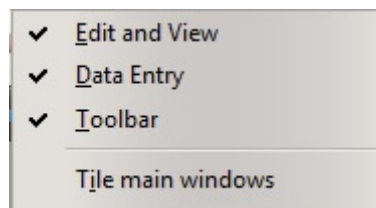


Figura 7: A janela *View* aberta, indicando suas opções.

1.5.4 O menu *Materials*

Selecione o menu *Materials*, com uma sala aberta na janela de edição e visualização, abrem-se as opções *List of materials*, *Import materials*, *Export materials* e *Coefficients*. A Fig. 8 mostra a janela com as opções abertas no menu *Materials*.

<u>L</u> ist of materials	Ctrl+M
<u>I</u> mport materials	Ctrl+I
<u>E</u> xport materials	Ctrl+E
<u>C</u> oefficients	

Figura 8: A janela *Materials* aberta, indicando suas opções.

A opção *List of materials*, abre uma janela como indicada na Fig. 9, mostrando a lista de materiais (com mais de mil entradas) constantes do arcabouço do código computacional **RAIOS 7**. Premindo-se o botão *Open list* no quadro *Actions*, a lista de materiais é apresentada na tabela, se houver uma sala aberta na janela de edição e visualização. O cursor à direita permite selecionar um material da lista. Os coeficientes de absorção nas nove bandas de oitava (63 Hz a 16 kHz) são indicados na tabela e também no gráfico na parte inferior da janela. O botão *Export to work area*, também no quadro *Actions*, permite exportar o material selecionado (e seus coeficientes) para a janela *Data Entry*, aba *Surfaces* do projeto que está sendo trabalhado e para a janela *Surfaces*, ver Seção 3.7. Na Fig. 9, o material identificado pelo *Id* 1 está selecionado e seus coeficientes de absorção em nove bandas de oitava constam do gráfico.

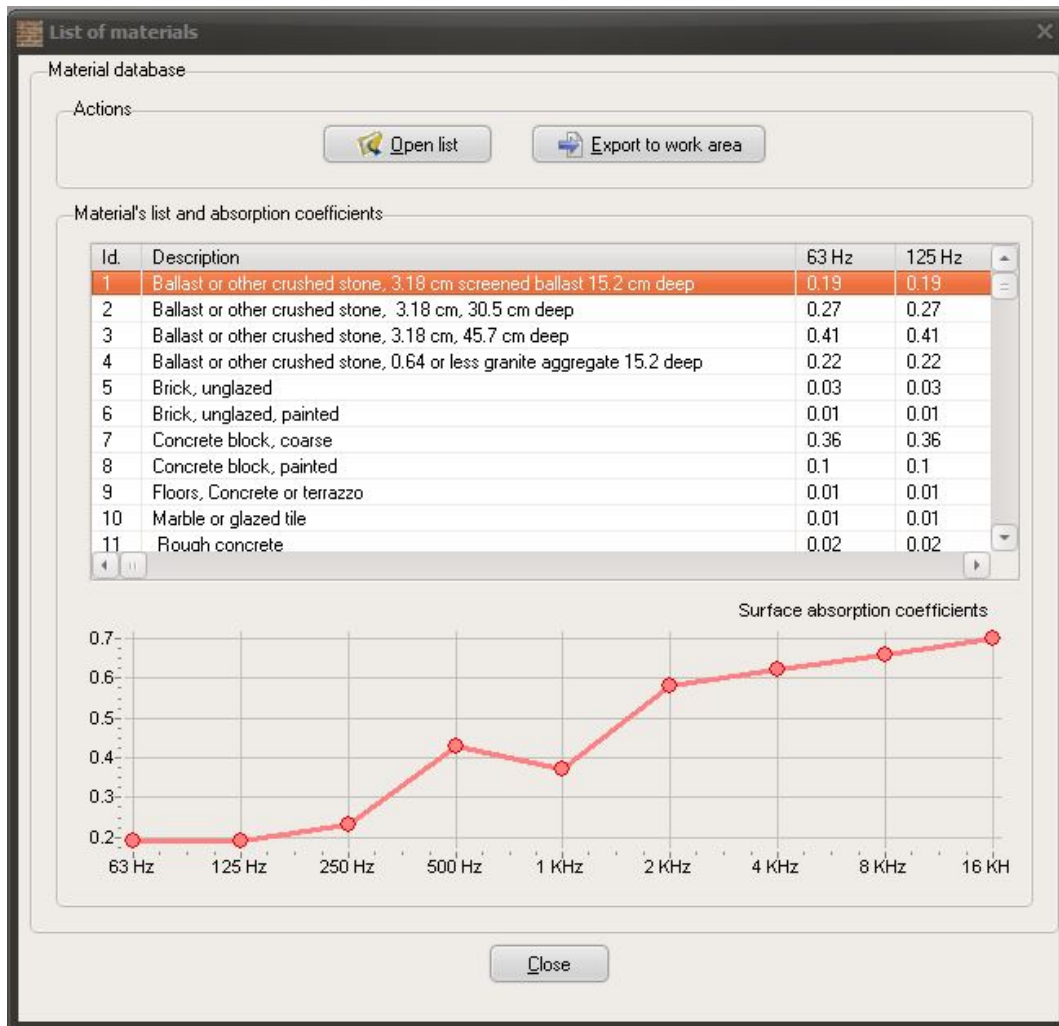


Figura 9: A janela *List of materials* aberta, indicando suas opções e o gráfico com os coeficientes de absorção em nove bandas de oitava entre 63 Hz e 16 kHz.

A opção *Export material* abre uma janela com o mesmo nome, como a mostrada na Fig. 10. A função da janela é a criação de um banco de materiais não disponíveis na tabela de materiais do código **RAIOS 7**. Os materiais são inseridos sequencialmente na janela *Create material*, descrita a seguir. O botão *Export* abre uma janela com o diretório (pasta) *Materials*, onde o novo material será salvo em um arquivo no formato *.mat, onde (*) representa o nome escolhido para o material.

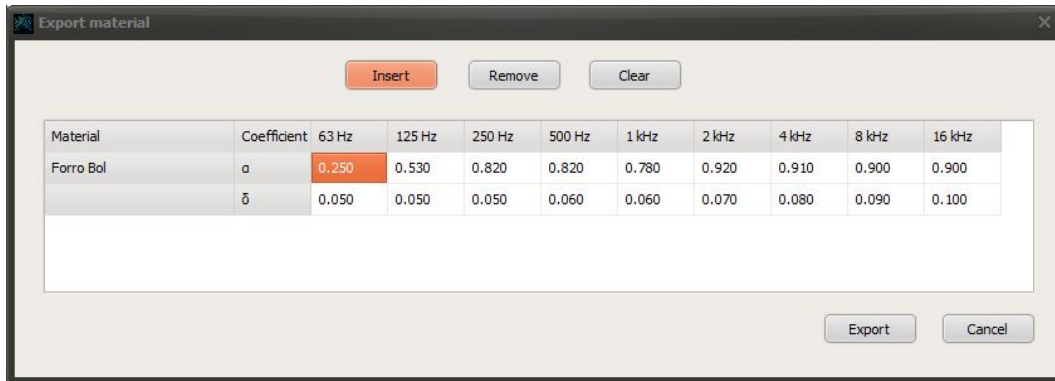


Figura 10: A janela *Export material* aberta, indicando suas opções.

Premindo-se o botão *Insert*, abre-se outra janela denominada *Create material* onde o usuário pode inserir o nome do material no campo respectivo e seus coeficientes de absorção e espalhamento. Após o preenchimento desses campos é só apertar o botão *Add* e esses dados são enviados para a janela *Export material*. A Fig. 11 apresenta a janela *Create material*, com seus campos preenchidos para um material de acabamento. O usuário pode criar diversos materiais e os mesmos serão inseridos sequencialmente na janela *Export material*. A letra grega α designa os coeficientes de absorção; a letra grega δ designa os coeficientes de espalhamento. Cumpre notar que os coeficientes de absorção e espalhamento devem estar contidos no intervalo [0,1] e que se deve utilizar o ponto decimal no lugar da vírgula. Como mencionado, premindo-se o botão *Add*, o material (e seus coeficientes) é transferido para a janela *Export material* e os campos da janela *Create material* ficam livres para a inserção de um novo material.

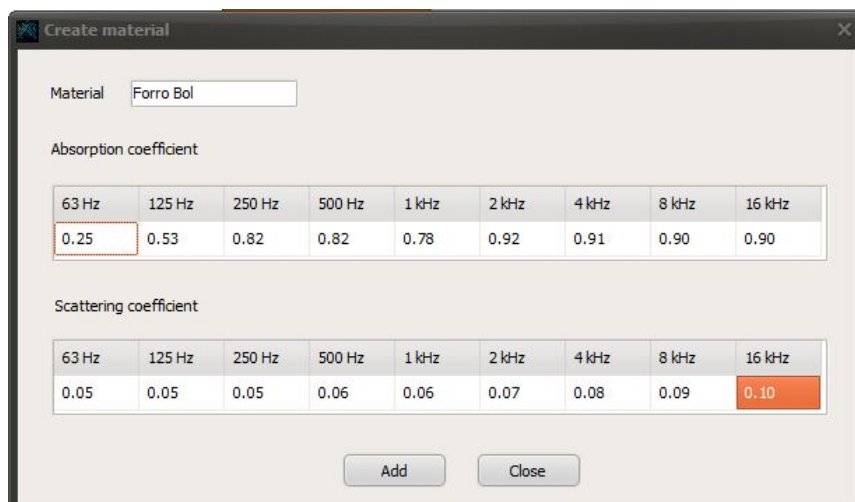


Figura 11: A janela *Create material* aberta, indicando os campos a serem preenchidos.

A opção *Import materials* visa importar os materiais criados na janela *Export material* para área de trabalho da sala a ser simulada. Ao premir-se o botão *Load*, abre-se o diretório de novos

materiais e, uma vez selecionado um arquivo, o material e seus coeficientes de absorção e espalhamento aparecem tanto na tabela quanto no gráfico. Conferido se o material é esse mesmo que se deseja, premindo-se o botão *Export to work area*, transfere o material para o quadro *Material database* na aba *Surfaces* da janela *Data Entry* e para a janela *Surfaces*, ver Seções 2.2 e 5.3. A Fig. 12 ilustra a janela *Import materials*. Premindo-se o botão esquerdo do mouse com o apontador sobre qualquer um dos coeficientes, o gráfico dos coeficientes de absorção e espalhamento por bandas de oitava é preenchido na parte inferior da janela.

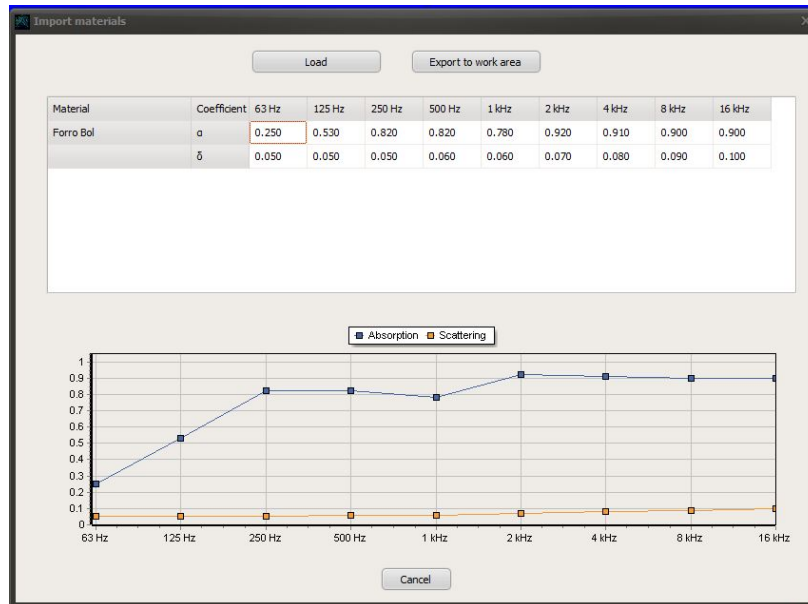


Figura 12: A janela *Import materials* aberta, indicando suas opções.

A opção *Coefficients* permite visualizar, em forma de gráfico, em uma janela de nome *Surface coefficients*, os valores dos coeficientes de absorção e espalhamento em nove bandas de oitava (63 Hz a 16 kHz) relativos à superfície selecionada do projeto aberto na janela de edição e visualização, ver Seção 3.3.1. A Fig. 13 mostra a janela *Surface coefficients* aberta.

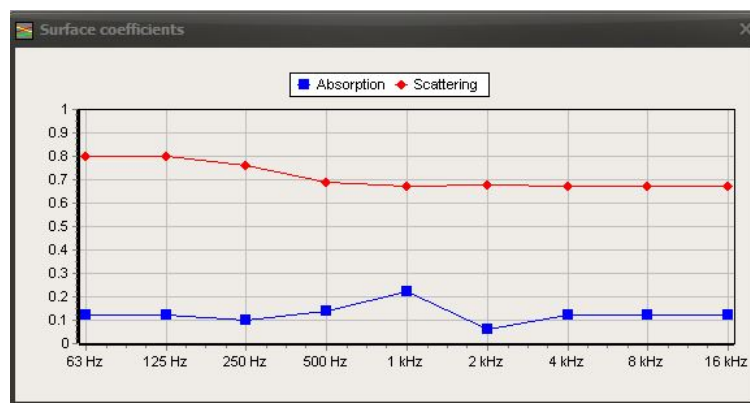


Figura 13: A janela *Surface coefficients* aberta, indicando os coeficientes de absorção e espalhamento de uma superfície selecionada da sala aberta.

1.5.5 O menu *Monoaural*

O menu *Monoaural* dá acesso a três opções: *RIR plot*, *Decay curves* e *Acoustic quality parameters*. Nesse menu, portanto, o usuário tem acesso às respostas impulsivas da sala, suas correspondentes curvas de decaimento e os valores dos parâmetros de qualidade acústica, para cada par fonte-receptor selecionado, em valores globais e por bandas de oitava entre 63 Hz e

16 kHz. Naturalmente, esses resultados só estarão disponíveis após a simulação da sala ou após o carregamento do arquivo de resultados correspondente *.rst do diretório 'Results', se disponível. A Fig. 14 mostra as opções abertas com o menu *Monoaural*.

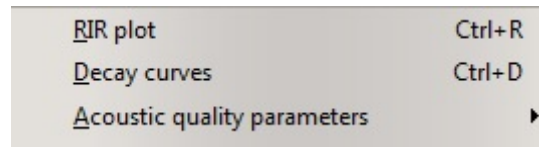


Figura 14: A janela *Monoaural* aberta, com suas opções.

A Fig. 15 mostra a janela que se abre ao selecionar-se a opção *RIR plot*, denominada *Room impulse response*. O usuário tem a opção de visualizar o gráfico da RIR especular, difusa ou híbrida, dependendo da opção marcada no quadro superior da janela (*Specular*, *Diffuse* ou *Hybrid*). Também pode selecionar visualizar o gráfico da resposta impulsiva global ou por banda de oitava entre 63 Hz e 16 kHz dependendo da opção marcada no quadro inferior. Se tiver sido feita a opção de também gerar a resposta impulsiva em arquivo de áudio (*.wav), o botão *Listen* permite ao usuário escutar o sinal sonoro (preferencialmente com fones de ouvido), mas exclusivamente da resposta impulsiva não filtrada (global). Para que o gráfico da RIR seja apresentado na janela, é necessário que um receptor seja selecionado, ver Seção 3.3.1.

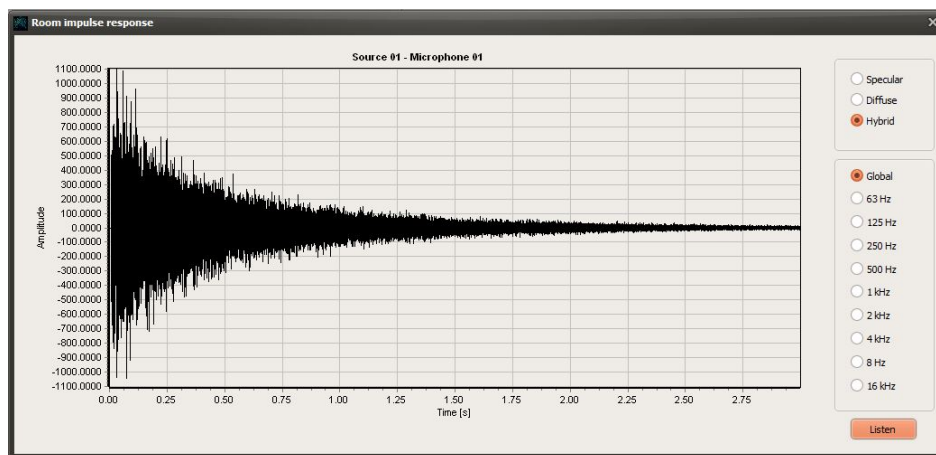


Figura 15: A janela *Room impulse response* aberta, mostrando a resposta impulsiva (híbrida, global) da sala para o par fonte-receptor selecionado, indicado na parte superior da janela.

Adicionalmente, detalhes da resposta impulsiva podem ser observados por meio de zuns. Marcando-se uma janela da esquerda para a direita no gráfico da resposta impulsiva da sala, amplia-se a escala temporal do gráfico. Isso pode ser repetido quantas vezes o usuário desejar. Ao contrário, marcando-se uma janela da direita para a esquerda, recupera-se o gráfico original.

A Fig. 16 mostra a janela que se abre ao selecionar-se a opção *Decay curves*, com os gráficos, em dB versus tempo, das curvas de decaimento global e por bandas de oitava entre 63 Hz e 16 kHz dependendo das opções marcadas no quadro à esquerda. A legenda por cores está indicada à direita do gráfico. Analogamente ao que acontece com a janela da resposta impulsiva da sala, marcando-se uma janela da esquerda para a direita no gráfico das curvas de decaimento da sala, amplia-se a escala temporal do gráfico. Isso pode ser repetido quantas vezes o usuário desejar. Ao contrário, marcando-se uma janela da direita para a esquerda, recupera-se o gráfico original.

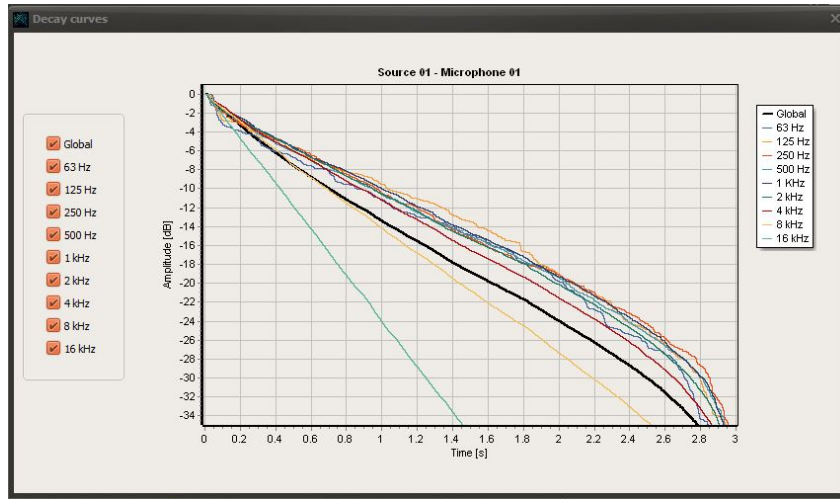


Figura 16: A janela *Decay curves* aberta, mostrando as curvas de decaimento da sala para o par fonte-receptor selecionado, indicado na parte superior da janela, global e em nove bandas de oitava.

Ao selecionar a opção *Acoustic quality parameters*, abrem-se duas novas opções: *Table* e *Graph*. Selecionando-se a opção *Table*, abre-se uma janela denominada *Table of acoustic quality parameters* contendo uma tabela com os seguintes parâmetros de qualidade acústica em valores globais e em nove bandas de oitava entre 63 Hz e 16 kHz: T_{20} , T_{30} , T_{40} , EDT, D_{50} , D_{80} , C_{50} , C_{80} , T_s , G , LG , LF , LFC e $ST1$. Todos esses parâmetros são calculados a partir da resposta impulsiva da sala para o par fonte-receptor selecionado e a janela é mostrada na Fig. 17.

	Global	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	16 kHz
T_{20} [s]	0.47	0.50	0.28	0.44	0.54	0.51	0.50	0.49	0.49	0.45
T_{30} [s]	0.51	0.65	0.40	0.52	0.59	0.53	0.53	0.54	0.52	0.47
T_{40} [s]	0.54	0.60	0.46	0.52	0.60	0.57	0.57	0.58	0.56	0.50
EDT [s]	0.4	0.2	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4
D_{50} [%]	82.7	78.3	84.4	87.0	88.3	89.8	86.8	87.4	84.7	78.1
D_{80} [%]	93.4	94.7	97.2	94.2	93.8	95.3	94.8	94.8	93.7	92.0
C_{50} [dB]	6.8	5.6	7.3	8.2	8.8	9.4	8.2	8.4	7.4	5.5
C_{80} [dB]	11.5	12.5	15.4	12.1	11.8	13.1	12.6	12.6	11.7	10.6
T_s [ms]	28.3	45.4	37.1	24.9	22.3	22.2	23.9	22.2	25.8	33.8
G [dB]	114.3	92.6	95.7	96.4	98.7	102.8	105.6	108.1	110.0	110.4
LG [dB]	76.1	59.1	57.6	59.2	60.9	63.2	66.4	68.6	71.6	72.5
LF [%]	2.0	2.7	1.9	2.3	3.0	2.4	1.6	2.0	2.3	1.7
LFC [%]	4.0	3.1	4.0	4.5	6.2	4.3	3.4	4.3	4.6	3.5
$ST1$ [dB]	1.7	45.9	19.2	0.0	-1.9	-0.9	-0.0	-1.1	0.5	4.7

Figura 17: A janela *Table of acoustic quality parameters* aberta, mostrando a tabela dos parâmetros de qualidade acústica em nove bandas de oitava para o par fonte-receptor selecionado.

Selecionando-se a opção *Graph*, abre-se uma janela denominada *Graph of acoustic quality parameters*, agora, porém, apresentados em forma de gráfico, em função da banda de oitava. Para visualizar o gráfico de diferentes parâmetros é só marcar, no quadro à esquerda, qual parâmetro se deseja visualizar. Essa janela é mostrada na Fig. 18. Os valores global e por bandas de oitava entre 63 Hz e 16 kHz são indicados no gráfico, para cada parâmetro selecionado.

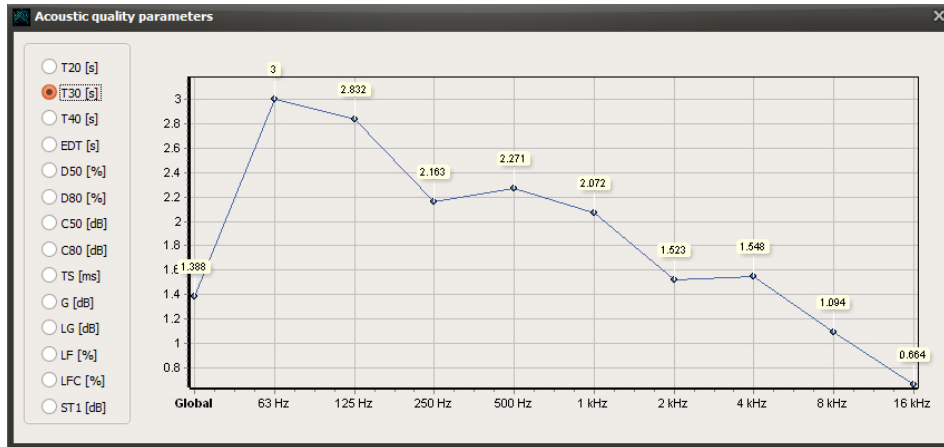


Figura 18: A janela *Graph of acoustic quality parameters* aberta, mostrando o gráfico de um dos parâmetros de qualidade acústica em função da frequência, em bandas de oitava para o par fonte-receptor selecionado.

1.5.6 O menu *Binaural*

O menu *Binaural* permite o acesso ao módulo de aurilização do programa **RAIOS 7**. São duas as opções disponíveis nesse menu: *Generating BRIRs* e *Auralization*. A Fig. 19 mostra a janela que se abre ao selecionar o menu *Binaural*.

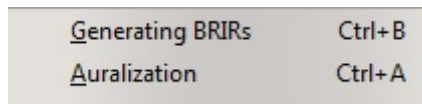


Figura 19: A janela aberta com o menu *Binaural*.

Quando se roda o programa **RAIOS 7** para um ou mais pares fonte-receptor, o simulador gera os arquivos *.ray correspondentes — que contêm o conjunto de raios sonoros que atingem o receptor, com informação de espectro, direção e tempo de chegada. Gera também os arquivos *.txt e/ou *.wav associados às respostas impulsivas da sala para os mesmos pares. Contudo, caso se deseje a obtenção das BRIRs para gerar aurilizações, é necessário rodar outro módulo do programa, que envolve as funções de transferência associadas à cabeça humana (HRTFs) e o modelo de redes neurais artificiais que as modelam.

Selecionando-se a opção *Generating BRIRs*, abre-se uma janela com o mesmo nome, apresentada na Fig. 20. Nessa janela, algumas informações devem ser fornecidas.

a) No quadro *Files* devem ser selecionados os arquivos *_specular.ray e *_diffuse.ray relativos ao par fonte-receptor desejado. Essa seleção é feita premindo-se os botões à direita dos campos respectivos. Um aviso na barra de status comunica que o arquivo está sendo carregado. O programa avisa quando o arquivo foi carregado com sucesso.

b) Nesse mesmo quadro, o campo *Load and view the rays*, quando selecionado (✓), habilita o botão *View* do quadro seguinte. Observe que o carregamento dos arquivos (principalmente o difuso) pode se tornar um pouco mais lento, caso o campo *Load and view the rays* seja selecionado. Observe, no canto inferior esquerdo da janela, a informação de que o arquivo está sendo carregado. Não carregue o segundo arquivo enquanto o primeiro não tiver sido carregado.

c) No quadro *Number of rays* são apresentados o número de raios acústicos que atingiram o receptor devido às reflexões especulares e difusas. Nesse mesmo quadro, selecionando-se *Specular* ou *Diffuse* (ou ambos) e premindo-se o botão *View*, abre-se uma nova janela, denominada *Direction of the incidente rays*, que mostra, por meio de uma nuvem de pontos, a

distribuição espacial das direções de chegada dos raios acústicos ao receptor (especular, difusa, ou híbrida).

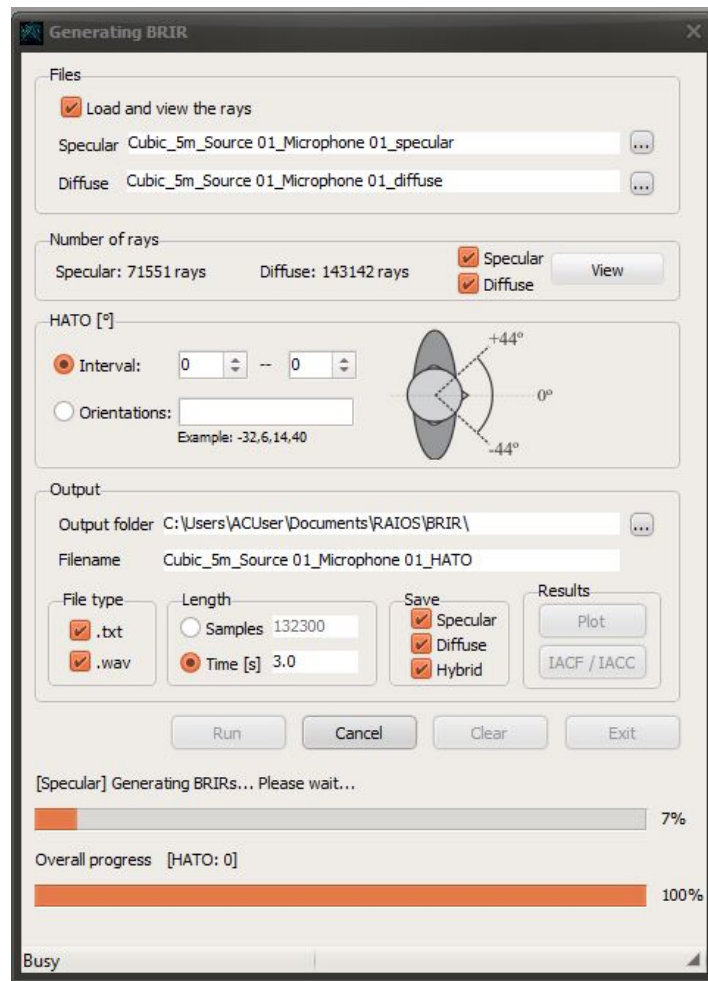


Figura 20: A janela *Generating BRIR* aberta, com suas diversas opções de entrada e saída.

d) A Fig. 21 ilustra a janela de pontos com a distribuição espacial, em azimute e elevação, das direções de chegada dos raios acústicos ao receptor. Pontos mais intensos indicam que um número maior de raios atinge o receptor de uma determinada direção (aproximada), em diferentes instantes.

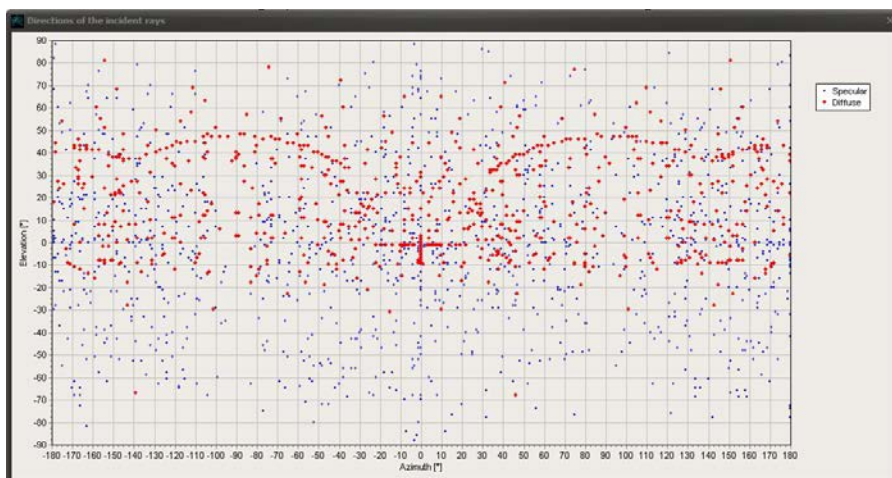


Figura 21: Janela com a distribuição espacial dos raios acústicos que atingem o receptor.

- e) No quadro *HATO* [$^{\circ}$], cujo significado é *Head Above TorsO* (indicando a rotação da cabeça, sem rotação correspondente do torso), há uma figura que indica a amplitude dessas rotações (entre -44° e $+44^{\circ}$, com avanço de 2° , num total de 45 posições angulares possíveis). O padrão é deixar esse quadro em branco, significando que serão tomadas as HRIRs/HRTFs para a cabeça em direção frontal (0°). Caso se deseje outra(s) opção(ões) há a alternativa de indicar um intervalo (na opção *Interval*) ou indicar a(s) direção(ões) desejada(s) (na opção *Orientations*), restritas estas aos valores inteiros pares ($-44, -42, \dots, 0, \dots, +42, +44$). Para cada uma das 45 orientações possíveis há um banco de redes neurais artificiais treinadas especificamente para modelar as HRTFs da orientação considerada.
- f) No quadro *Output* são selecionadas algumas opções de saída. No campo *Output folder* o programa apresenta o padrão de subpasta do programa **RAIOS 7** para gravar a BRIR. O usuário pode modificar a pasta de saída se assim o desejar. Na opção *Filename* o programa apresenta o padrão de nome de arquivo do programa **RAIOS 7**, que terá extensão *.txt ou *.wav (ou ambos) de acordo com a escolha feita no quadro *File type*. O (*), no padrão do programa **RAIOS 7**, compreende o nome do projeto (sala) o nome da fonte, o nome do receptor e a rotação da cabeça sobre o torso, na forma como se vê na Fig. 20. O usuário pode alterar o nome do arquivo de saída da maneira que desejar, após o cálculo da(s) BRIR(s).
- g) No quadro *File type*, é feita a escolha do tipo (extensão) de arquivo de saída, podendo ser do tipo *.txt, para visualização gráfica, do tipo *.wav, para ser escutado com fones de ouvido, ou ambos.
- h) No quadro *Lenght*, escolhe-se o tamanho, em segundos ou em número de amostras, do sinal da BRIR a ser gerado. O código **RAIOS 7** utiliza a taxa de amostragem padrão de áudio, de 44,1 kHz, de modo que as duas entradas desse quadro são interdependentes. (Escolhendo-se, por exemplo, um tempo de 1 s no campo *Time [s]*, o número de amostras no campo *Samples* será de 44100, e assim por diante.)
- i) No quadro *Save*, podem ser feitas as opções de quais arquivos a serem salvos, na subpasta 'Birs' dentre *Specular*, *Diffuse* e *Hybrid*, ou qualquer combinação desses.
- j) Ao premir o botão *Run* é dado início ao cálculo da(s) BRIR(s). O botão *Cancel* cancela a operação, o botão *Clear* limpa os dados de entrada e o botão *Exit* fecha a janela.
- k) A barra de progresso *Generating BRIR* indica o andamento do processo. Ao final do mesmo, o programa emite um sinal sonoro e o nome da barra muda para *Done*. A barra de progresso, *Overall process* tem interesse quando mais de uma direção (HATO) é selecionada, indicando o percentual de direções calculadas. Ao final do cálculo, aparece uma indicação do tempo computacional total para o cômputo da(s) BRIR(s).
- l) O quadro *Results* possui dois botões: *Plot* e *IACF/IACC*. Premindo-se o botão *Plot*, abre-se outra janela, denominada *BRIR plot*, onde, após selecionar a direção da cabeça no campo *HATO* [$^{\circ}$] se podem observar os dois canais (ouvido esquerdo e direito) da resposta impulsiva binauricular da sala para o par fonte-receptor selecionado. Dependendo das seleções prévias, pode-se observar o gráfico da BRIR especular, difusa ou híbrida, selecionando-se alternativamente na parte superior da janela. O botão *Listen*, quando premido, permite escutar a BRIR. Recomenda-se que isso seja feito utilizando fones de ouvido de boa qualidade e, se possível, equalizados. A Fig. 22 ilustra a janela *BRIR plot* com o gráfico da BRIR.

Selecionando-se, no menu *Binaural*, a opção *Auralization*, abre-se uma janela com o mesmo nome, mostrada na Fig. 23. Essa janela permite ao usuário gerar aurilizações como descrito a seguir.

- a) Na janela *Auralization* o primeiro quadro que se apresenta é o quadro *BRIR*, onde há um botão de nome *Load*. Premindo-se este botão, abre-se a subpasta 'BRIR' onde o arquivo da BRIR pode ser selecionado. Uma vez selecionado, é só apertar o botão *Open* na janela. No campo *Sample size* aparece indicado o número de amostras da BRIR para o par fonte-receptor escolhido e no campo *Filename* é indicado o arquivo da BRIR que foi aberto. Simultaneamente,

no quadro maior à direita, os gráficos (orelhas esquerda e direita) da BRIR são apresentados na aba BRIR.

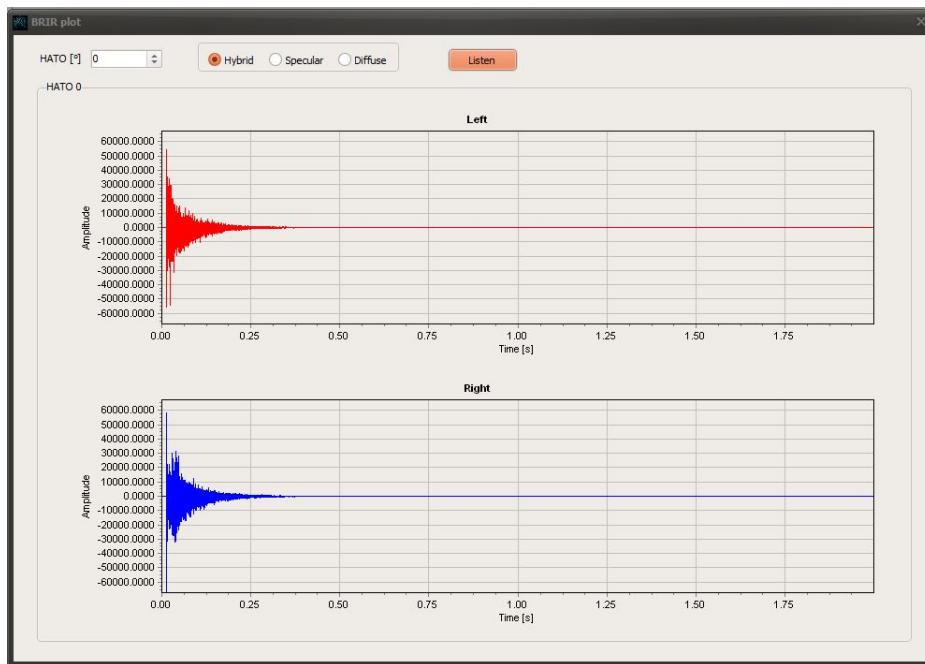


Figura 22: A janela *BRIR plot* aberta, mostrando o gráfico da BRIR difusa, em dois canais.

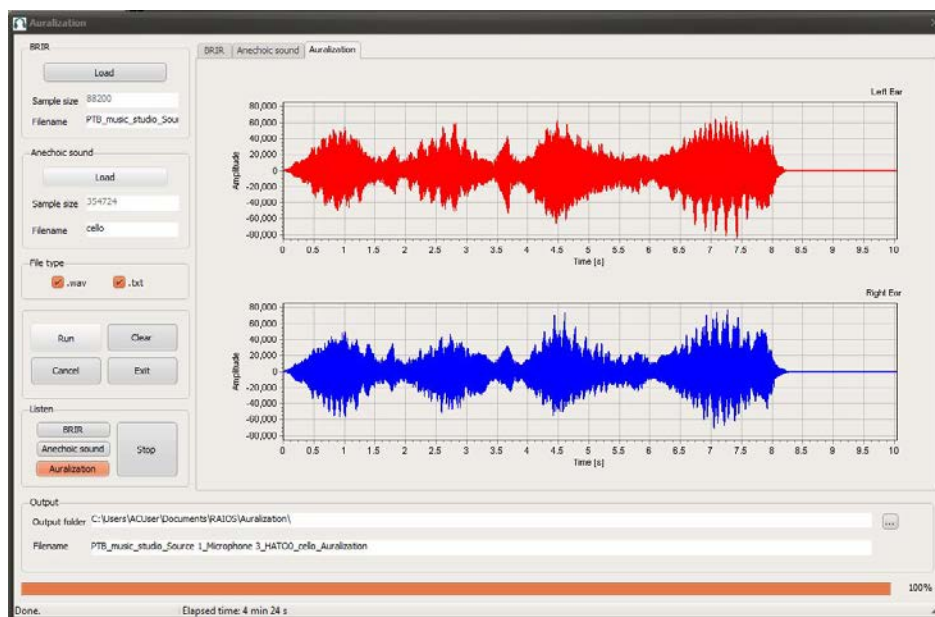


Figura 23: A janela *Auralization* aberta, com suas diversas opções, mostrando o gráfico do resultado.

b) No quadro *Anechoic sound* há também um botão *Load* que, quando pressionado, abre a subpasta 'Anechoic_Sound', onde um sinal anecoico em formato *.wav pode ser selecionado. Uma vez escolhido o sinal anecoico basta apertar o botão *Open* na subpasta para carregar o sinal. No campo *Sample size* aparece indicado o número de amostras do sinal anecoico escolhido. Simultaneamente, no quadro maior, o gráfico (mono) do sinal anecoico é apresentado, na aba *Anechoic sound*. O campo *Filename* preenche-se com o nome do arquivo escolhido.

c) No quadro *File type* escolhem-se os tipos de arquivos de saída da auralização, que podem ser nos formatos *.wav e/ou *.txt.

d) O quadro seguinte, sem nome, possui quatro botões operacionais: *Run*, *Clear*, *Cancel* e *Exit*. O botão *Run* dá início ao processo de convolução entre a BRIR e o sinal anecoico selecionados. O botão *Clear* limpa as seleções, de modo que outros sinais possam ser sejam escolhidos. O botão *Cancel* interrompe o procedimento de convolução e o botão *Exit* fecha a janela *Auralization*.

e) Premindo-se o botão *Run*, inicia-se o procedimento de convolução e seu andamento é indicado na parte inferior da janela por uma barra colorida, bem como por um contador percentual à direita dessa barra. Ao final do processo, o sinal aurilizado é apresentado na aba *Auralization*, o programa emite um sinal sonoro e uma pequena janela avisa que a aurilização foi concluída. Também é informado na barra de status da janela de aurilização o tempo gasto para executá-la.

f) No quadro *Output* é possível selecionar a subpasta de saída da aurilização, em *Output folder*, e o arquivo de saída, em *Filename*. Em ambos os casos o software exibe seus padrões de pastas e arquivos, já discutidos anteriormente, mas o usuário tem inteira liberdade de escolher de forma alternativa.

g) Finalmente, no quadro *Listen*, há três botões: *BRIR*, *Anechoic sound* e *Auralization* que permitem ao usuário ouvir a resposta impulsiva biauricular, o sinal anecoico e a aurilização, respectivamente. O botão *Stop* interrompe a audição. Esses três botões permitem avaliar os efeitos da acústica da sala, ouvindo-se alternativamente a BRIR, o sinal anecoico e a aurilização resultante.

É importante observar que quanto maior for o comprimento (número de amostras) do sinal anecoico escolhido, maior será o tempo necessário para rodar a aurilização.

1.5.7 O menu *Tools*

O menu *Tools* abre duas opções: *Signal editor* e *IACF/IACC*. A opção *Signal editor* visa lidar com gráficos, sejam de RIRs, BRIRs ou outras funções temporais, geradas ou não pelo código **RAIOS 7**. A janela aberta com o menu *Tools* é mostrada na Fig. 24.

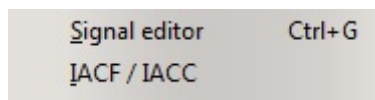


Figura 24: A janela aberta no menu *Tools* com suas opções.

Selecionando-se a opção *Signal editor*, abre-se a janela de mesmo nome, mostrada na Fig. 25. Como mencionado acima, essa janela destina-se à manipulação de sinais, sendo extremamente útil e com diversas funções. Há duas abas: *Mono* e *Stereo*. Na aba *Mono*, lidam-se com sinais monoauriculares, tais como respostas impulsivas monoauriculares (RIRs) e sinais anecoicos; na aba *Stereo*, lidam-se com sinais em dois canais, como respostas impulsivas biauriculares (BRIRs) e sinais resultantes de aurilização. No campo retangular da esquerda carregam-se arquivos de sinais, como vistos na Fig. 25. O botão *Load* carrega um sinal; o botão *Remove* remove o sinal; o botão *Clear* limpa todos os sinais já carregados e o botão *Plot* remete o gráfico do sinal selecionado para o quadro maior, de plotagem, à direita da janela.

Observe que na Fig. 25 o sinal carregado é uma BRIR com HATO44, ou seja, com rotação da cabeça sobre o torso, para a esquerda, de 44°. Por essa razão, o sinal da orelha direita tem um pouco mais energia do que o da esquerda. Carregado o sinal, ele pode ser escutado, premindo-se o botão *Listen*. O botão *Stop* interrompe a audição e o campo *Normalize* normaliza a amplitude do sinal, no intervalo $[-1,1]$, sem alterar, contudo, a audição.

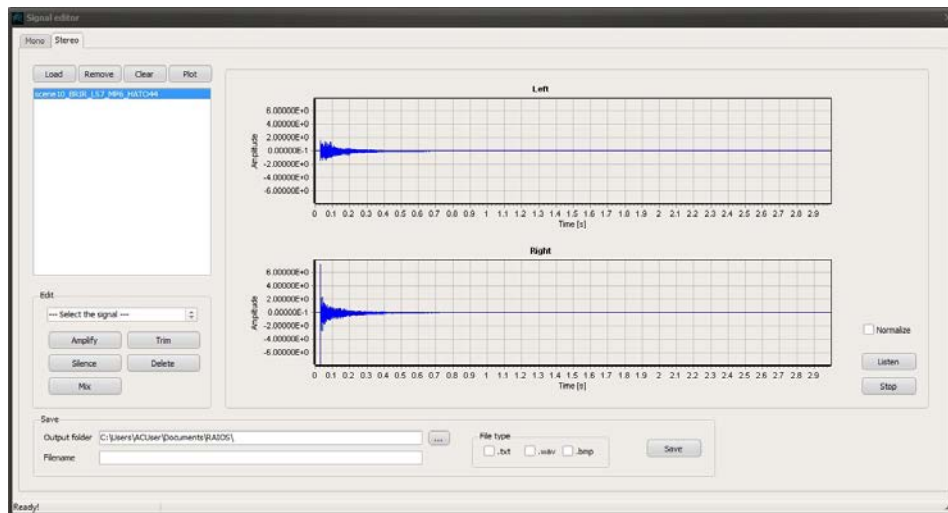


Figura 25: A janela aberta com a opção *Signal editor*.

No quadro *Edit*, diversas manipulações podem ser feitas com os sinais. Primeiramente, é preciso selecionar o sinal dentre aqueles abertos no campo retangular descrito acima. Em seguida, as seguintes operações são possíveis com a ajuda dos botões do quadro *Edit*.

a) O botão *Amplify* abre a janela com o mesmo nome onde pode ser especificada a amplificação (ou atenuação), em escala linear ou em dB. Caso o sinal selecionado seja estéreo, no quadro *Ear*, pode ser escolhido se a operação será aplicada ao canal esquerdo, direito ou ambos. O botão *Apply* executa a amplificação estabelecida no campo correspondente; o botão *Cancel* cancela a operação; o botão *OK* executa e fecha a janela. A Fig. 26 ilustra a janela *Amplify*.

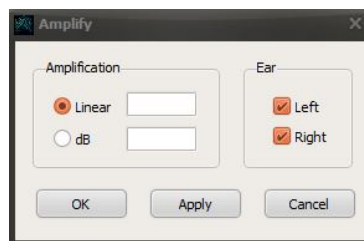


Figura 26: Janela *Amplify* aberta, com suas opções.

b) O botão *Trim* abre a janela com o mesmo nome onde podem ser especificados os trechos a serem cortados do sinal. No campo *Start* indica-se o instante inicial, em segundos, a ser considerado; no campo *End* indica-se o instante final, em segundos, a ser considerado. Lembre-se de utilizar o ponto decimal no lugar da vírgula. O botão *Apply* executa o corte (à esquerda e à direita) do sinal, estabelecidos nos campos correspondentes. A operação aplicar-se-á a ambos os canais, caso o sinal trabalhado seja estéreo. O botão *Cancel* cancela a operação e o botão *OK* executa e fecha a janela. A Fig. 27 ilustra a janela *Trim*.

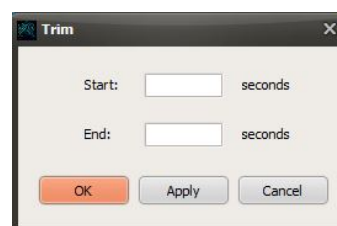


Figura 27: Janela *Trim* aberta, com suas opções.

c) O botão *Silence* abre a janela com o mesmo nome onde pode ser especificado um trecho interior do sinal a ser inserido um silêncio. No campo *Start* indica-se o instante inicial, em segundos, a ser considerado; no campo *Duration* indica-se a duração do silêncio a ser inserido, também em segundos. O botão *Apply* executa a inserção de silêncio; o botão *Cancel* cancela a operação; e o botão *OK* executa e fecha a janela. A operação aplicar-se-á a ambos os canais, caso o sinal trabalhado seja estéreo. A Fig. 28 ilustra a janela *Silence*.

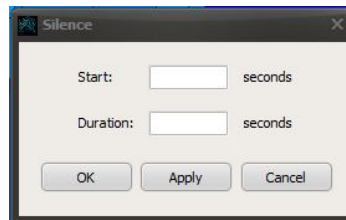


Figura 28: Janela *Silence* aberta, com suas opções.

d) O botão *Delete* retira o trecho do sinal especificado nos dois campos: *Start* e *End*, unindo o restante do sinal. O botão *Apply* executa a operação, o botão *Cancel* cancela a operação e o botão *OK* executa e fecha a janela. A operação aplicar-se-á a ambos os canais, caso o sinal trabalhado seja estéreo. A Fig. 29 ilustra a janela *Delete*.

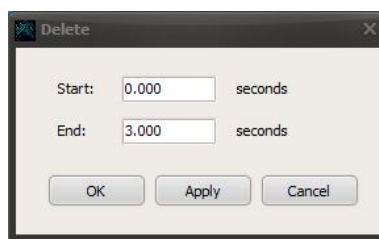


Figura 29: Janela *Delete* aberta, com suas opções.

e) O botão *Mix* executa a mixagem de dois ou mais sinais carregados no quadro de plotagem. Em outras palavras, os sinais são adicionados. Esse recurso é útil, por exemplo, quando duas ou mais fontes sonoras foram rodadas para um mesmo receptor binauricular e deseja-se escutar o efeito simultâneo das auralizações com duas ou mais fontes sonoras em um mesmo receptor. Para executar a mixagem, dois ou mais sinais devem ser selecionados no campo retangular superior esquerdo e premeida a tecla *Plot*. Os sinais plotados aparecem em duas ou mais cores na janela de plotagem. Apertada, então, a tecla *Mix*, os dois ou mais sinais são mixados. O resultado de qualquer uma das operações efetuadas na janela *Signal editor* pode ser escutado premindo-se o botão *Listen*. O botão *Stop* interrompe a audição. No quadro *Save* são feitas as opções para salvar a(s) operação(ões) efetuada(s) na janela *Signal editor*. Nos campos *Output folder* e *Filename* são selecionados a subpasta onde será gravado o sinal gerado e o seu nome. O diretório pode ser escolhido por meio do botão à direita do campo *Output folder*. No campo *File type* pode ser feita a seleção do formato de arquivo a ser salvo, podendo este ser *.txt (para gráficos), *.wav (para escutar) e *.bmp (para figura, somente). Finalmente, o botão *Save* executa o salvamento.

Selecionando-se a opção *IACF/IACC* abre-se a janela com o mesmo nome que permite a apresentação de propriedades relativas à família da correlação cruzada interauricular da BRIR para um par fonte-receptor. A Fig. 30 ilustra a janela *IACF/IACC* aberta.

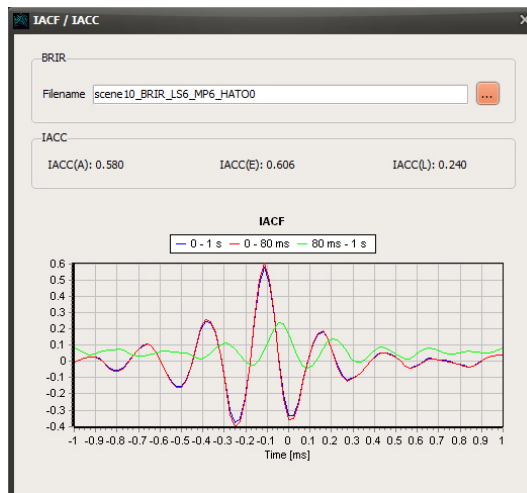


Figura 30: Janela *IACF/IACC* aberta, com uma BRIR carregada.

Primeiramente, no quadro *BRIR* deve ser selecionada uma resposta impulsiva biauricular de sala, para um determinado par fonte-receptor. Isso é feito premendo-se o botão à direita do campo *Filename*, que abre a pasta das BRIRs. Escolhido um arquivo, o botão *Open* o exporta para a janela *IACF/IACC*. No quadro *IACC* aparecem, então, os valores calculados dos coeficientes IACC(A), o (A) referindo-se a *All*, IACC(E), o (E) referindo-se a *Early* e IACC(L), o (L) referindo-se a *Late*.⁸⁵ Na parte inferior da janela *IACF/IACC* são mostrados os gráficos temporais das funções de correlação cruzada interauricular, no intervalo $[-1,1]$, em segundos, em azul para o IACF(A), em vermelho para o IACF(E) e em verde para o IACF(L).

1.5.8 O menu *Help*

Selecionando o menu *Help*, abre-se uma janela com as opções *Help* e *About*. Na opção *Help* o usuário terá acesso a este manual, em formato *.chm. A opção *About* fornece informação sobre a versão do código computacional e, eventualmente, a sua licença do programa **RAIOS 7**. A Fig. 31 mostra a janela aberta com o menu *Help*. A Fig. 32 mostra a pequena janela que se abre com a opção *About*.

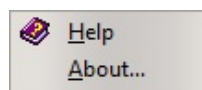


Figura 31: A janela aberta no menu *Help*, indicando as opções oferecidas.



Figura 32: A janela aberta com a opção *About*, indicando a versão do programa.

2 AS JANELAS PRINCIPAIS DO CÓDIGO **RAIOS 7**

O código computacional **RAIOS 7** apresenta dois módulos principais de tela ou vistas ou, simplesmente, janelas, como indicado na Fig. 33, na sua abertura padrão. Outras janelas podem ser abertas dentro do programa, como visto na Seção 1.

2.1 A Janela *Edit and View*

A janela maior, denominada *Edit and View*, constitui o módulo de edição e visualização da sala, consistindo a principal interface gráfica do programa. Nessa janela, é feita a edição de uma sala, sua verificação ou importação de salas e outras aplicações visuais, como a identificação, pela cor, de materiais de acabamento, e o posicionamento e orientação de fontes sonoras e receptores. Nessa janela se pode também observar os eixos cartesianos que definem o sistema de coordenadas geral da sala. O eixo vermelho indica a direção da coordenada x ; o eixo verde indica a direção da coordenada y e o eixo azul indica a direção da coordenada z . A Fig. 33 ilustra a aparência geral da tela do código computacional **RAIOS 7** na sua forma padrão e a Fig. 34 mostra a mesma tela com uma sala já aberta.

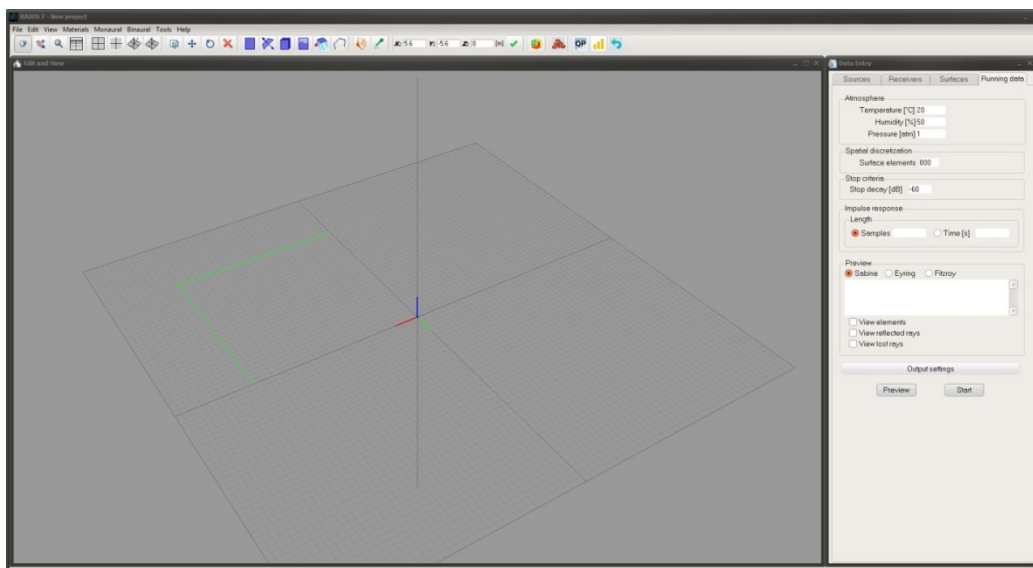


Figura 33: Visão geral da aparência do programa **RAIOS 7**, mostrando os principais módulos de tela: a janela *Edit and View*, com o grid para edição de salas, a janela *Data Entry*, com as suas quatro abas a barra de ferramentas e a barra de menus .

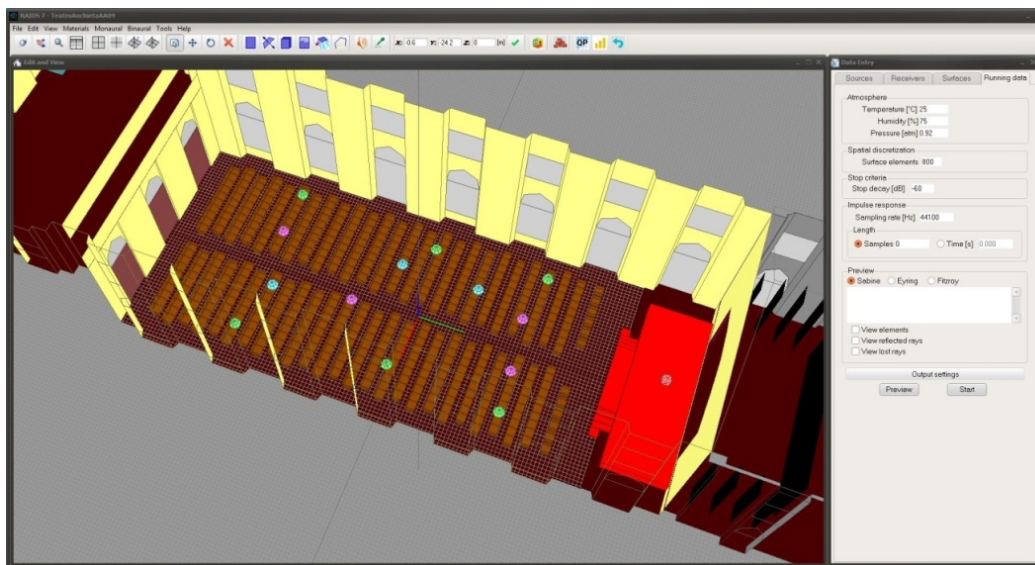


Figura 34: O programa **RAIOS 7** com um projeto aberto na janela *Edit and View*, exibindo também fontes sonoras e receptores distribuídos na sala.

2.2 A Janela *Data Entry*

A janela da direita, denominada *Data Entry*, destina-se, como sugere o nome, à entrada de dados para rodar a simulação acústica da sala. Possui quatro abas: *Sources*; *Receivers*; *Surfaces*; e *Running data*. Elas serão detalhadas na Seção 5. Na Fig. 35, por exemplo, a aba *Running data* está ativa, registrando informações relativas aos dados de entrada para rodar o programa.

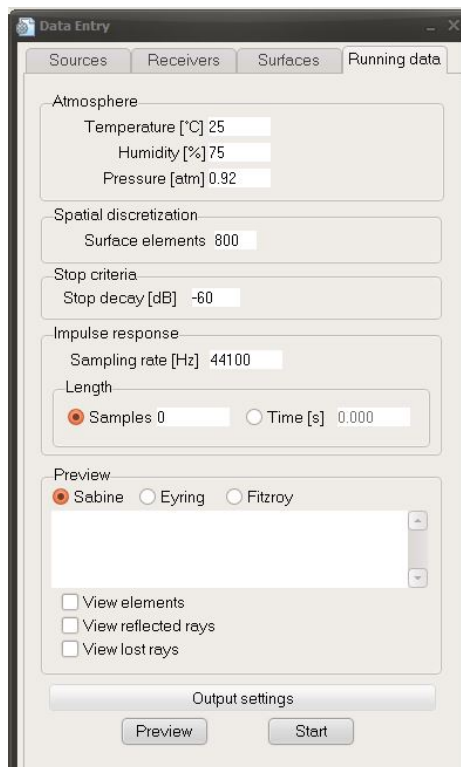


Figura 35: A Janela *Data Entry* com a aba *Running data* aberta.

Cada uma das janelas descritas acima pode ser minimizada ou maximizada no modo convencional da plataforma Windows, permitindo, neste último caso, uma visualização ampliada e detalhada de seu conteúdo. Além das janelas citadas anteriormente, há uma barra de ferramentas, indicadas por meio de ícones, cujas funções são apresentadas na Seção 3, e uma barra de menus, já descrita na Seção 1.5.

3 A BARRA DE FERRAMENTAS

Imediatamente abaixo da Barra de Menus, há uma Barra de Ferramentas. Cada uma das ferramentas é identificada por meio de um ícone e exercendo uma função específica descrita a seguir, seguindo a ordenação da esquerda para a direita. As ferramentas estão organizadas segundo seis grupos, reunidos na barra de ferramentas por meio de separadores verticais. Todas as ferramentas são selecionadas pressionando-se o botão esquerdo do mouse enquanto o apontador do mesmo está sobre o ícone da ferramenta. A Fig. 36 ilustra a barra de ferramentas do programa **RAIOS 7**, com os respectivos ícones.

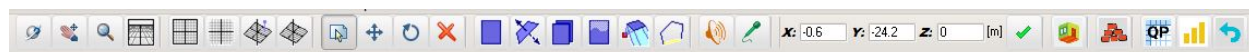


Figura 36: A barra de ferramentas do programa **RAIOS 7**.

3.1 Ferramentas de Visualização

O primeiro grupo, da esquerda para a direita, consiste de quatro ferramentas de visualização da sala: *Orbit*, *Translate*, *Zoom* e *Perspective*. Os nomes das ferramentas aparecem quando coloca-se o apontador do mouse sobre o ícone correspondente.

Para qualquer dos comandos descritos a seguir, há uma tecla de atalho, Esc, que recupera a visualização original da sala. A rapidez da dinâmica de visualização pode também ser alterada, para qualquer uma das ferramentas desse conjunto, utilizando teclas de atalho, entre *normal*, movendo-se simplesmente o mouse, *moderada*, premindo-se simultaneamente a tecla Ctrl, e *rápida*, premindo-se simultaneamente a tecla Shift. Alternativamente, o usuário pode, ainda, obter os mesmos movimentos da sala, com alterações discretas, na janela de edição e visualização através das teclas de atalho direcionais ($\leftarrow\uparrow\downarrow\rightarrow$), ao invés de utilizar o movimento do mouse. Nesse caso, também valem as teclas de atalho Ctrl e Shift para modificar a velocidade, tal como descrito acima. A Fig. 37 ilustra o primeiro grupo de ferramentas.



Figura 37: Ferramentas de visualização, compondo o primeiro grupo de ferramentas. Da esquerda para a direita: *Orbit*, *Translate*, *Zoom* e *Perspective*.

3.1.1 *Orbit*

Quando selecionada essa ferramenta, ao premir o botão esquerdo do mouse com seu apontador na janela de edição e visualização (com uma sala aberta) obtém-se a rotação dinâmica da sala, ou seja, pode-se orbitar dinamicamente a sala em qualquer orientação desejada em torno da origem do sistema de coordenadas.

3.1.2 *Translate*

Quando selecionada essa ferramenta, ao premir o botão esquerdo do mouse com seu apontador na janela de edição e visualização (com uma sala aberta) obtém-se a translação dinâmica da sala, ou seja, pode-se deslocar dinamicamente a sala horizontal ou verticalmente.

3.1.3 *Zoom*

Quando selecionada essa ferramenta, ao premir o botão esquerdo do mouse com seu apontador na janela de edição e visualização (com uma sala aberta) obtém-se o zoom dinâmico da sala, ou seja, pode-se afastar ou aproximar dinamicamente a sala. Com esse comando, o usuário pode, por exemplo, entrar ou sair virtualmente na sala.

3.1.4 *Perspective*

Quando selecionada essa ferramenta, ao clicar o botão esquerdo do mouse com seu apontador na janela de edição e visualização (com uma sala aberta) obtém-se a modificação dinâmica da perspectiva de visualização da sala. Movendo-se a sala com o auxílio das ferramentas desse primeiro grupo, o usuário pode observá-la de fora ou de dentro de todos os ângulos, distâncias, posições e perspectivas que desejar.

3.2 Ferramentas de Modificação do Plano de Base

O plano de base é o retângulo claramente distinguível na janela de edição e visualização quando um novo projeto é aberto. Esse plano contém os eixos cartesianos x e y , com origem no centro do retângulo e o eixo z ortogonal ao plano. O retângulo contém uma malha (*Grid*) que o divide em pequenos elementos também retangulares. Ao mover o mouse sobre a malha,

o ponteiro é deslocado discretamente, ou seja, somente os nós da malha são considerados como coordenadas válidas. A Fig. 38 ilustra o plano de base, tal como ele é apresentado no código **RAIOS 7**, na ausência de uma sala.

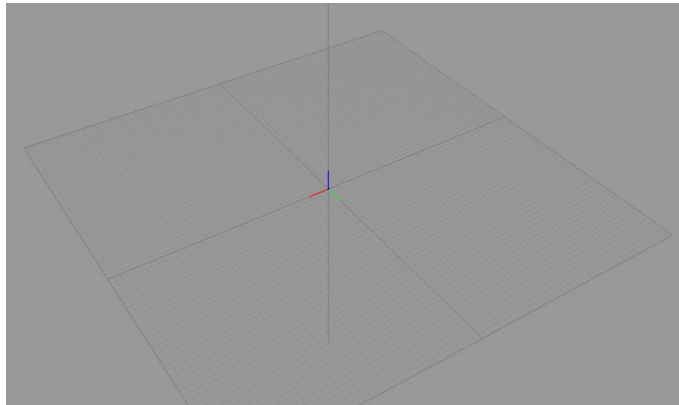


Figura 38: Plano de base e com os eixos cartesianos correspondentes, x (vermelho), y (verde) e z (azul), este último ortogonal ao plano.

As ferramentas desse grupo são: *Size*, *Spacement*, *Move viewer center* e *Hide grid*. A Fig. 39 mostra o grupo de ferramentas de modificação do plano de base.

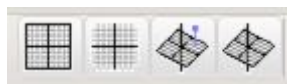


Figura 39: Ferramentas do segundo grupo, de modificação do plano de base. Da esquerda para a direita: *Size*, *Spacing*, *Move viewer center* e *Hide grid*.

A rapidez da dinâmica de visualização pode também ser alterada, para qualquer uma das quatro ferramentas desse conjunto, utilizando teclas de atalho, entre *normal*, movendo-se simplesmente o mouse, *moderada*, premindo simultaneamente a tecla Ctr|, e *rápida*, premindo simultaneamente a tecla Shift. Alternativamente, o usuário pode, ainda, obter os mesmos movimentos com alterações discretas, na janela de edição e visualização através das teclas de atalho direcionais ($\leftarrow\uparrow\downarrow\rightarrow$), ao invés de utilizar o movimento do mouse. Nesse caso, também valem as teclas de atalho Ctr| e Shift para modificar a velocidade, como descrito acima. Para os comandos *Size*, *Spacing* e *Move viewer center*, há uma tecla de atalho, Esc, que recupera a visualização original do plano de base.

3.2.1 *Size*

Quando selecionado esse comando, ao premir o botão esquerdo do mouse com seu apontador na janela de edição e visualização, obtém-se a alteração dinâmica do tamanho (escala) com que o plano de base é visualizado. O efeito é similar ao do comando *Zoom*, mas aplicado exclusivamente ao plano de base.

3.2.2 *Spacement*

Quando selecionado esse comando, ao premir com o botão esquerdo do mouse com seu apontador na janela de edição e visualização obtém-se a alteração dinâmica do espaçamento da malha do plano de base.

3.2.3 *Move viewer center*

No padrão do código computacional **RAIOS7**, o centro do plano de base (origem) ocupa a posição central da janela de edição e visualização, sendo, portanto, o alvo de visão do usuário. Quando selecionada essa ferramenta, ao premir o botão esquerdo do mouse com seu

apontador na janela de edição e visualização obtém-se a alteração da posição da origem do sistema de coordenadas. Ao premir o botão esquerdo do mouse, um ponto no plano é escolhido; mantendo-se o botão esquerdo do mouse apertado e movendo-o na direção vertical (eixo z), a terceira coordenada pode ser alterada. Ao soltar-se o botão esquerdo do mouse, o ponto selecionado passa a ser o centro da janela de edição e visualização.

3.2.4 *Hide grid*

Quando selecionada essa ferramenta, ou seja, selecionando-se a opção *Hide grid*, a malha que representa o plano de base é ocultada. Selecionando-se uma segunda vez, a malha é reapresentada na janela de edição e visualização.

3.3 Ferramentas de Modificação dos Elementos da Sala

Esse grupo de ferramentas aplica-se aos elementos da sala (planos, fontes sonoras ou receptores), visíveis na janela de edição e visualização. São ferramentas necessárias ao processo de edição ou modificação da sala. Há, também, quatro ferramentas nesse grupo: *Select*, *Move*, *Rotate* e *Delete*. A Fig. 40 ilustra o grupo de ferramentas de modificação dos elementos da sala.



Figura 40: Ferramentas do terceiro grupo, de modificação dos elementos da sala. Da esquerda para a direita: *Select*, *Move*, *Rotate* e *Delete*.

3.3.1 *Select*

Quando selecionada essa ferramenta, premindo-se o botão esquerdo do mouse com o apontador do mesmo sobre um elemento da sala ativa o elemento. Essa ativação significa que as demais ferramentas do grupo serão aplicadas ao elemento ativado. Além do realce visual que o elemento ganha na janela de edição e visualização, indicando que aquele elemento está ativado, a ferramenta *Select* produz outro efeito, este na janela *Data Entry* (ver Seção 5): as informações relativas ao elemento ativado aparecem na janela de entrada de dados, na aba correspondente (*Surfaces*, *Sources* ou *Receivers*).

Para ativar um segundo elemento, basta manter apertada a tecla de atalho Shift, enquanto a operação é repetida com o apontador do mouse sobre o novo elemento. Nesse caso, as informações relativas ao último elemento ativado serão as apresentadas na janela de entrada de dados.

Para desativar um elemento, basta repetir a operação com o botão direito do mouse. Para desativar todos os elementos previamente ativados, pode ser utilizada a tecla de atalho Esc.

3.3.2 *Move*

Uma vez selecionados um ou mais elementos da sala, essa ferramenta possibilita movê-lo(s), transladando o(s) elemento(s) segundo o módulo, direção e sentido de um dado vetor. Primeiramente, aperta-se o botão esquerdo do mouse sobre a ferramenta. Em seguida, escolhe-se um ponto arbitrário na janela de edição e visualização da sala, pressionando o botão esquerdo do mouse. Por fim, escolhe-se um segundo ponto, também arbitrário, e também pressionando o botão esquerdo do mouse. Alternativamente esses dois pontos podem ser selecionados diretamente nas coordenadas cartesianas, digitando-se os valores e premindo o botão *OK*, ver Seção 3.6. O primeiro ponto será a origem do vetor deslocamento e o segundo ponto a outra extremidade do mesmo. O elemento se deslocará, paralelamente a si mesmo (ou seja, sem rotação), com módulo, direção e sentido do vetor descrito acima.

3.3.3 Rotate

Uma vez selecionados um ou mais elementos da sala, essa ferramenta possibilita movê-lo(s), rodando o(s) elemento(s) em torno de um eixo escolhido e de um ângulo também escolhido pelo usuário. Primeiramente, aperta-se o botão esquerdo do mouse sobre a ferramenta. Em seguida, escolhe-se um ponto arbitrário na janela de edição e visualização da sala, pressionando o botão esquerdo do mouse. Por fim, escolhe-se um segundo ponto, também pressionando o botão esquerdo do mouse. Alternativamente esses dois pontos podem ser selecionados diretamente nas coordenadas cartesianas, digitando-se os valores e premindo o botão *OK*, ver Seção 3.6. Esses dois pontos definem o eixo em torno do qual o(s) elemento(s) rodará(ão). Em seguida, uma janela se apresenta ao usuário, pedindo o ângulo de rotação a ser dado, em graus. O sentido positivo é o trigonométrico. Ao pressionar o botão *OK*, a operação é finalizada.

3.3.4 Delete

Uma vez selecionados um ou mais elementos da sala, essa ferramenta possibilita apagá-lo(s), ou seja, suprimir o(s) elemento(s) da sala. Para fazê-lo, escolha o(s) elemento(s) que deseja suprimir, utilizando a ferramenta *Select*, e, em seguida, acione a ferramenta *Delete*. Uma janela se abrirá solicitando a confirmação da operação. Uma vez suprimido, o elemento não pode ser recuperado.

3.4 Ferramentas de Edição de Superfícies

Nesse quarto grupo há seis ferramentas: *Plane*, *Invert normal*, *Copy*, *Double-sided*, *First reflection* e *Close polygon*. As ferramentas desse grupo são auxiliares para a edição de superfícies planas. A Fig. 41 ilustra o grupo com as ferramentas de edição de superfícies.



Figura 41: Ferramentas do quarto grupo, de modificação dos elementos de superfície. Da esquerda para a direita: *Plane*, *Invert normal*, *Copy*, *Double-sided*, *First reflection* e *Close polygon*.

3.4.1 Plane

Ao ser selecionada essa ferramenta, o usuário fica habilitado a introduzir um novo plano na sala. Todo plano é introduzido como um polígono, a partir de seus vértices, podendo possuir entre três e duzentos vértices. Havendo a necessidade de mais de duzentos vértices o polígono deverá ser subdividido em partes, mas isso é bem raro.

O primeiro vértice do polígono é selecionado pressionando-se o botão esquerdo do mouse com o apontador sobre um ponto escolhido. As coordenadas cartesianas do ponto, x , y , z , são indicadas no sexto grupo da barra de ferramentas, para simples conferência. Movendo-se o apontador do mouse para outro ponto e premindo-se o botão esquerdo, outro vértice é selecionado, tendo suas coordenadas cartesianas indicadas, como anteriormente.

Se o usuário premir o botão esquerdo do mouse no mesmo ponto que o imediatamente anterior, uma mensagem de advertência (*Warning*) aparece, com os dizeres: *Point is identical to its antecessor*. Se o usuário premir o botão esquerdo do mouse em um ponto que não pertence ao plano formado pelos vértices anteriores, outra mensagem advertência aparece, com os dizeres: *Point outside of plane*. Como os elementos de superfície devem ser sempre polígonos planos, o programa não permite que se introduzam pontos que não estejam em um mesmo plano. É mais seguro construir o plano utilizando as coordenadas cartesianas, vértice a vértice. Uma planilha pode ajudar. O procedimento é repetido vértice a vértice. Para completar

o plano, o usuário deve retornar ao ponto inicial, fechando o polígono. Feito isso, aparece um vetor normal ao plano, cujo sentido deverá ser escolhido pelo usuário, movendo o apontador do mouse para cima ou para baixo. Esta última etapa não deve ser negligenciada: todo plano admite duas normais opostas. (A normal correta deverá ser sempre aquela apontada para o interior da sala). Para finalizar, o usuário deve premir mais uma vez o botão esquerdo do mouse.

3.4.2 *Invert normal*

Essa ferramenta presta-se exclusivamente para inverter o sentido do vetor normal a um dado plano. A orientação do vetor normal é fundamental na simulação, porque um plano só existe para o simulador se seu vetor normal apontar para dentro da sala (caso contrário, é como se o plano não existisse para o simulador). Para inverter a normal de um plano, selecione primeiramente o plano com a ferramenta *Select* (veja Seção 3.3.1) e, em seguida, aperte o botão esquerdo do mouse com o apontador sobre o ícone da ferramenta *Invert normal*. O vetor normal terá seu sentido invertido.

3.4.3 *Copy*

Essa ferramenta permite a cópia de um elemento da sala, sendo sua operação similar à da ferramenta *Move* (ver Seção 3.3.2). Para fazer uma cópia de um elemento da sala — seja este um plano, uma fonte sonora ou um receptor — o usuário deve, primeiramente, selecionar o elemento a ser copiado, veja Seção 3.3.1. Em seguida, deve selecionar a ferramenta *Copy*, escolher um ponto arbitrário na janela de edição e visualização e, finalmente, mover o ponteiro do mouse para outro ponto desejado, desenhando um vetor na referida janela. Ao premir o botão esquerdo do mouse nesse segundo ponto, o elemento selecionado será copiado paralelamente a si mesmo, com o deslocamento dado, em módulo, direção e sentido, pelo referido vetor. Se o usuário selecionar o mesmo ponto que o imediatamente anterior, uma mensagem de advertência (*Warning*) aparece, com os dizeres: *Point is identical to its antecessor*.

3.4.4 *Double-sided*

Uma vez selecionado um plano da sala, essa ferramenta permite fazê-lo válido de ambos os lados, ou seja, com a normal em ambos os sentidos. Essa ferramenta é útil, por exemplo, quando se deseja introduzir uma divisória ou barreira no interior da sala, sem ser necessário considerar sua espessura, por ser, por exemplo, irrelevante. Observe que, na visualização das salas, a parede externa em primeiro plano é sempre apresentada como transparente, de modo a que se possam observar sem dificuldade os elementos em seu interior. Contudo, se essa mesma parede for transformada pelo comando *Double sided* ela passará a se apresentar como opaca.

3.4.5 *First reflection*

Essa é, essencialmente, uma ferramenta de auxílio à visualização das primeiras reflexões. Para utilizá-la, é necessário, primeiramente, selecionar uma fonte sonora e um plano. Selecionada, então, a ferramenta *First reflection*, visualiza-se na janela de edição e visualização da sala o ângulo sólido com que a fonte enxerga a superfície, indicando a pirâmide com vértice no centro da fonte sonora e base no polígono da superfície, e a primeira reflexão que o plano fornece. Caso a fonte sonora e/ou a superfície não tenha sido selecionada previamente o programa emite a advertência: *Select one source and at least one plane*.

Além de mostrar o ângulo sólido descrito acima, a primeira reflexão é também apresentada, auxiliando na visualização das contribuições do contorno da sala à cobertura sonora em seu interior. Essa também é uma ferramenta bastante útil para ilustrar determinadas soluções para clientes. A Fig. 42 ilustra o efeito da ferramenta *First reflection* aplicada. Observe que uma

fonte sonora e uma superfície (em destaque, com contorno em amarelo) foram previamente ativadas. Premindo-se novamente a ferramenta, a primeira reflexão é desfeita.

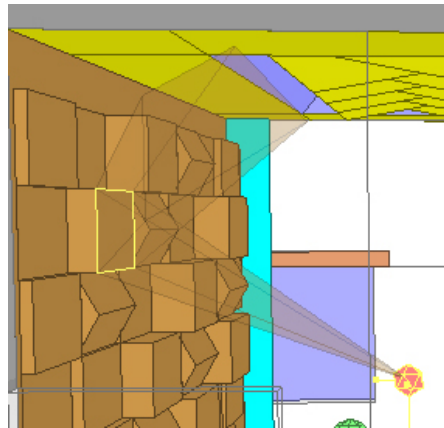


Figura 42: Exemplo de utilização da ferramenta *First reflection*.

3.4.6 *Close polygon*

O sexto elemento desse grupo é a ferramenta *Close polygon* que se presta para fechar o polígono de um plano retornando ao ponto de partida do mesmo, ou seja, o seu primeiro vértice. Após construir, vértice a vértice, um determinado polígono que irá se constituir em um elemento de contorno da sala, ao selecionar *Close polygon* um segmento de reta une o último vértice ao primeiro, fechando, assim, o polígono.

Sugere-se ao iniciante no uso do código computacional **RAIOS 7** treinar um pouco a utilização das ferramentas de edição de superfícies de modo a dominar a edição de salas simples dentro do código. Contudo, para simular salas com geometria complexa, deve-se, sempre que possível, importar arquivos 3D na extensão *.dxf, criados por programas de CAD. Isso porque, a despeito das ferramentas de edição descritas na Seção 3.4, o código computacional **RAIOS 7** é um programa para simulação acústica de salas e não tem a pretensão de competir com programas de desenho arquitetônico que, naturalmente possuem muito mais recursos gráficos. Contudo, mesmo nesses casos, modificações que se façam em uma dada sala (como, por exemplo, a introdução de uma concha acústica) podem ser feitas via as ferramentas descritas nesta seção.

3.5 Ferramentas de Edição de Fontes Sonoras e Receptores

Esse pequeno grupo contém apenas duas ferramentas: *Source* e *Receiver*. A Fig. 43 mostra o grupo com as duas ferramentas de edição de fontes sonoras e receptores.



Figura 43: O grupo com as duas ferramentas de edição de fontes sonoras e receptores. Da esquerda para a direita: *Source* e *Receiver*.

3.5.1 *Source*

Ao premir o botão esquerdo do mouse com o ponteiro sobre essa ferramenta, o usuário habilita-se a criar novas fontes sonoras. As fontes sonoras são representadas na janela de edição e visualização do programa por meio de icosaedros regulares.

Uma vez selecionada a ferramenta, basta escolher sua posição. A melhor maneira de fazer isso é digitando suas coordenadas cartesianas diretamente na barra de ferramentas, ver Seção 3.6. Em seguida, para escolher a orientação principal da fonte basta marcar a fonte e deslocar o mouse na direção desejada, premindo-se, então, novamente o botão esquerdo do mouse. Se o usuário selecionar o mesmo ponto que o imediatamente anterior, uma mensagem de advertência (*Warning*) aparece, com os dizeres: *Point is identical to its antecessor*. Observe que a orientação principal também pode ser definida na janela *Data Entry*, aba *Sources*, ver Seção 5.1.

3.5.2 Receiver

Ao premir o botão esquerdo do mouse com o ponteiro sobre essa ferramenta, o usuário habilita-se a criar novos receptores. Os receptores são representados na janela de edição e visualização por meio de poliedros com 32 faces. Do ponto de vista do código computacional, um receptor tanto pode representar um microfone como uma cabeça. O código computacional **RAIOS 7**, ao rodar, sempre calculará as RIRs para as posições selecionadas fonte-receptor, salvo se no campo *Save* da janela *Output settings* o campo *RIRs* for desmarcado, ver Seção 5.4.6. Desejando-se as BRIRs para os mesmos pares, um segundo módulo do programa deve ser rodado, ver Seção 1.5.6.

O procedimento para criação de um receptor é idêntico ao procedimento para criar uma fonte sonora, veja Seção 3.5.1. Uma vez selecionada a ferramenta, basta escolher sua posição. A melhor maneira de fazer isso é digitando suas coordenadas cartesianas diretamente na barra de ferramentas, ver Seção 3.6. Em seguida, para escolher a orientação principal do receptor basta marcar o receptor e deslocar o mouse na direção desejada, premindo-se, então, novamente o botão esquerdo do mouse. Se o usuário selecionar o mesmo ponto que o imediatamente anterior, uma mensagem de advertência (*Warning*) aparece, com os dizeres: *Point is identical to its antecessor*. Observe que a orientação principal também pode ser definida na janela *Data Entry*, aba *Receivers*, ver Seção 5.2.

3.6 Coordenadas Cartesianas

No sexto grupo de ferramentas, têm-se as coordenadas cartesianas, sempre medidas em relação à origem dos eixos coordenados gerais. As três coordenadas estão em metros. São auxiliares às ferramentas anteriores. Esse grupo é ilustrado na Fig. 44.



Figura 44: Coordenadas cartesianas.

O primeiro elemento constitui-se das coordenadas cartesianas x y z . São utilizadas tanto para situar os vértices dos polígonos que formam os planos de contorno da sala como para situar os centros de fontes sonoras ou receptores.

O segundo elemento desse grupo é a ferramenta *Ok* cuja função é confirmar as coordenadas escolhidas.

3.7 Ferramentas Diversas

O último grupo possui cinco ferramentas auxiliares: *Overview*, *Surfaces*, *Quality parameters*, *SPL* e *Undo*. A Fig. 45 ilustra esse grupo de ferramentas.

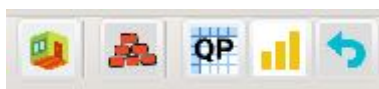


Figura 45: Ferramentas diversas, constituindo o último grupo da barra de ferramentas.

3.7.1 Overview

Selecionando-se a ferramenta *Overview*, abre-se uma janela com o mesmo nome e que permite uma visualização geral do projeto aberto na janela *Edit and View*. Na parte superior da janela há duas abas: *Sources* e *Receivers*. Em cada uma há um detalhamento de todos os atributos de seus elementos. A Fig. 46 ilustra a janela *Overview*, com a aba *Receivers* ativa indicando cada receptor com seu nome, coordenadas de posição e orientação e sua condição de atividade (ativo ou não ativo). Mostra ainda as distâncias entre as fontes e microfones, informações sobre a sala, no quadro *Room*, e sobre os parâmetros utilizados na simulação, no quadro *Parameters*. Finalmente, no quadro *Reverberation time*, mostra um gráfico com os tempos de reverberação por bandas de oitava, entre 63 Hz e 16 kHz, calculado segundo as fórmulas de acústica estatística de Sabine, Eyring e Fitzroy.

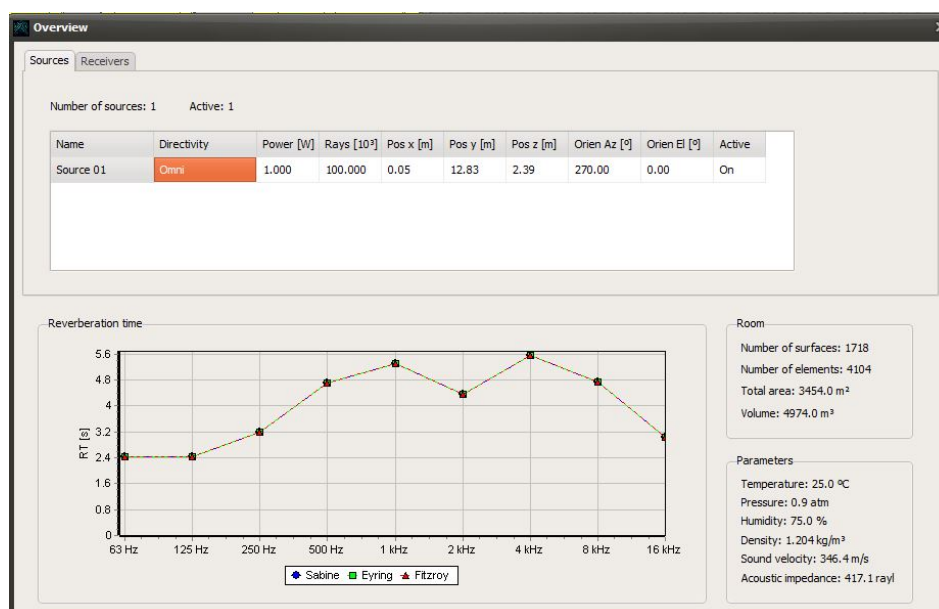


Figura 46: Janela *Overview*, com informações gerais sobre a sala aberta na janela *Edit and View*.

A ferramenta *Surfaces* permite uma visão generalizada das propriedades das superfícies de contorno da sala aberta na janela *Edit and View* e sua modificação. No quadro da esquerda, *Material database* há cinco botões: *Load*, *Load from my database*, *Assign*, *Remove* e *Clear*. Premindo-se *Load*, abre-se a janela *List of materials*, descrita na Seção 1.5.4, com os materiais do arcabouço do programa **RAIOS 7**. Premindo-se o botão *Load from my database*, abre-se a janela *Import materials*, também descrita na Seção 1.5.4, com os materiais criados pelo usuário. Marcando-se com o mouse em qualquer célula de um dado material da janela *Surfaces* que tenha sido associada a uma *layer* e premindo-se o botão *Assign*, todas as superfícies do mesmo material no interior da sala serão associadas a essa mesma *layer*. A grande utilidade desse recurso é que se o usuário desejar alterar os coeficientes de absorção e espalhamento de um certo tipo de superfície, não precisa fazê-lo plano a plano, bastante modificar a *layer* correspondente. A Fig. 47 ilustra a janela *Surfaces*. O botão *Apply* executa as eventuais modificações no projeto aberto na janela de edição e visualização; o botão *Cancel* cancela a operação; e o botão *OK* finaliza e fecha a janela.

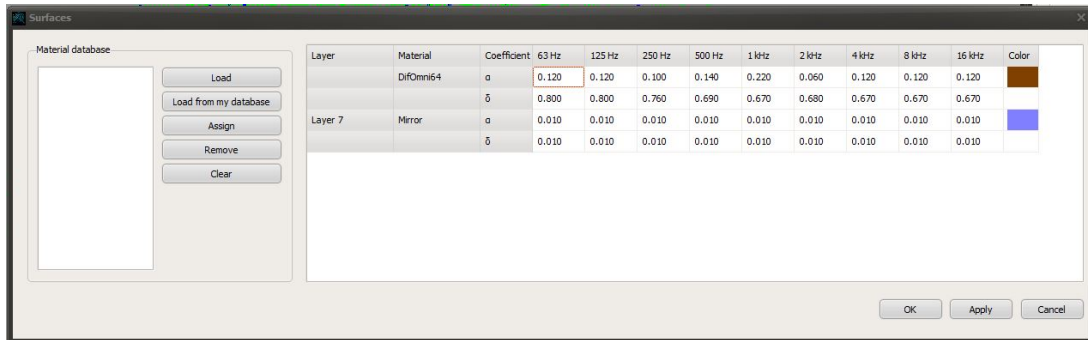


Figura 47: Janela *Surfaces* aberta, com os dados de coeficientes de absorção e espalhamento de superfícies. Observe o material *Mirror*, com sua *Layer*, sua cor e seus coeficientes.

A ferramenta *Quality parameters* permite, em um relance, um acesso direto aos parâmetros de qualidade acústica da sala aberta na janela *Edit and View*, já simulada, em valores global e por bandas de oitava entre 63 Hz e 16 kHz. Abre a janela com o nome *Table of acoustic quality parameters*, ilustrada na Fig. 48. Para se utilizar corretamente essa ferramenta é necessário seleccionar previamente o par fonte-receptor desejado.

	Global	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	16 kHz
T20 [s]	0.47	0.50	0.28	0.44	0.54	0.51	0.50	0.49	0.49	0.45
T30 [s]	0.51	0.65	0.40	0.52	0.59	0.53	0.53	0.54	0.52	0.47
T40 [s]	0.54	0.60	0.46	0.52	0.60	0.57	0.57	0.58	0.56	0.50
EDT [s]	0.4	0.2	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4
D50 [%]	82.7	78.3	84.4	87.0	88.3	89.8	86.8	87.4	84.7	78.1
D80 [%]	93.4	94.7	97.2	94.2	93.8	95.3	94.8	94.8	93.7	92.0
C50 [dB]	6.8	5.6	7.3	8.2	8.8	9.4	8.2	8.4	7.4	5.5
C80 [dB]	11.5	12.5	15.4	12.1	11.8	13.1	12.6	12.6	11.7	10.6
TS [ms]	28.3	45.4	37.1	24.9	22.3	22.2	23.9	22.2	25.8	33.8
G [dB]	114.3	92.6	95.7	96.4	98.7	102.8	105.6	108.1	110.0	110.4
LG [dB]	76.1	59.1	57.6	59.2	60.9	63.2	66.4	68.6	71.6	72.5
LF [%]	2.0	2.7	1.9	2.3	3.0	2.4	1.6	2.0	2.3	1.7
LFC [%]	4.0	3.1	4.0	4.5	6.2	4.3	3.4	4.3	4.6	3.5
ST1 [dB]	1.7	45.9	19.2	0.0	-1.9	-0.9	-0.0	-1.1	0.5	4.7

Figura 48: Janela *Acoustic quality parameters* aberta mostrando todas as informações sobre parâmetros de qualidade acústica para um par fonte-receptor.

	Linear	A	B	C	D
Global SPL [dB]	50.2	48.5	47.0	47.0	56.4

	Global	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	16 kHz
SPL [dB]	50.2	22.9	26.7	29.5	33.0	34.1	39.7	42.4	44.7	46.2
SPL(A) [dB]	48.5	-3.3	10.6	20.9	29.8	34.1	40.9	43.4	43.6	39.6
SPL(B) [dB]	47.0	13.6	22.5	28.2	32.7	34.1	39.6	41.7	41.8	37.8
SPL(C) [dB]	47.0	22.1	26.5	29.5	33.0	34.1	39.5	41.6	41.7	37.7
SPL(D) [dB]	56.4	12.0	21.2	27.9	32.7	34.1	47.6	53.5	50.2	46.2

Figura 49: Janela *SPL* aberta mostrando todas as informações sobre níveis de pressão sonora para um par fonte-receptor.

A ferramenta *SPL* (*Sound Pressure Level*) permite visualizar os níveis de pressão sonora, global e por bandas de oitava entre 63 Hz e 16 kHz, com ponderação segundo as curvas A, B, C e D ou ainda linear, para um par fonte-receptor selecionado. A Fig. 49 ilustra a janela *SPL*.

O quinto elemento desse grupo é a ferramenta *Undo* que pode ser utilizada para desfazer a última operação executada com qualquer uma das ferramentas anteriores, recuperando a configuração imediatamente anterior. Até cinco operações podem ser desfeitas com sucessivas ações de recuperação. Esta ferramenta está em preparo.

4 A JANELA DE EDIÇÃO E VISUALIZAÇÃO

A janela de edição e visualização, intitulada *Edit and View*, se presta, como diz o próprio nome, para editar e visualizar uma sala e verificar se a edição ou modificação efetuada foi executada corretamente, constituindo a principal interface gráfica do programa **RAIOS 7**. Todos os comandos necessários à edição ou modificação de uma sala constam da barra de ferramentas, descrita na Seção 3. Três elementos principais são editados e visualizados na janela *Edit and View*: planos ou superfícies, fontes sonoras e receptores. Esses três elementos podem receber cores de uma paleta de tonalidades praticamente infinita. Sugere-se, no que toca aos elementos de superfície, que se escolha uma cor diferente para cada material de acabamento, veja Seção 5.3.

As superfícies são necessariamente planas e representadas por meio de polígonos. A face da superfície voltada para o interior da sala (ver sentido do vetor normal ao plano, Seção 3.4.2) é visualizada, quando se olha de dentro do recinto, com a cor que lhe foi atribuída. A mesma superfície, quando vista de fora da sala fica transparente, mantendo somente seu contorno poligonal. Esse recurso gráfico facilita grandemente o entendimento visual, principalmente em uma sala de geometria complexa. A Fig. 50 ilustra a mesma sala vista de dentro (a) e vista de fora (b), evidenciando a transparência das paredes internas, quando vistas de fora.

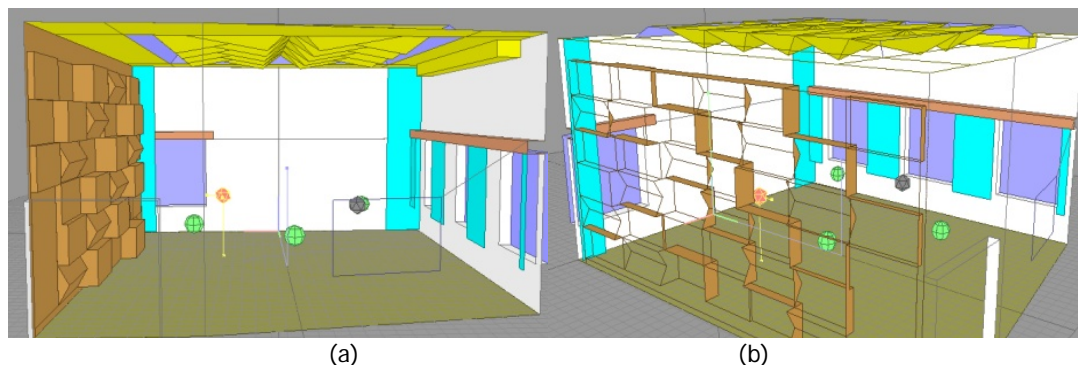


Figura 50: (a) Superfícies difusoras em uma sala, vista pelo lado de dentro. (b) As mesmas superfícies, em primeiro plano, vistas pelo lado de fora, após orbitar a sala, na imagem. Observe como, nesse caso, a transparência auxilia a visualização.

5 A JANELA DE ENTRADA DE DADOS

A janela de entrada de dados, à direita na abertura padrão do programa, denomina-se *Data Entry* e possui, como já mencionado, quatro abas para entrada de dados relativos a: fontes sonoras (*Sources*); receptores (*Receivers*) — podendo modelar indiferentemente microfones (receptores monoauriculares) ou cabeças (receptores binauriculares) —; superfícies de contorno

(*Surfaces*); e, por fim, os comandos de execução propriamente dita do programa (*Running data*). A Fig. 51 ilustra a janela *Data Entry* com a aba *Running data* ativada.

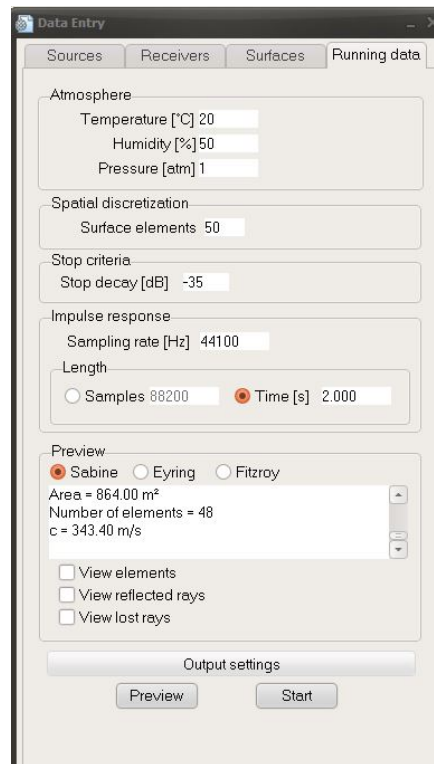


Figura 51: A janela *Data Entry* aberta, mostrando suas quatro abas.

5.1 Aba Sources

A aba *Sources* é utilizada pelo usuário para selecionar diversas propriedades das fontes sonoras presentes no ambiente a ser simulado. Apresenta um único quadro, denominado *Source properties*. A Fig. 52 mostra a aba *Sources* selecionada na janela de entrada de dados.

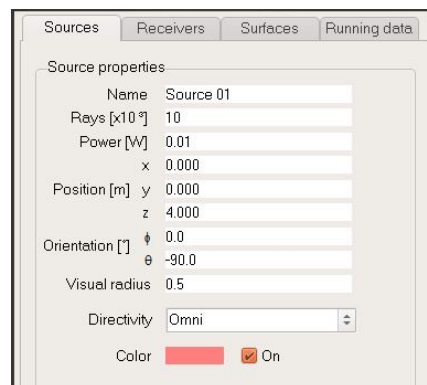


Figura 52: Aba *Sources* ativada, mostrando o seu quadro *Source properties*.

No quadro *Source properties* são selecionados pelo usuário do programa **RAIOS 7** os parâmetros descritos a seguir.

5.1.1 *Name*.

Um nome arbitrário para batizar cada fonte sonora (p. ex.: Source 1, Source 2 etc.). Observe que, a cada fonte criada na janela de edição e visualização, um nome sequencial, no padrão

Source j , onde j é um contador sequencial, é nomeada automaticamente pelo programa, de modo que o nome de batismo só é necessário se o usuário desejar alterar esse nome padrão.

5.1.2 *Rays* [$\times 10^3$].

Aqui é selecionado o parâmetro que estabelece o número de raios acústicos que a fonte irá gerar no modelo de raios acústicos, em valores múltiplos de mil (p. ex.: para rodar a simulação com 100.000 raios, o número escolhido deverá ser 100). Quanto maior o número de raios, maior será a precisão da simulação e maior o tempo de cálculo. O número de raios acústicos necessários à convergência do algoritmo em cada caso depende muito das dimensões do recinto e sua complexidade geométrica, podendo variar bastante. O algoritmo de geração de raios acústicos equidistribuídos em torno da esfera tomará o número de raios mais próximo do valor selecionado pelo usuário. Sugere-se que simulações preliminares sejam feitas com poucos raios (10^4 , por exemplo) e que se deixe para o cálculo final, quando a acústica da sala já estiver ajustada, rodar com um maior número de raios (10^6 ou mais).

5.1.3 *Power* [W].

Aqui se seleciona a potência, em Watts, da fonte sonora. Por exemplo, para escolher uma fonte sonora com 1 Watt de potência sonora — correspondendo a um nível de potência sonora de 120 dB —, basta selecionar o número 1, que é o padrão do programa.

5.1.4 *Position* x, y, z .

Aqui são selecionadas as três coordenadas, no sistema cartesiano de coordenadas globais, visível na janela de edição e visualização, do centro da fonte sonora.

5.1.5 *Orientation* φ, θ .

Aqui são selecionadas as duas coordenadas esféricas do vetor que aponta na direção de maior intensidade da fonte sonora (usualmente, a direção frontal). Se a fonte sonora escolhida for onidirecional, essa informação é irrelevante.

5.1.6 *Visual radius*.

Aqui é selecionado o raio visual da fonte sonora, ou seja, a dimensão com que esta é observada na janela de edição e visualização. Esse parâmetro não altera os resultados da simulação, modificando exclusivamente a aparência da fonte na janela de edição e visualização. Fontes são representadas na janela de edição e visualização por meio de icosaedros regulares.

5.1.7 *Directivity*.

Aqui é selecionado o padrão de direcionalidade da fonte sonora. O padrão de direcionalidade do programa **RAIOS 7** é onidirecional. Portanto, se nenhuma direcionalidade for escolhida o programa assumirá a fonte sonora como onidirecional. Duas outras fontes sonoras, estas direcionais, cuja direcionalidade, em azimute φ e elevação θ , foi medida para 64.442 direções, fazem parte do arcabouço do código computacional **RAIOS 7**. A seleção da direcionalidade da fonte sonora é feita através das setas à direita da janela correspondente. Note que o número de raios para as fontes sonoras direcionais pode ser escolhido pelo usuário. Nesse caso, o programa faz as interpolações necessárias.

5.1.8 *Color*.

Aqui é selecionada uma cor para distinguir a fonte sonora. Essa escolha terá efeito imediato na janela de edição e visualização e, assim como o raio visual do receptor, não tem nenhum efeito sobre os resultados da simulação. Ao premir o botão esquerdo do mouse sobre a pequena janela da cor abre-se uma paleta de cores e a cor pode ser modificada, tanto na pequena janela da cor como na janela *Edit and View*, assumindo a fonte sonora a cor selecionada.

5.1.9 *On*.

Essa última opção tem como efeito ativar a fonte sonora para efeito de simulação. A fonte estará ativa se o (✓) estiver marcado na opção *On*. Isso significa que a fonte sonora ativada será considerada na simulação. Havendo duas ou mais fontes sonoras na sala, somente uma deverá ser ativada por vez, sendo necessário rodar o programa para cada fonte. Se duas ou mais fontes estiverem ativas, o programa envia uma mensagem de advertência, solicitando que todas as fontes menos uma seja desativada. Ao final, contudo, os resultados podem ser mixados (somados) como explicado na Seção 1.5.7.

5.2 *Aba Receivers*

A aba *Receivers* é utilizada pelo usuário para estabelecer diversas propriedades ou características dos receptores. No quadro *Receiver properties* são selecionados os parâmetros descritos a seguir. A Fig. 53 mostra a aba *Receivers* selecionada na janela de entrada de dados.

5.2.1 *Name*

Aqui é escolhido um nome para batizar cada receptor (p. ex.: Microfone 1, Receiver 2 etc.). O código computacional nomeia sequencialmente os receptores segundo o padrão 'Microphone j', onde 'j' é um contador sequencial, caso o usuário não batize o receptor por sua própria conta.

5.2.3 *Position x,y,z*

Aqui, são selecionadas as três coordenadas, no sistema cartesiano de coordenadas globais da sala, visível na janela de edição e visualização, do centro geométrico do receptor.

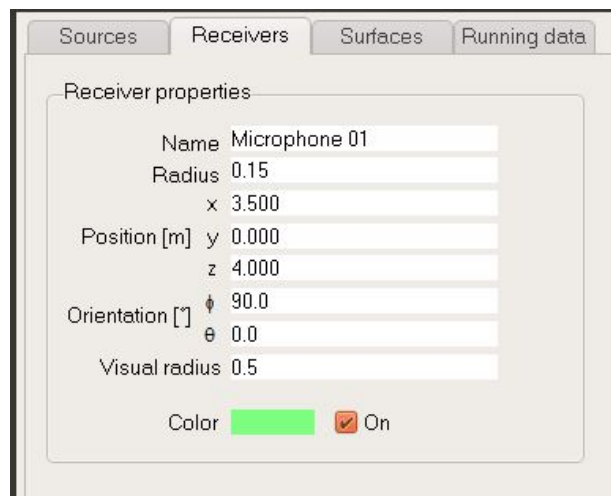


Figura 53: Aba *Receivers*, mostrando o quadro *Receiver properties*.

5.2.4 *Orientation φ, θ*

Aqui, escolhe-se a orientação principal do receptor, ou seja, para onde o receptor está apontado, em coordenadas esféricas. Em se tratando de receptor monoauricular (microfone), essa informação é irrelevante. Em se tratando de receptor biauricular (cabeça), essa informação é fundamental por causa das funções de transferência associadas à cabeça humana, que são definidas sempre em função da orientação frontal, ou seja, para onde aponta o nariz.

5.2.5 *Visual Radius*

Aqui, é selecionado o raio visual do receptor, ou seja, a dimensão com que este é apresentado na janela de edição e visualização. Esse parâmetro não altera os resultados da simulação, modificando exclusivamente a visualização do receptor na janela de edição e visualização.

Receptores são representados nessa janela por meio de poliedros com 32 faces, independentemente de serem mono (microfones) ou biauriculares (cabeças).

5.2.7 Color

Aqui é selecionada uma cor para distinguir o receptor. Essa escolha terá efeito imediato na janela de edição e visualização e, assim como o raio visual do receptor, não tem nenhum efeito sobre os resultados da simulação. Ao apertar o botão esquerdo do mouse sobre a pequena janela da cor abre-se uma paleta de cores e a cor pode ser modificada, tanto na pequena janela como na janela *Edit and View*, assumindo o receptor a cor selecionada.

5.2.8 On

Ao selecionar-se essa opção, (\checkmark), a fonte torna-se ativa, ou seja, os resultados de simulação para a fonte escolhida constarão dos arquivos *.ray e poderão ser verificados no menu Monoaural, ver Seção 1.5.5.. A simulação pode ser executada com qualquer número de receptores ativos.

5.3 Aba Surfaces

A aba *Surfaces* que, como mencionado, lida com todas as informações a respeito dos polígonos que formam o contorno da sala e suas superfícies de acabamento, possui os quadros: *Surface properties*, *Material database* e *Scattering patterns*, além de outros elementos, sendo descritos a seguir. A Fig. 54 mostra a aba *Surfaces* selecionada na janela de entrada de dados.

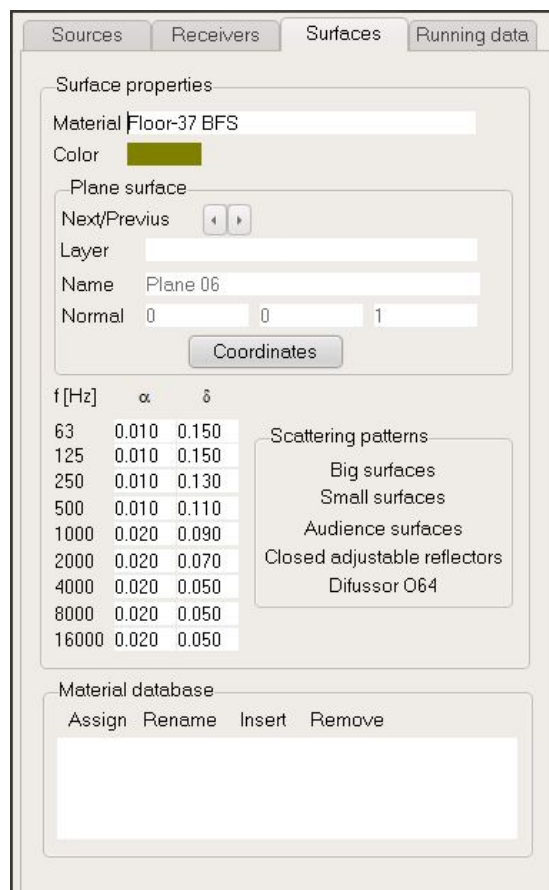


Figura 54: Aba *Surfaces*, apresentando os quadros *Surface properties*, *Material database* e *Scattering patterns*.

5.3.1 O quadro *Surface properties*

No quadro *Surface properties* são selecionados pelo usuário do programa **RAIOS 7** os parâmetros relativos às superfícies de contorno da sala. Cada plano que constitui o contorno da sala deverá ser selecionado previamente na janela *Edit and View*, como descrito na Seção 3.3.1.

a) *Material* – Nesse campo é selecionado o material de acabamento da superfície. Se for selecionado um material constante da tabela de materiais (*Material database*) constante do arcabouço do programa **RAIOS 7**, o nome do material, bem como os valores dos coeficientes de absorção e espalhamento são automaticamente preenchidos nas colunas de α e δ , por bandas de oitava. Caso um material não constante da tabela de materiais do arcabouço do programa **RAIOS 7** seja escolhido os valores dos coeficientes deverão ser preenchidos à mão pelo usuário, diretamente na janela Data Entry ou no menu Materials, como explicado na Seção 1.5.4.

b) *Color* – Aqui é selecionada uma cor para distinguir a superfície. Essa escolha terá efeito imediato na janela de edição e visualização, identificando-se a superfície selecionada, e não exerce nenhuma influência sobre os resultados da simulação. Ao se selecionar o campo *Color*, uma janela com o mesmo nome se abre, dando acesso a uma paleta de cores de livre escolha do usuário.

c) *Plane surface* – Nesse subquadro pode-se transitar sequencialmente entre as superfícies da sala utilizando as setas em *Next/Previous*. Essa ferramenta é útil para se verificar os elementos antes de iniciar a simulação. Os campos *Layer* (se houver), *Name* e *Normal* vão se alterando de acordo. É importante definir *layers* para todas as superfícies, pois isso facilitará a inserção dos coeficientes, principalmente em salas de geometria complexa. Desse modo, o usuário não necessitará selecionar superfícies uma a uma. O campo *Normal* apresenta os cossenos diretores da normal ao plano. O campo *Name* diz respeito ao plano e não deve ser confundido com o nome do material. Contudo, é mais fácil criar o novo material utilizando-se da janela *Export material*, ver Seção 1.5.4.

d) *Coefficients* – Tem-se, em seguida, uma tabela com os coeficientes de absorção e espalhamento, em nove bandas de oitava, entre 63 Hz e 16 kHz, associados à superfície em consideração.

5.3.2 *Scattering patterns* – Como é sabido, muitos materiais possuem valores de coeficientes de absorção medidos, mas poucos possuem valores medidos de coeficientes de espalhamento. Na ausência destes o quadro *Scattering patterns* permite atribuir valores para coeficientes de espalhamento, de características bem gerais, para cinco grandes grupos: *Big surfaces*; *Small surfaces*; *Audience surfaces*; *Closed adjustable reflectors*; e *Diffusor O64*. Outras opções poderão estar disponíveis no futuro.

5.3.3 O quadro *Material database*

O quadro *Material database* apresenta a lista dos materiais de acabamento que estão sendo utilizados no projeto. Desejando-se incluir um material da tabela *Materials* (ver Seção 1.5.4), abre-se o menu *Materials*, com a opção *List of materials*, e, após escolher um material da tabela, transfere-se este para o quadro *Material database* premindo-se o botão *Export to work area*. O material é então transferido para o campo do quadro *Material database*.

Quatro botões estão disponíveis nesse quadro. Ao premir o botão *Assign*, o material da superfície ativada será associado àquele que foi previamente selecionado na lista de materiais do quadro *Material database*. Esse botão é de utilidade para se alterar no programa o material de acabamento de uma dada superfície, de modo a se poder rodar uma nova simulação. Ao premir o botão *Rename*, uma janela denominada *Rename material* se abre e o usuário pode alterar o nome do material (mas os coeficientes não serão modificados). Esta opção, portanto não altera os resultados da simulação. Ao premir o botão *Insert*, o material especificado no

quadro *Surface properties* é inserido na lista *Material database*. A opção *Remove* promove a remoção do material destacado na lista *Material database*.

5.4 *Aba Running data*

A aba *Running data* é utilizada para selecionar todas as condições necessárias antes de iniciar a execução propriamente dita do código computacional **RAIOS 7**, executar o *Preview* e dar início à simulação acústica do recinto. Contém os quadros: *Atmosphere*; *Spatial discretization*; *Stop criteria*; *Impulse response* e *Preview*, além dos botões *Output settings*, *Preview* e *Start*. A Fig. 55 ilustra a aba *Running data* selecionada na janela de entrada de dados.

5.4.1 O quadro *Atmosphere*

No quadro *Atmosphere* são escolhidos os valores para as seguintes condições atmosféricas de simulação: *Temperature*, a temperatura ambiente, em graus Célsius; *Humidity*, a umidade relativa do ar ambiente, em percentual, %; e *Pressure*, a pressão barométrica ambiente, em atmosferas. Esses parâmetros influenciam, principalmente, a atenuação na propagação, importante em médias e altas frequências, e a velocidade do som, alterando de forma sensível a resposta impulsiva da sala para todos os pares fonte-receptor.

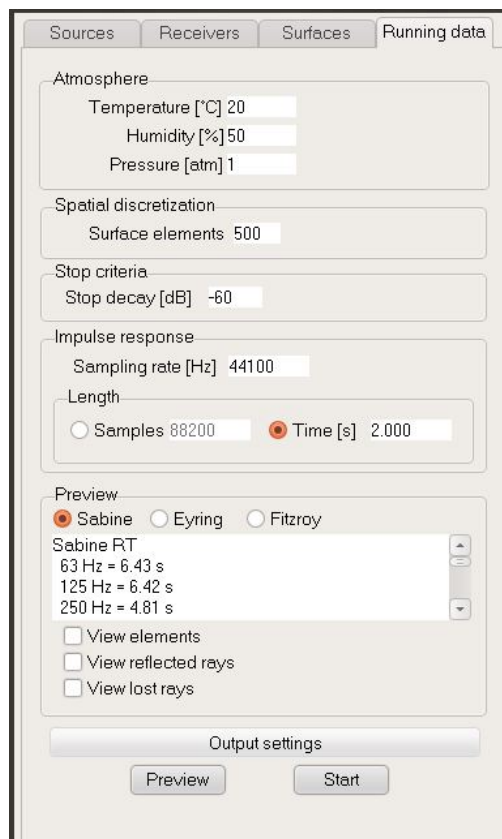


Figura 55: Aba *Running data*, apresentando os seus quadros e botões.

5.4.2 O quadro *Spatial discretization*

No quadro *Spatial discretization*, é selecionado o número inteiro de subdivisões triangulares das superfícies, necessárias ao refinamento do cálculo das reflexões difusas. Quanto maior for esse número, maior será a precisão da simulação, especialmente na parte difusa e maior será o tempo de cálculo. Não há propriamente um padrão para esse parâmetro, que dependerá da dimensão e complexidade da sala a ser simulada. O valor selecionado pode variar da ordem das dezenas à das centenas. Essa triangularização das superfícies da sala pode ser visualizada como

descrito na Seção 5.4.5. Em simulações preliminares, recomenda-se fixar esse número em um valor pequeno (50, por exemplo) de modo a rodar o algoritmo difuso mais rapidamente.

5.4.3 O quadro *Stop criteria*

No quadro *Stop criteria*, é selecionado um parâmetro fundamental do simulador, o critério de parada, que se traduz em por qual atenuação um determinado raio acústico continuará a ser considerado no cálculo até que possa ser abandonado por possuir potência sonora negligenciável. O parâmetro deve ser selecionado no campo *Stop Decay [dB]*. O padrão para esse parâmetro no código computacional **RAIOS 7**, é um decaimento de 60 dB (energia atenuada em 10^6). Portanto, se nenhum valor for escolhido, ele será assumido como o valor padronizado de -60 dB. Note que, como se trata de um decaimento, o valor é sempre negativo. Sugere-se que simulações preliminares sejam conduzidas com valores inferiores de decaimento (-30, por exemplo). Quanto maior o decaimento, maior será o tempo de cálculo.

5.4.4 O quadro *Impulse response*

No quadro *Impulse response* seleciona-se a taxa de amostragem e o tamanho da(s) resposta(s) impulsiva(s) a calcular. A taxa de amostragem padrão do código **RAIOS 7** é de 44.100 Hz — taxa de amostragem padrão utilizada em áudio. O tamanho da resposta impulsiva desejada é inserido no subquadro *Length*, o que pode ser feito tanto estabelecendo o tamanho da resposta, em número de amostras, no campo *Samples*, como em segundos, no campo *Time [s]*. Como o tempo, a taxa de amostragem e o número de amostras estão relacionados, ao se preencher dois desses campos, o terceiro será preenchido.

5.4.5 O quadro *Preview*

No quadro *Preview*, como o nome indica, pode-se rodar uma prévia da simulação da sala. Há, inicialmente, três opções de avaliação da sala por meio de acústica estatística, segundo as fórmulas de *Sabine*, *Eyring* e *Fitzroy*. Ao premir-se o botão *Preview*, além de se calcular o tempo de reverberação da sala por bandas de oitava, segundo a fórmula previamente escolhida, um pequeno conjunto de mil raios acústicos é emitido pela fonte sonora de modo a se verificar se não há qualquer equívoco importante na construção da sala. Essa etapa é rápida e, ao final, abre-se uma janela indicando o número de raios perdidos (raios acústicos que não encontraram uma superfície ou um receptor ativo). São ainda calculados no *Preview* a velocidade do som, *c*, (baseada nas informações fornecidas no quadro *Atmosphere*), bem como o volume da sala, a área total de suas superfícies de contorno e o número efetivo total de elementos triangulares em que as superfícies de contorno da sala foram subdivididas.

Ainda nesse quadro, há três seleções que podem ser feitas pelo usuário: *View elements*; *View reflected rays*; e *View lost rays*. Ao marcar o campo *View elements*, pode-se visualizar, na janela *Edit and View*, as divisões triangulares que o algoritmo do código **RAIOS 7** subdivide as superfícies de contorno da sala. Se o número inserido no campo *Surface elements* for pequeno, nem todas as superfícies serão subdivididas. Ao marcar o campo *View reflected rays*, a sala fica pintada com todos os raios acústicos emitidos pela fonte e refletidos nas superfícies da sala durante o *Preview*. Finalmente, ao marcar o campo *View lost rays*, são indicados exclusivamente os raios perdidos. Essa opção facilita pequenas correções na sala. Qualquer das três seleções podem ser desmarcadas com uma segunda marcação.

5.4.6 O botão *Output settings*

Quando apertado, o botão *Output settings* abre uma janela com o mesmo nome, mostrada na Fig. 56. Sua função é estipular quais as saídas da simulação são desejadas.

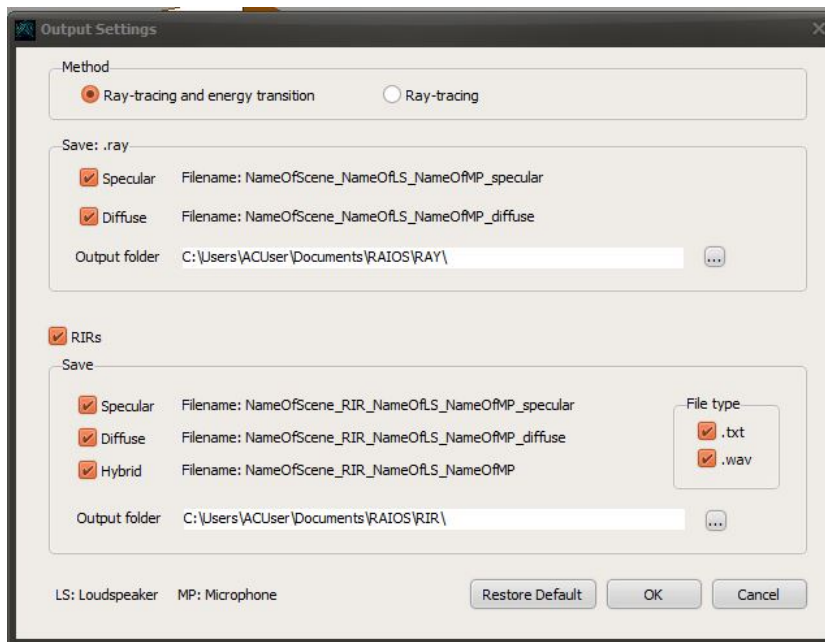


Figure 56: Janela *Output settings* com suas diversas opções de saída do programa.

Essa janela possui três quadros e três botões. O primeiro quadro, *Method*, destina-se a escolher o método a ser utilizado na simulação. As opções são *Ray-tracing and energy transition*, que é o método híbrido, padrão do código **RAIOS 7**, e *Ray-tracing*. Se selecionada essa segunda opção, somente o traçado de raios será utilizado e a resposta impulsiva não contemplará as reflexões difusas. Contudo, a simulação é mais rápida e pode ser utilizada em simulações preliminares.

O segundo quadro, *Save: ray* especifica quais arquivos *.ray serão salvos. O padrão do programa **RAIOS 7**, é sempre: nomedasala_nomedafonte_nomedoreceptor_specular(diffuse).ray. Recomenda-se manter esse padrão, para maior clareza. Contudo, esses nomes podem ser alterados a critério do usuário, após a sua criação, a menos da extensão .ray. No mesmo quadro, há um campo para escolher a pasta onde os arquivos de saída serão salvos. Pode-se manter a pasta sugerida ou escolher outra.

O terceiro quadro, *Save*, especifica quais arquivos *.txt e *.wav serão salvos. Esses são os arquivos que contêm as respostas impulsivas da sala, que podem ser salvas no formato *.txt (texto, para gráficos), *.wav (sonoro, para ouvir) ou ambos, selecionados no subquadro *File type*. O padrão para os nomes dos arquivos (*) é semelhante aos nomes dos arquivos descritos no quadro *Save*, incluindo-se o termo _RIR_ após o nomedasala, como mostra a Fig. 45. No mesmo quadro, há um campo para escolher a pasta onde os arquivos de saída serão salvos. Pode-se manter a pasta sugerida ou escolher outra.

Finalmente, há três botões nessa janela: *Restore default*; *Ok* e *Cancel*. O botão *Restore default* recupera o padrão de especificações de saída, tal como quando a janela *Output Settings* é aberta da primeira vez. O botão *Ok* confirma as configurações de saída que foram escolhidas pelo usuário. O botão *Cancel* fecha a janela sem salvar as modificações.

5.4.7 Rodando a simulação

Há, ainda, na aba *Running data*, dois botões, um para executar o *Preview*, e outro, o botão *Start*, para dar início à simulação propriamente dita.

Ao premir o botão *Start*, uma sequência de operações são executadas pelo código computacional. Em primeiro lugar, abre-se uma janela informativa, comunicando o número de raios perdidos. Se esse número for relativamente pequeno não é necessário interromper a simulação, bastando pressionar o botão *Ok*. Se o número for grande, é preferível interromper a simulação e corrigir o projeto da sala antes de premir novamente o botão *Start*.

Em seguida, abre-se a janela *Emission*, que vai evoluindo acompanhando o processo de cálculo do software. As seguintes informações são apresentadas, na sequência, com o intuito de informar o usuário sobre o andamento da simulação: [1/5] *Checking the room*; [2/5] *Allocating memory/Generating the transition matrix*; [3/5] *Specular processing*; [4/5] *Diffuse processing*; e [5/5] *RIRs computation*. Em todas essas janelas há uma barra de progresso que informa a evolução da simulação. Na quinta etapa, *RIRs computation*, são calculadas as respostas impulsivas da sala para cada par fonte-receptor selecionado. Os pares que estão sendo calculados são indicados na janela. A Fig. 57 ilustra a janela *Emission* na fase [5/5] *RIRs computation* em andamento.

Na etapa [1/5] *Checking the room*, é feita uma verificação geral do projeto (sala) e o número de raios que não atinge o receptor — seja porque encontrou uma falsa superfície, seja porque decaiu ao valor mínimo estipulado antes de chegar ao receptor — é indicado ao final dessa fase. Se esse número for grande, é melhor verificar de novo seu projeto para detectar inconsistências (por exemplo, um plano com a normal invertida). Se o número for pequeno, é só premir o botão *OK* e o processo continuará.

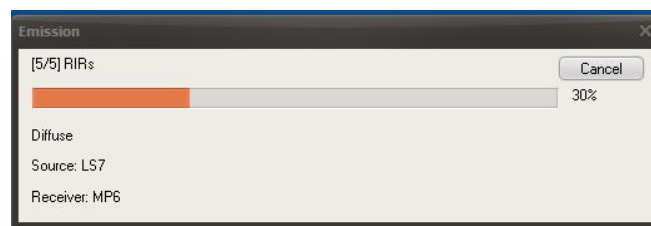


Figura 57: Janela *Emission* com a etapa [5/5] *RIRs computation* em andamento, indicando o cálculo da resposta impulsiva da sala para o par LS7-MP6, parte difusa.

Na etapa [2/5] *Allocating memory/Generating the transition matrix* é feita a alocação de memória necessária ao processamento, são calculados os ângulos sólidos entre as diversas subdivisões triangulares das superfícies e é gerada a matriz de transição para o processamento das reflexões difusas.

Na etapa [3/5] *Specular processing*, dá-se o processamento pelo algoritmo de traçado de raios (*ray-tracing*), que calcula as reflexões especulares, a absorção nos contornos da sala e a atenuação com a distância devido aos efeitos da dissipação no ar.⁸⁶

Na etapa [4/5] *Diffuse processing*, dá-se o processamento do algoritmo das matrizes de transição, que calcula as reflexões difusas. Essa parte do cálculo é costuma ser mais lenta do que o processamento das reflexões especulares e esse tempo de cálculo dependerá da complexidade geométrica da sala, do critério de parada selecionado e, principalmente, do número de triângulos em que as superfícies de contorno foram subdivididas (discretização espacial).

Na etapa [5/5] *RIRs computation*, são então calculadas as respostas impulsivas, as curvas de decaimento da sala e os parâmetros de qualidade acústica, todos para cada par fonte-receptor, em valores globais e por nove bandas de oitava entre 63 Hz e 16 kHz.

Ao final do processo de simulação, o código computacional **RAIOS 7** emite um sinal sonoro e abre uma pequena janela indicando o tempo total de cálculo da simulação, desde que o botão *Start* foi pressionado, como ilustra a Fig. 58 (a). Premindo-se o botão *OK*, apresenta-se outra pequena janela indicando o número de raios perdidos, ou seja, o número de raios que não atingiram uma superfície ou um receptor, como ilustra a Fig. 58 (b).

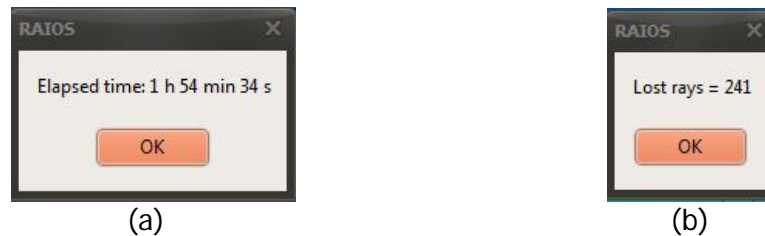


Figura 58: Janelas de finalização da simulação da sala.

O código computacional **RAIOS 7** calcula, como padrão de operação, exclusivamente as respostas impulsivas monoauriculares da sala. Esse resultado, muitas vezes é satisfatório para a avaliação da sala que o usuário pretende. Desejando-se o cálculo das respostas impulsivas binauriculares da sala para as mesmas posições de fonte e receptores, é necessário rodar o segundo módulo do programa, utilizando-se o menu *Binaural*, tal como descrito na Seção 1.5.6.

6 IMPORTAÇÃO DE ARQUIVOS DXF

A tarefa de edição de uma sala no código computacional **RAIOS 7** é perfeitamente possível utilizando-se as ferramentas de edição de salas descritas na Seção 3. Além disso, a sala é construída virtualmente diretamente em 3-D com os recursos dessas ferramentas. Contudo, para uma sala de geometria mais complexa, a sua edição diretamente em um programa de CAD poderá ser vantajosa devido aos imensos recursos que tais programas possuem, uma vez que são software dedicados a esse fim. Por outro lado, muitos projetos a serem simulados acusticamente estão disponíveis em arquivos computacionais gerados por programas de CAD. Por essa razão, o código computacional **RAIOS 7** possui uma interface para importação desses arquivos.

A importação dos dados referentes à geometria das superfícies de contorno da sala e a posição tanto de fontes sonoras como de receptores é realizada a partir de arquivos com extensão *.dxf (*drawing exchange format*). Esse tipo de arquivo é um padrão internacional para intercâmbio de geometrias virtuais, tendo sido criado pela empresa *AutoDesk* para a troca de informação entre programas de CAD.

6.1 Entidades a Importar

Um arquivo *.dxf conta com uma série de entidades que servem para representar uma ampla gama de figuras geométricas. Dentre estas, o código computacional **RAIOS 7** utiliza três: as entidades *Point*, *3DPolyline* e *3DFace*. Um *Point* representa um ponto, sendo útil para representar fontes sonoras e receptores. Uma *3dPolyline* é uma sequência conectada de segmentos de reta que constituem um único elemento. Isso significa que uma *3dPolyline* pode não constituir um plano, ou seja, não ter todos os seu vértices no mesmo plano. Portanto, nem todo arquivo *.dxf se presta para importação, uma vez que no programa **RAIOS 7**, os contornos de uma sala constituem polígonos planos. Uma *3DFace* é uma face plana, em um

ambiente tridimensional. Essas três entidades constituem ferramentas disponíveis em programas de CAD.

Se o usuário dispõe de uma sala em arquivo CAD no padrão *.dxf em forma, digamos, de planta-baixa e cortes, terá que primeiramente transformar o arquivo em formato 3D, ou seja, um arquivo tridimensional. Caso disponha de uma sala, mesmo que em formato 3D, porém com outras entidades que não Point, 3DPolyline ou 3DFace, será necessário adaptar as superfícies a essas entidades para permitir a importação. Essa tarefa pode ser um tanto tediosa, mas ao final a geometria da sala poderá ser importada pelo código computacional **RAIOS 7**.

Para importar um arquivo *.dxf a operação é bem simples. Primeiramente, abre-se o menu *File* e seleciona-se, na janela aberta, a opção *Open*. Esta opção abre a subpasta 'Room' com diversos arquivos para serem selecionados. Usualmente, os arquivos selecionados para serem abertos no código computacional **RAIOS 7** são arquivos no padrão *.prt, que são gerados pelo próprio programa quando uma sala é salva. Neste caso, contudo, o tipo do arquivo a ser escolhido é *.dxf. Deve, portanto, ser feita essa seleção no campo *File Type*. Se o arquivo for compatível, ou seja, se for um arquivo 3D com todas as superfícies de contorno com entidades 3dPolyline ou 3DFace, este será lido pelo código computacional. A Fig. 59 ilustra a janela aberta no código computacional **RAIOS 7** ao selecionar-se um arquivo *.dxf para importação, denominada *DXF import manager*.

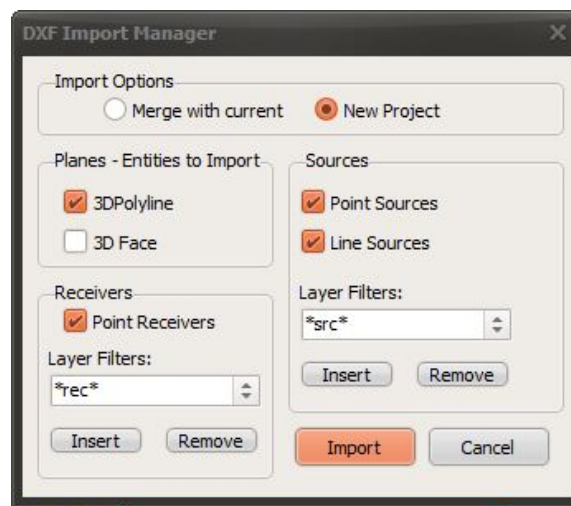


Figura 59: Janela *DXF import manager* aberta, mostrando seus diversos quadros e opções

A janela *DXF import manager* possui os seguintes quadros: *Import options*; *Planes*; *Receivers*; e *Sources*. O quadro *Import options* apresenta duas opções. A primeira é *Merge with current*, opção que permite importar o arquivo *.dxf para dentro do projeto já aberto na janela de edição e visualização. Nesse caso, alterações a serem feitas no projeto em curso podem ser feitas em um software de CAD e, em seguida, importadas para o projeto. A segunda é *New project*, que permite criar um novo projeto exclusivamente com a sala importada.

O quadro *Planes – Entities to import* possui as opções 3DPolyline e 3D Face, ou seja, permite escolher importar a geometria da sala construída em um software de CAD com qualquer uma dessas opções (ou as duas).

O quadro *Receivers* tem a opção *Point receiver*, que indica se o usuário quer importar receptores ou não, e o campo *Layer filters* que nomeiam, no arquivo *.dxf, os receptores a serem importados. O padrão do código computacional **RAIOS 7** é *rec* (de receiver).

Finalmente, há os botões *Insert* e *Remove*, que atuam nas camadas a serem consideradas para a importação de receptores.

O quadro *Sources* possui duas opções, uma para importação de fontes pontuais, *Point sources*, e outra para importação de linhas de fontes, *Line sources*. Há, além disso, o campo *Layer filters* que nomeiam, no arquivo *.dxf, os receptores a serem importados. Finalmente, há os botões *Insert* e *Remove*, que atuam nas camadas a serem consideradas para a importação de fontes sonoras.

Completando a janela *DXF import manager* há os botões *Import*, para efetivar a importação, e *Cancel*, para cancelá-la. A Fig. 60 mostra uma sala (a Sala 11 utilizada no RR4, denominada *Auditorium Maximum*) importada pelo programa **RAIOS 7**. Note que a sala importada não traz informações sobre os materiais em seu interior, ou seja, suas características acústicas, que devem ser inseridas pelo usuário, na janela *Data Entry*, aba *Surfaces* ou na janela *Surfaces* da barra de ferramentas de mesmo nome. Nesse caso, como já mencionado, a utilização da janela *Surfaces* mostra-se extremamente útil pela atribuição da propriedades acústicas, ou seja, coeficientes de absorção e espalhamento, por meio de *layers*.

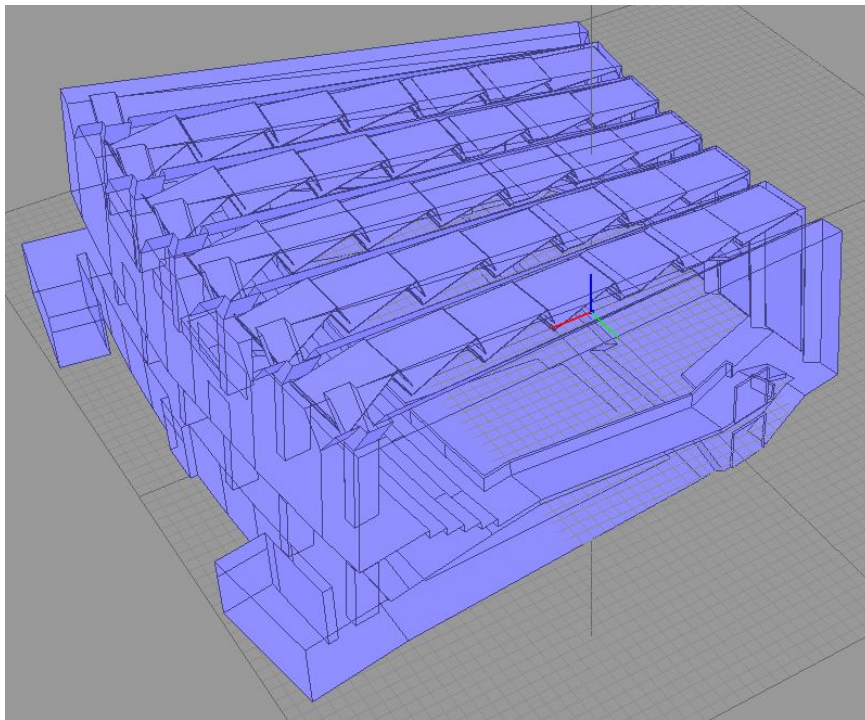


Figura 60: Sala 11, utilizada no RR4, importada do arquivo .dxf para o programa **RAIOS 7**

No processo de importação, podem ocorrer inconsistências. Por exemplo, a Fig. 61 mostra as sucessivas janelas informativas, abertas após a importação da sala mostrada na Fig. 60, indicando que foram importados 1185 superfícies (mas uma superfície não pode ser importada por não ter seus vértices coplanares) e sobre a importação de fontes e receptores.

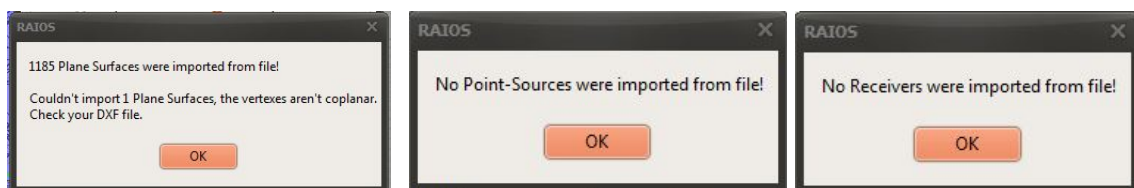


Figura 61: Janelas informativas abertas após o processo de importação de arquivo *.dxf.

Em geral, é vantajoso importar a geometria da sala, por ser, por exemplo, complexa como a mostrada na Fig. 60, mas as fontes e receptores podem ser inseridas diretamente — e com bastante facilidade — via a janela *Data Entry*.

6.2 Alguns Aspectos sobre a Importação

Como anteriormente mencionado, nem todo arquivo DXF, mesmo contendo informação de elementos em 3D, poderá se adaptar à rotina de importação implementada no código computacional **RAIOS 7**, a menos que satisfaça as seguintes condições:

- 1 A primeira, naturalmente, é que apenas as entidades *Point*, *3DPolyline* e *3DFace* tenham sido utilizadas para a representação de qualquer elemento da sala.
- 2 A entidade *Point* é utilizada apenas para a representação de fontes sonoras e receptores. Para poder diferenciar uma da outra, o nome da camada (*layer*) que contém a entidade deve ter uma palavra reservada. No caso de fontes sonoras, a palavra reservada é **src** (source); no caso de receptores, a palavra reservada é **rec** (receiver). Por exemplo, uma camada que vai conter vários pontos que vão representar igual número de fontes sonoras poderá ter um nome tal como **srclayer01**.
- 3 As superfícies de contorno só podem ser representadas por polígonos construídos a partir da entidade *3DPolyline* ou *3DFace*. Contudo, devem-se levar em conta as seguintes limitações, de modo a que a importação possa ser feita sem qualquer problema e a sala resultante seja compatível com o programa **RAIOS 7**:
 - a. Todos os vértices devem ser coplanares.
 - b. Todos os polígonos devem ser fechados, ou seja, o último vértice deverá coincidir com o primeiro.
 - c. O número de vértices de cada polígono deve estar limitado a 200.
 - d. A unidade de comprimento utilizada deve ser metros.
 - e. Os vértices devem ser inseridos na direção trigonométrica (anti-horária) dependendo do lado da superfície plana que será utilizado para a simulação acústica. Na realidade esta não é uma limitação: a finalidade da mesma é poder, antecipadamente, decidir a direção do vetor normal ao plano, utilizando a regra da mão direita.
 - f. O nome na camada que contem as *3DPolyline* não pode ter as palavras reservadas **src** ou **rec**.
- 4 Uma entidade *3dPolyline* pode ser utilizada para criar uma serie de fontes sonoras distribuídas ao longo da entidade. Aproveitando a categorização em *Layers* das entidades em um arquivo DXF, utilizou-se o nome do *layer*, em primeira instância, para diferenciá-la de uma superfície de contorno e depois, também, para definir dois dados importantes das fontes sonoras: o número de fontes que serão distribuídas ao longo da entidade e o nível de potência delas.

6.3 Exemplos

A Fig. 62 ilustra uma sala de espetáculos, ainda em projeto, visualizada em um programa de CAD, vista sob duas perspectivas distintas. Os elementos quadrados constituem difusores (no teto). Na parte inferior direita observa-se uma concha acústica sobre o palco.

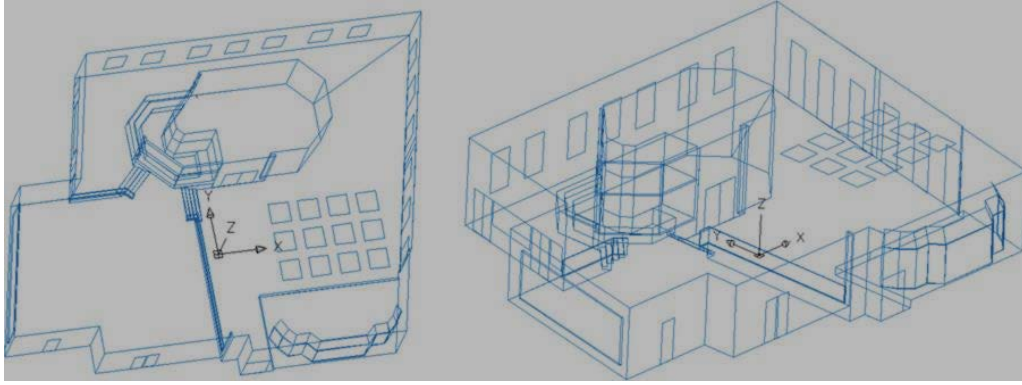


Figura 62: Duas perspectivas de uma sala de espetáculos desenhadas em um programa de CAD.

A Fig. 63 ilustra a mesma casa de espetáculos da Fig. 62, após a importação do arquivo *.dxf para o código computacional **RAIOS 7**. Os difusores e a concha acústica estão visíveis. Neste caso, as fontes sonoras e os receptores (não presentes na figura) foram criados a posteriori no código **RAIOS 7**, bem como as cores que definem as diferentes superfícies de acabamento.

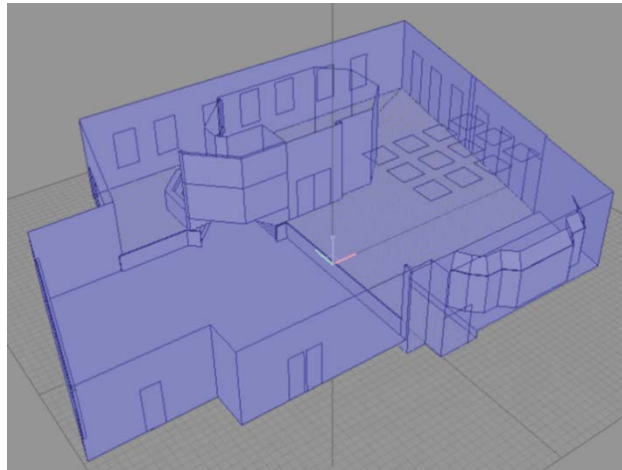


Figura 63: Sala importada para o código computacional RAIOS a partir de um arquivo *.dxf.

A Fig. 64 mostra a sala completa, com materiais de acabamento, fonte sonora e receptores, pronta para a simulação.

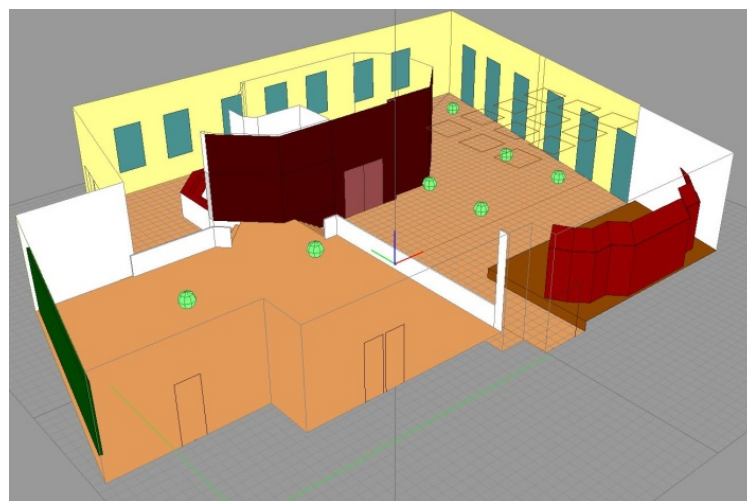


Figura 64: Sala de espetáculos pronta para simulação no programa **RAIOS 7**.

A Fig. 65 ilustra um ambiente urbano, elaborado em um programa de CAD, compreendendo um trecho do bairro de Copacabana, na cidade do Rio de Janeiro. A Fig. 66 ilustra o mesmo ambiente da Fig. 65, como visto na janela de edição e visualização do código computacional **RAIOS 7**, após o processo de importação do arquivo *.dxf. Observe as fontes pontuais alinhadas, que traduzem, com boa aproximação, o ruído do tráfego urbano (em vermelho) e os receptores (em verde).

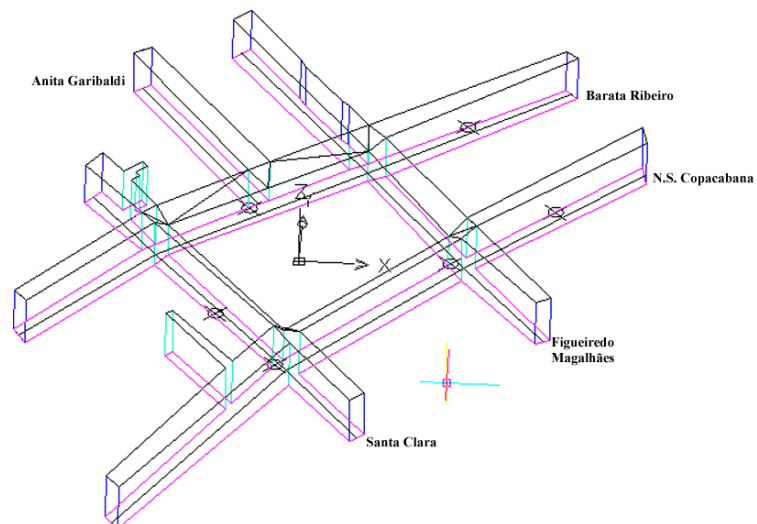


Figura 65: Ambiente urbano representado em um software de CAD.

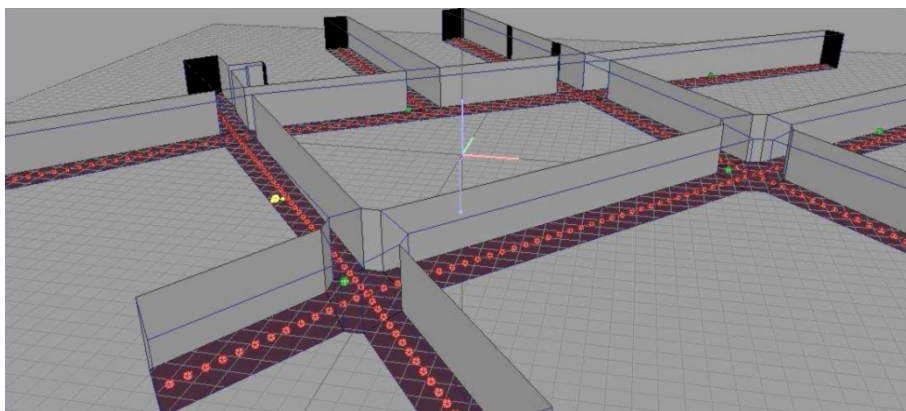


Figura 66: Ambiente urbano representado na Fig. 60 importado para o programa **RAIOS 7**.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Camilo, T.S. Método híbrido para simulação numérica de acústica de salas: Combinação dos métodos de traçado de raios e transição de energia. *Dissertação de Mestrado*, COPPE, UFRJ, 2003.
2. Alarcão, D., Bento Coelho, J.L., Tenenbaum, R.A. On modeling of room acoustics by a sound energy transition approach. *Proc. EEA Symposium on Architectural Acoustics*, Madrid, 2000.
3. Tenenbaum, R.A., Camilo, T.S., Torres, J.C.B., Gerges, S.N.Y. Hybrid method for numerical simulation of room acoustics: Part 1 – Theoretical and numerical aspects. *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. and Eng.*, 29, 2, 211–221, 2007a.
4. Camilo, T.S., Medrado, L.O., Tenenbaum R.A. A new software for room acoustics simulation: A study of its performance and validation by an international comparison. *J. Acoust. Soc. Am.* 122, 2396, 2002.
5. Naranjo, J.F.L., Tenenbaum R.A., Torres, J.C.B., Melo, V.S.G. Simulação numérica de acústica de salas: aperfeiçoamentos no código computacional RAIOS para importação de arquivos. *Anais do XII Encontro de Modelagem Computacional*, Rio de Janeiro, 2009.
6. Ballesteros, M.L., Slama, J.G., Tenenbaum, R.A. Numerical simulation of sound propagation applied to urban noise control, *Proc. 21th International Conference on Noise Control Engineering*, Toronto, VI, 153–156, 1992.
7. Tenenbaum, R.A., Ballesteros, M.L., Araújo, M.A.N. Acústica previsional em ambientes fechados: aferição do método em câmara reverberante. *Anais do IV Seminário Internacional de Controle de Ruído*, 41–44, Rio de Janeiro, 1992.
8. Tenenbaum, R.A., Slama, J.G., Balesteros, M.L. Numerical simulation of room acoustics: A new approach for source modeling. *Proceedings of 14th International Congress on Acoustics*, F6-11, Beijing, 1992.
9. Medrado, L.O., Tenenbaum, R.A. Simulação numérica de acústica de salas: implementação do código computacional RAIOS e sua validação por comparação. *Anais do XX Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*, Rio de Janeiro, 2002.
10. Camilo, T.S., Tenenbaum, R.A. Método híbrido para simulação numérica de acústica de salas – Parte 1: combinação dos métodos de traçado de raios e de transição de energia. *Anais do XX Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*, Rio de Janeiro, 2002.
11. Bork I. Report on the 3rd round robin in room acoustical computer simulation, Part I: Measurements. *Acta Acustica united with Acustica*, 91, 4, 740–752, 2005.
12. Bork, I. Report on the 3rd Round Robin on room acoustical computer simulation – Part II: Calculations. *Acta Acustica united with Acustica*, 91, 4, 753–763, 2005.
13. Camilo, T.S., Tenenbaum, R.A. Método híbrido para simulação numérica de acústica de salas – Parte 2: comparação dos resultados no Round Robin3. *Anais do XX Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*, Rio de Janeiro, 2002.
14. Tenenbaum, R.A., Camilo, T.S. Método híbrido para simulação numérica de acústica de salas: teoria, implementação, numérica e validação experimental. *Anais do I Seminário de Música, Ciência e Tecnologia: Acústica Musical*, 26–40, São Paulo, 2004.
15. Tenenbaum, R.A., Camilo, T.S., Torres, J.C.B., Stutz, L.T. Hybrid method for numerical simulation of room acoustics: Part 2 – Validation of the computational code RAIOS 3. *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. and Eng.*, 29, 2, 222–231, 2007b.
16. Torres, J.C.B., Petraglia, M.R. Performance analysis of adaptive filter structure employing wavelet and sparse sub-filters. *IEEE Proceedings – Vision, Image and Signal Processing*, 149, 2, 115–119, 2002.
17. Torres, J.C.B., Petraglia, M.R., Tenenbaum R.A. Sistema eficiente para aurilização usando agrupamento e modelagem de HRTFs por wavelets. *Anais do 4^o Congresso da AES Brasil*, São Paulo, 2006.
18. Torres, J.C.B., Petraglia, M.R., Tenenbaum R.A. Efficient auralization by grouping directions and modeling HRTF's using wavelets. *Proc. XII International Symposium on Dynamic Problems of Mechanics*, Ilhabela, 2007.
19. Torres, J.C.B., Tovo, F.C., Petraglia, M.R., Tenenbaum R.A. Análise quantitativa do simulador acústico RAIOS. *Anais do 6^o Congresso de Engenharia de Áudio da AES Brasil*, São Paulo, 2008.
20. Torres, J.C.B., Petraglia, M.R., Tenenbaum, R.A. HRTF modeling using wavelet decomposition. *Anais do XIV Congresso Brasileiro de Automática*, Natal, 2002.

21. Torres, J.C.B., Petraglia, M.R., Tenenbaum, R.A. An efficient wavelet-based HRTF for auralization. *Acta Acustica United with Acustica*, 90, 1, 108–120, 2004.
22. Torres, J.C.B., Petraglia, M.R., Tenenbaum, R.A. Room acoustics auralization: HRTF modeling using wavelet transforms. *Proc. X International Symposium on Dynamic Problems of Mechanics*, 151–157, Ubatuba, 2003.
23. Torres, J.C.B., Petraglia, M.R., Tenenbaum, R.A. HRTF modeling for efficient auralization. *Proceedings of IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 2003.
24. Torres, J.C.B., Petraglia, M.R., Tenenbaum, R.A. Low-order modeling and grouping of HRTFs for auralization using wavelet transforms. *Proc. International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, IV, 33–36, Montreal, 2004.
25. Torres, J.C.B., Petraglia, M.R., Tenenbaum, R.A. Low order modeling of head-related transfer functions using wavelet transforms. *Proc. International Symposium on Circuits and Systems*, III, 513–516, Vancouver, 2004.
26. Torres, J.C.B., Petraglia, M.R., Tenenbaum, R.A. Aurilização de salas utilizando wavelets para a modelagem das HRTF. *Anais do SEMEA 2002*, Rio de Janeiro, 2002.
27. Tenenbaum, R.A., Melo, V.S.G., Camilo, T.S., Pimentel, I.A. Aperfeiçoamento do software RAIOS para simulação numérica de acústica de salas com inclusão de modelo modal para baixas frequências. *Anais do XXII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*, Belo Horizonte, 2008.
28. Naranjo, J.F.L., Tenenbaum R.A. e Torres, J.C.B. Aurilização de salas a partir do código computacional RAIOS. *Anais do XXIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*, Salvador, 2010.
29. Torres, J.C.B., Petraglia, M.R., Tenenbaum, R.A. Aurilização em acústica de salas – Parte 1: compactação de HRTFs utilizando wavelets. *Anais do XX Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*, Rio de Janeiro, 2002.
30. Torres, J.C.B., Petraglia, M.R., Tenenbaum R.A. Aurilização em acústica de salas – Parte 2: redução do número de HRTFs por agrupamento de direções. *Anais do XX Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*, Rio de Janeiro, 2002.
31. Naranjo, J.F.L., Pinto, F., Tenenbaum R.A. and Torres, J.C.B. Acoustic simulator for urban noise analysis. *Anais do 30^o Congresso Ibero-Latino-Americano de Métodos Computacionais em Engenharia*, Armação de Búzios, 2009.
32. Naranjo, J.F.L., Tenenbaum, R.A. and Torres, J.C.B. Using artificial neural networks to generate virtual acoustic reality applied on escape training in blind conditions. *International Review of Chemical Engineering*, 2(6): 754–759, November 2010.
33. Naranjo, J.F.L. and Tenenbaum, R.A. Computing binaural impulse responses using artificial neural networks. *Anais do XIII Encontro de Modelagem Computacional*, Nova Friburgo, 2010.
34. Naranjo, J.F.L., Tenenbaum, R.A. y Torres, J.C.B. Cómputo de las respuestas impulsivas biauriculares usando redes neurales artificiales. *Anales de las Jornadas de Ingeniería de Sonido y Acústica*, Quito, 2011.
35. Naranjo, J.F.L., Tenenbaum, R.A. and Torres, J.C.B. Computing binaural impulse response components using artificial neural networks. *Proceedings of the 18th International Congress of Sound and Vibration*, Rio de Janeiro, 2011.
36. Naranjo, J.F.L., Tenenbaum, R.A. and Torres, J.C.B. Using artificial neural networks to generate virtual acoustic reality applied on escape training in blind conditions. *Proceedings of the 21th International Congress of Mechanical Engineering*, Natal, 2011.
37. Naranjo, J.F.L., Tenenbaum, R.A. and Torres, J.C.B. Optimum ANN Architecture for HRIR Interpolation. In: *Horizons in Computer Science Research*, Chapter 5, Volume 15. Nova Science Publishers, pp. 121–144, 2017.
38. Naranjo, J.F.L., Tenenbaum, R.A., Ortega G. y Chávez O. Uso de la herramienta computacional RAIOS para la implementación de un módulo para visualización de la densidad de energía acústica de un recinto, *Revista de Sonido y Acústica*, Vol. 3, pp. 27–34, 2012.
39. Naranjo, J.F.L., Tenenbaum, R.A., Jácome, E. y Mantilla, J. Realidad virtual acústica via redes neuronales artificiales, *Revista de Sonido y Acústica*, Vol. 3, pp. 43–52, 2012.
40. Naranjo, J.F.L., Tenenbaum, R.A. and Torres, J.C.B. Acoustic quality parameters used for error evaluation of neural networks modeling for HRIRs applied to escape training in blind conditions. *International Review of Chemical Engineering*, 5(6): 394–399, 2013.
41. Naranjo, J.F.L., Tenenbaum, R.A. y Torres, J.C.B. Realidad virtual acústica: el abordaje de las redes neuronales artificiales. *Latin-American Journal of Computing*, (online), 2(1): 21–26, 2015.

42. Naranjo, J.F.L., Tenenbaum, R.A., Paz, H.P., Morales, L.A. and Jarrin, C.E.I. 3D Sound applied to the design of assisted navigation devices for the visually impaired. *Latin-American Journal of Computing*, 2(2): 49–60, 2015.
43. Naranjo, J.F.L., Tenenbaum, R.A., Ortega G. y Chávez O. Uso de la herramienta computacional RAIOS para la implementación de un módulo para la visualización de la densidad de energía acústica de un recinto. *Anales de las 3^{as} Jornadas de Ingeniería de Sonido y Acústica*, Quito, 2012.
44. Naranjo, J.F.L., Tenenbaum, R.A., Torres, J.C.B., Jácomea, E. y Mantilla, J. Realidad Virtual Acústica vía Redes Neuronales Artificiales. *Anales de las 3^{as} Jornadas de Ingeniería de Sonido y Acústica*, Quito, 2012.
45. Naranjo, J.F.L., Tenenbaum, R.A. and Torres, J.C.B. Auditory space discretization in artificial neural networks auralization. *Anais do XV Encontro de Modelagem Computacional e III Encontro de Ciência e Tecnologia de Materiais*, Uberlândia, MG, 2012.
46. Andrade, D.G., Tardin, P.L.J. e Tenenbaum, R.A. Aurilização em acústica de salas. *13^a Semana de Graduação da UERJ*, Rio de Janeiro, 2013.
47. Naranjo, J.F.L., Tenenbaum, R.A. and Torres, J.C.B. Accuracy validation of the ANN's interpolation technique through the use of acoustic quality parameters. *Anais do XVI Encontro de Modelagem Computacional e IV Encontro de Ciência e Tecnologia de Materiais*, Ilhéus, 2013.
48. Torres, J.C.B., Pelzer, S., Naranjo, J.F.L., Tenenbaum, R.A. and Vorländer, M. Binaural simulations and measurements in an optimized room acoustic test scenario. *Proceedings of the 40th Annual German Congress on Acoustics*, Oldenburg, 2014.
49. Corrêa Jr., C.A., Corrêa, R.A.P., Perru, L.F.P. e Tenenbaum, R.A. Uso de redes neurais artificiais para filtragem de ondas sonoras não radiantes em superfícies vibrantes. *Anais do XXXIV Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional*, Natal, 2014.
50. Torres, J.C.B., Pelzer, S., Tenenbaum, R.A. and Vorländer, M. Comparative study of two models for binaural acoustic simulation. *Proceedings of the 7th Forum Acusticum*, Krakow, 2014.
51. Barros, T.M.S.M., Tenenbaum, R.A. Corrêa Jr, C.A. e Ferreira, V.L.D. Redes neurais artificiais aplicadas à determinação do tamanho ótimo de malha para o cálculo da intensidade útil. *Anais do XXV Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*, Campinas, 2014.
52. J.F.L. Naranjo, R.A. Tenenbaum e J.C.B. Torres. Realidade virtual acústica: a abordagem das redes neurais artificiais. *Anais do XXV Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*, Campinas, 2014.
53. L.F.P. Perrú, C.A. Corrêa Jr, R.S. Souza, R.A.P. Corrêa, R.A. Tenenbaum and T.M.S.M. Barros. Analysis of the application of RNAs in choice of mesh size for the calculation of useful intensity. *Anais do XVII Encontro de Modelagem Computacional e V Encontro de Ciência e Tecnologia de Materiais*, Petrópolis, 2014.
54. L.F.P. Perrú, C.A. Corrêa Jr., R.A.P. Corrêa and R.A. Tenenbaum. Study of truncation point via artificial neural networks for the computation of the useful intensity in plates. *Proceedings of the XXXV Ibero-Latin American Congress on Computational Methods in Engineering*, Fortaleza, 2014.
55. R.A. Tenenbaum, V.S.G. Melo, J.F.L. Naranjo and L.R. Santos. Articulation Index used as a metrics to validate acoustic virtual reality. *Proceedings of the 22nd International Congress on Sound and Vibration*, Florença, 2015.
56. L.R. Santos, T.C. Santos, M.H.S. Siqueira, F.O. Taminato e R.A. Tenenbaum. Validação de realidade virtual acústica via testes de articulação: uma abordagem experimental. *Anais do XVIII Encontro Nacional de Modelagem Computacional e VI Encontro de Ciência e Tecnologia de Materiais*, Salvador, 2015.
57. R.A. Tenenbaum, V.S.G. Melo, F.O. Taminato, T.C. Santos. Validating auralizations by using articulation indexes. *Proceedings of the 2016 International Congress on Acoustics*, Buenos Aires, 2016.
58. R.A. Tenenbaum, F.O. Taminato, P.G. Lima, T.O. Roxo. Aurilização em salas: o Round-Robin 4 sob a perspectiva de um dos participantes. *Anais do 2^o Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*, Brasília, 2017.
59. R.A. Tenenbaum, V.S.G. Melo, C.L. Marques. Acústica Aplicada: um curso on-line em acústica para graduandos de engenharia mecânica. *Anais do 2^o Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*, Brasília, 2017.
60. Baptista, F.O. Taminato, R.A. Tenenbaum. Hibridização e regularização aplicadas à identificação de danos em estruturas esbeltas com um algoritmo de propagação de ondas acústicas. *Anais do 2^o Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*, Brasília, 2017.

61. Taminato, F.O., e Tenenbaum, R.A. Uso de redes neurais artificiais na modelagem das respostas impulsivas associadas à cabeça humana. *Anais do XX Encontro Nacional de Modelagem Computacional e VII Encontro de Ciência e Tecnologia de Materiais*, Nova Friburgo, 2017.
62. Lindau A., Erbes V., Lepa S., Maempel H.J., Brinkmann F., Weinzierl S. A spatial audio quality inventory for virtual acoustic environments (SAQI). *Acta Acustica united with Acustica*, 100(5):984–94, 2014.
63. Tenenbaum, R.A., Melo, V.S.G. and Naranjo, J.F.L. Virtual reality: A new approach to validate computer modeling auralizations by using articulation indexes. In: *Virtual Reality: Technologies, Medical Applications and Challenges*. Nova Science Publishers, New York, ISBN 978-63321-933-5, pp. 55–71, 2014.
64. Melo, V.S.G., Tenenbaum R.A. e Musafir, R.E. Avaliação de inteligibilidade em salas de aula do ensino fundamental a partir das respostas impulsivas biauriculares obtidas com cabeça artificial infantil. *Acústica & Vibrações*, 44, pp. 51–56, 2012.
65. Melo, V.S.G., Tenenbaum R.A. e Musafir, R.E. Modelos biauriculares: realidade virtual acústica aplicada à avaliação de inteligibilidade da palavra em salas de aula do ensino fundamental utilizando cabeças artificiais infantis. *Anais do XV Encontro de Modelagem Computacional e III Encontro de Ciência e Tecnologia de Materiais*, Uberlândia, 2012.
66. Melo, V.S.G., Tenenbaum R.A. and Musafir, R.E. Intelligibility assessment in elementary school classrooms by using binaural room impulse responses of a small dummy head. *19th International Congress of Sound and Vibration*, Vilnius, 2012.
67. Melo, V.S.G., Tenenbaum R.A. e Musafir, R.E. Avaliação de inteligibilidade em salas de aula do ensino fundamental a partir de respostas impulsivas biauriculares obtidas com cabeça artificial infantil. *Anais do XXIV Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*, Belém, 2012.
68. Melo, V.S.G., Tenenbaum R.A. and Musafir, R.E. Intelligibility assessment in elementary school classrooms from binaural room impulse responses measured with a childlike dummy head. *Applied Acoustics*, 74, pp. 1436–1447, 2013.
69. Melo, V.S.G., Tenenbaum R.A. e Musafir, R.E. Método para avaliação de inteligibilidade em salas de aula do ensino fundamental a partir de respostas impulsivas biauriculares e testes virtuais. *Anais do XXV Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*, Campinas, 2014.
70. Melo, V.S.G., Tenenbaum R.A. and Naranjo, J.F.L. A new approach to validate computer modeling auralizations by using articulation indexes. *Acústica & Vibrações*, 46, pp. 1–8, 2014.
71. Melo, V.S.G., Tenenbaum R.A. and Naranjo, J.F.L. A new approach to validate computer modeling auralizations by using articulation indexes. *Anais do XXV Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, Campinas, SP*, 2014. (Premiado como o melhor trabalho do congresso.)
72. Tenenbaum, R.A., Taminato, F.O., Melo, V.S.G. and Santos, T.C. Validating auralizations by using articulation indexes. *POMA (Published by the Acoustical Society of America)*, 28(1), pp. 1–10, 2017.
73. Melo, V.S.G., Lima, P.G., Santos, T.C. e Tenenbaum, R.A. Validação de realidade virtual acústica via testes de articulação em salas ruidosas e reverberantes. *Acústica & Vibrações*, 49, pp. 51–57, 2017.
74. Lima, P.G., Santos, T.C., Melo, V.S.G. e Tenenbaum, R.A. Validação de realidade virtual acústica via testes de articulação. *Anais do 27^o Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*, Brasília, 2017.
75. Lima, P.M., Taminato, F.O., Melo, V.S.G. e Tenenbaum, R.A. Auralização gerada a partir de modelagem das HRIRs com redes neurais artificiais e sua validação utilizando testes de articulação. *I Simpósio Fluminense de Acústica*, Rio de Janeiro, 2017.
76. Tenenbaum, R.A., Taminato, F.O., Melo, V.S.G. and Torres, J.C.B. Auralization generated by modeling HRIRs with artificial neural networks and its validation using articulation tests. *Applied Acoustics*, 130, pp. 260–269, 2018.
77. Taminato, F.O. e Tenenbaum, R.A. Construção das respostas impulsivas biauriculares em salas através de redes neurais artificiais. *Anais do XXVIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*, Porto Alegre, 2018.
78. Soares, M.C., Taminato, F.O., Lima, P.G., Roxo, T.O., Assis, T.P. e Tenenbaum, R.A. Estudo comparativo entre as respostas impulsivas biauriculares simuladas e medidas para distintas rotações da cabeça sobre o torso. *Anais do XXVIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*, Porto Alegre, 2018.

79. Lima, P.G., Santos, T.C., Melo V.S.G., Taminato, F.O., Naranjo, J.F.L. e Tenenbaum, R.A. Medição e diagnóstico acústico do teatro do colégio Anchieta. *Anais do XXVIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*, Porto Alegre, 2018.
80. Brinkmann, F., Lindau, A., Weinzierl, S., Van De Par, S., Trapet, M.M., Opdam, R. and Vorländer, M. A high resolution and full-spherical head-related transfer function database for different head-above-torso orientations. *J. Audio Engin. Society*, 65(10): 841—848, 2017.
81. ISO 3382: 1997. Acoustics – Measurements of reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters, 1997.
82. ISO/CD: 3382-1: 2004. Measurements of the reverberation time – Part 1: Performance spaces, 2004.
83. ISO/WD: 17487. Acoustics – Measurement of the sound scattering properties of surfaces, 2001.
84. ISO 17497-1: 2004. Acoustics – sound-scattering properties of surfaces – part 1: measurement of the random-incidence scattering in a reverberant room, 2004.
85. Beranek, L. *Concert Halls and Opera Houses: How they Sound*. Acoustical Society of America, Woodbury, 1996.
86. Bass, H.E., Sutherland, L.C., Zuckerwar, A.J., Blackstock, D.T. and Hester, D.M. Atmospheric absorption of sound: Further developments. *J. Acous. Soc. Am.* 97:680—683, 1995.