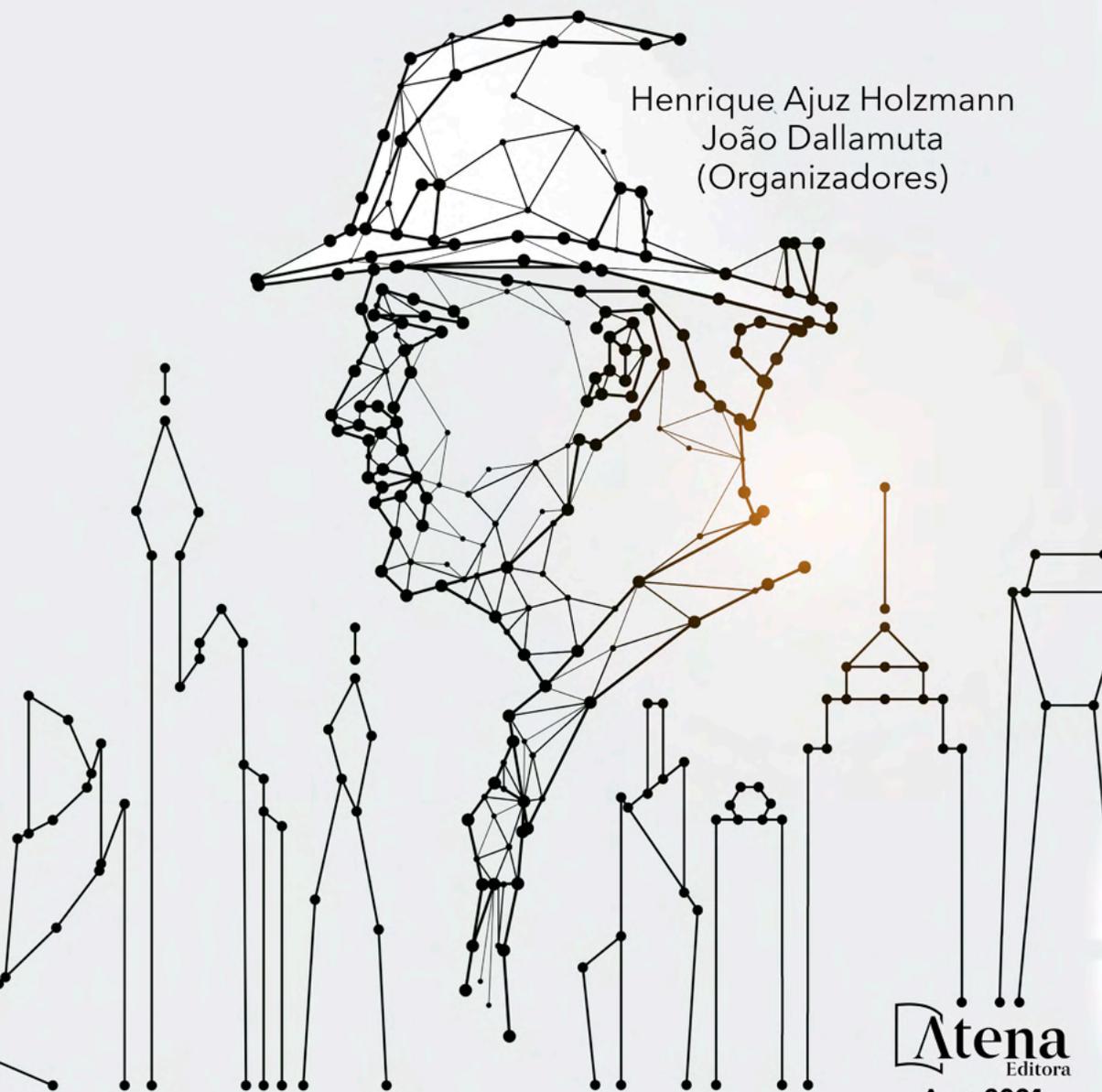


Engenharias:

da genialidade à profissão e
seu desenvolvimento

2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora

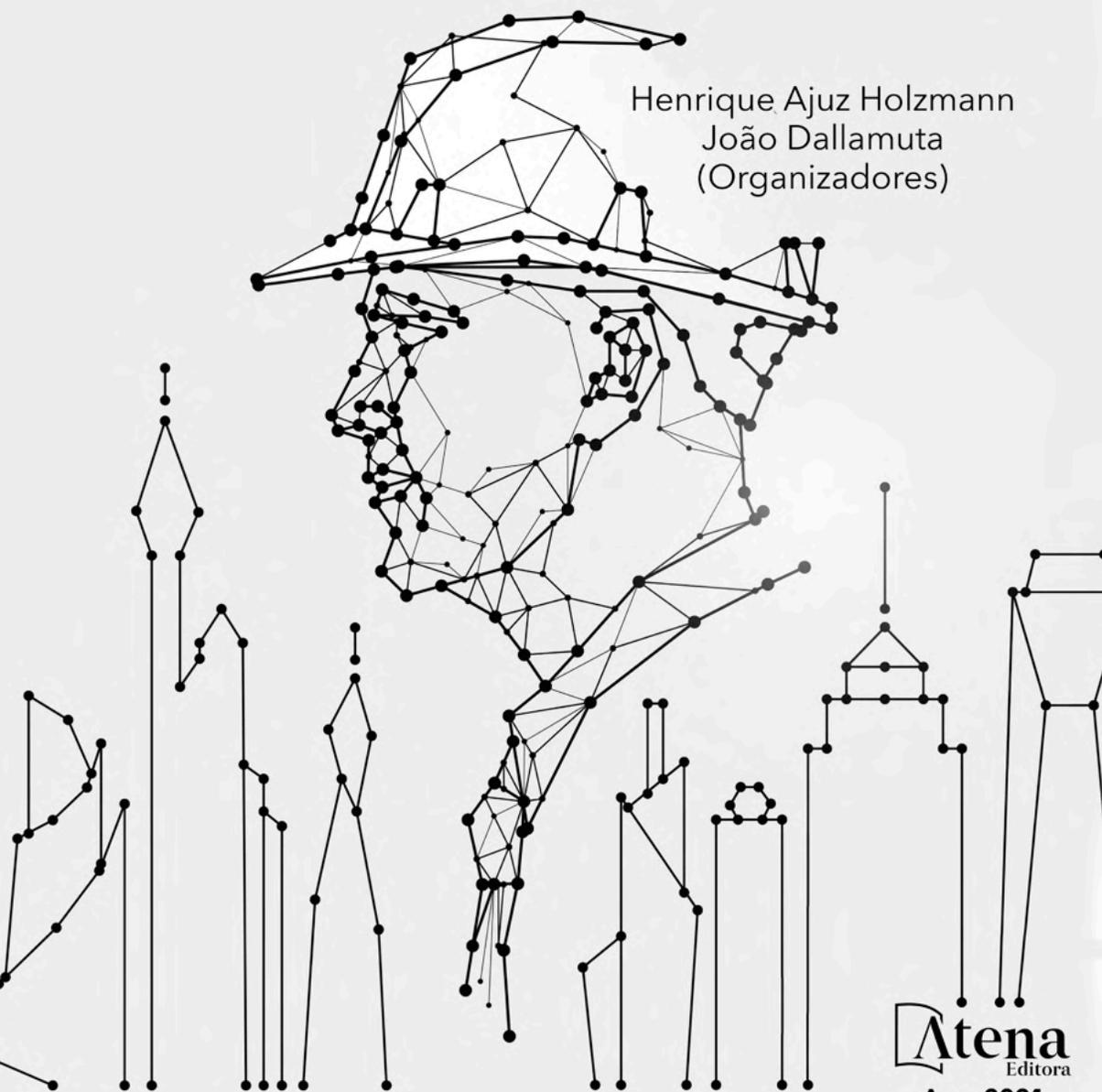
Ano 2021

Engenharias:

da genialidade à profissão e
seu desenvolvimento

2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora

Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Engenharias: da genialidade à profissão e seu desenvolvimento 2

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Bruno Oliveira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadores: Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia: da genialidade à profissão e seu desenvolvimento 2 / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2020.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5983-624-6
DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.246211811>

1. Engenharia. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. Título.
CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

APRESENTAÇÃO

O ramo das engenharias veem ganhando cada vez mais espaço no decorrer dos anos, sendo hoje um dos principais pilares para o setor empresarial. Analisar os campos de atuação, bem como pontos de inserção e melhoria dessa desta área é de grande importância, buscando desenvolver novos métodos e ferramentas para melhoria continua de processos.

Desta forma estudar temas relacionados a engenharia é de grande importância, pois desta maneira pode-se aprimorar os conceitos e aplicar os mesmos de maneira mais eficaz. O aumento no interesse se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral. Além disso a busca pela otimização no desenvolvimento de projetos, leva cada vez mais a simulação de processos, buscando uma redução de custos e de tempo.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de engenharia, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISE MODAL E REPRESENTAÇÃO MUSICAL APLICADAS AO DESIGN DE ESTÚDIOS DE PRODUÇÃO FONOGRÁFICA

José Augusto Mannis

Tiago Ferreira Mattos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2462118111>

CAPÍTULO 2..... 33

A REVOLUÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 E OS PASSOS PARA SUA APLICAÇÃO NA MINERAÇÃO

Rafaela Baldi

Karina Livia Ribeiro Vieira

Mariana Ivo Machado Fernandes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2462118112>

CAPÍTULO 3..... 44

CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DAS ROCHAS ENCAIXANTES DA CAMADA DE CARVÃO BARRO BRANCO DA BACIA CARBONÍFERA SUL-CATARINENSE

Clovis Gonzatti

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2462118113>

CAPÍTULO 4..... 73

REAPROVEITAMENTO DE FINOS DE PEDREIRAS: A UTILIZAÇÃO DO PÓ DE ROCHA COMO REMINERALIZADOR DE SOLO

Ana Olivia Barufi Franco-Magalhães

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2462118114>

CAPÍTULO 5..... 80

BIODIGESTÃO DE POME COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA E AMBIENTAL EM PLANTA DE PRODUÇÃO DE ÓLEO DE PALMA

Daniel Dominguez Carvajal

Ana Marcela Mosquera Mena

John Alejandro Ruiz

Francisco José Molina Pérez

Carlos Alberto Peláez Jaramillo

Mariana Peñuela Vásquez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2462118115>

CAPÍTULO 6..... 88

AULA PRÁTICA DE MONTAGEM DE UMA UNIDADE SANITÁRIA DE PLÁSTICO RECICLADO RELATO DE EXPERIÊNCIA

Maria Aridenise Macena Fontenelle

Thaís Russiely Guedes Martins

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2462118116>

CAPÍTULO 7..... 98

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA LAGOA DO COLOSSO, MUNICÍPIO DE FORTALEZA, CEARÁ: CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO INSTITUTO FEDERAL DO CEARÁ - IFCE

Georgia Kelly Terto Galvao

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2462118117>

CAPÍTULO 8..... 104

MEASUREMENTS OF GAMMA, NEUTRONS, RAINFALLS, AND POSSIBLE CORRELATIONS IN TROPICAL REGION OF BRAZIL

Inacio Malmonge Martin

Mauro Angelo Alves

Marcelo Pêgo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2462118118>

CAPÍTULO 9..... 111

APLICAÇÃO DO DESACOPLAMENTO ENTRE MALHAS DE CONTROLE EM REATOR CONTÍNUO DE TANQUE AGITADO (CSTR)

Mário Luiz Pereira Souza

Emilly Damiani Nunes Prates

Saulo Fernando dos Santos Vidal

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2462118119>

CAPÍTULO 10..... 126

GESTÃO DE FADIGA DE OPERADORES DE CAMINHÕES FORA DE ESTRADA: ESTUDO DE CASO EM UMA MINA A CÉU ABERTO

Pedro Henrique Evangelista Porto

Samuel Lourival Diamantino

Leandro Geraldo Canaan Silveira

Eduardo Augusto Malta

Juliano Alves dos Reis

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.24621181110>

CAPÍTULO 11..... 136

CHARACTERISTICS OF Pb²⁺ DOPED CsI MATRIX UNDER GAMMA AND NEUTRON EXCITATIONS

Maria da Conceição Costa Pereira

Tufic Madi Filho

José Roberto Berretta

Lucas Faustino Tomaz

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.24621181111>

CAPÍTULO 12..... 148

OTIMIZAÇÃO DO SABOR DE UMA BEBIDA UTILIZANDO O MÉTODO DE TAGUCHI

Matheus Sousa Garreto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.24621181112>

CAPÍTULO 13.....	161
INTERLIGANDO O CICLISMO	
Alexandre Passos Pagin	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.24621181113	
CAPÍTULO 14.....	165
PERCEÇÃO DOS EGRESSOS SOBRE A QUALIDADE DOS CURSOS DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE – UPM	
Leila Figueiredo de Miranda	
Terezinha Jocelen Masson	
Antonio Hortêncio Munhoz Jr.	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.24621181114	
SOBRE OS ORGANIZADORES	178
ÍNDICE REMISSIVO.....	179

CAPÍTULO 1

ANÁLISE MODAL E REPRESENTAÇÃO MUSICAL APLICADAS AO DESIGN DE ESTÚDIOS DE PRODUÇÃO FONOGRÁFICA

Data de aceite: 01/11/2021

Data de submissão: 20/09/2021

José Augusto Mannis

Universidade Estadual de Campinas
(Unicamp), Instituto de Artes, Depto. de Música,
Laboratório de Acústica e Artes Sonoras
(LASom)
Campinas – SP
<http://lattes.cnpq.br/6940068973325101>
<https://orcid.org/0000-0002-9484-5674>

Tiago Ferreira Mattos

Estúdio Codimuc
Taubaté, SP
Brooks Acoustics Corp
Vernon, CT, EUA

RESUMO: Este trabalho relata e desenvolve uma análise acústica realizada em 2015, apresentando a fundamentação teórica e a metodologia adotada; discutindo resultados obtidos e apontando para novas perspectivas de pesquisa. Como métodos inovadores destacam-se a análise do comportamento modal em acústica de salas pelo *Critério de Bonello* a partir de resultados obtidos por simulação por elementos finitos; a inclusão de representação musical para dar mais visibilidade a imagens mentais próprias à escuta humana. Medições acústicas realizadas nas duas salas simuladas, depois de construídas e devidamente instaladas de mobiliário e equipamentos, permitiram estender a análise a

outros aspectos de interesse como a disposição dos monitores de áudio. Este estudo é uma segunda versão revisada de palestra ministrada 14º Congresso de Engenharia de Áudio realizado pela Sociedade Brasileira de Engenharia de Audio (AES Brasil) em maio de 2016, em São Paulo sendo originalmente publicada nos Anais¹ deste evento.

PALAVRAS-CHAVE: Acústica de salas; Conforto ambiental; Engenharia de áudio; Estúdio de produção fonográfica; Sala de audição crítica.

MODAL ANALYSIS AND MUSICAL REPRESENTATION APPLIED TO AUDIO RECORDING STUDIO DESIGN

ABSTRACT: This work describes and develops an acoustic analysis carried out in 2015, presenting a theoretical foundation and the methodology adopted; discussing the results obtained and pointing to new research perspectives. As innovative methods, the analysis of modal behaviour in room acoustics using the Bonello Criteria from results obtained by finite element simulation results are highlighted; the inclusion of musical representation give us more visibility to mental images proper to human listening. Acoustic measurements carried out in the two simulated rooms, after building and properly installed furniture and equipment, allowed the analysis to be extended to other aspects of interest such as the arrangement of audio monitors. This study is a second revised version of a lecture given 14th Congress of Audio Engineering conducted by the Brazilian Society of Audio Engineering (AES Brazil) in May 2016 in Sao Paulo and originally

1 http://aesbrasil.org.br/wp-content/uploads/2018/anais/Anais_AESBR2016.pdf

published in the Proceedings of the event.

KEYWORDS: Room acoustics; Environmental comfort; Audio engineering; Phonographic production studio; Critical listening room.

1 | INTRODUÇÃO

Os comprimentos de onda das baixas frequências que caracterizam as salas são comparáveis às suas próprias dimensões. Isso significa que temos muito mais frentes de onda que se deslocam, do que raios acústicos. Segundo Gerges, a teoria de geometria ou raio acústico é inadequada para estudar o comportamento acústico de salas para baixas frequências. A mais adequada é a teoria da análise modal, na qual a sala pode ser tratada como um ressonador complexo comportando vários modos acústicos, cada um com uma frequência característica de ressonância e amortecimento (GERGES, 2000). Os modos de vibração em acústica de salas estão especificamente vinculados às ondas estacionárias que se estabelecem em seu volume interior única e exclusivamente por propagação aérea. Existem três tipos de modos característicos de uma sala retangular: (1) *Modos Axiais*, referentes a ondas estacionárias resultantes da propagação na direção de uma única linha, ou melhor, reta, portanto, entre superfícies paralelas. Se a sala for perfeitamente retangular e a origem estiver num de seus vértices, os modos axiais se alinharão aos eixos (x , y e z); (2) *Modos Tangenciais*, referentes a ondas estacionárias que se estabelecem pela propagação sonora em duas direções, seguindo não mais uma linha, mas agora um plano definido por duas retas, como por exemplo os planos xy , xz e yz ; (3) *Modos Oblíquos* nos quais as ondas estacionárias resultam de propagações nas três direções ao mesmo tempo.

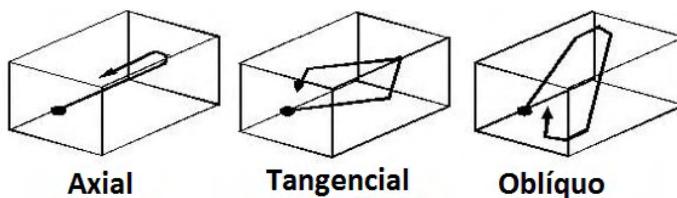


Figura 1 - Modos de vibração de uma sala produtos do percurso de propagação de ondas estacionárias em relação à geometria da sala: (1) Axial – em uma única direção, portanto em uma reta (eixo da sala); (2) Tangencial – em um plano: propagação paralela à superfícies de seu contorno; (3) Oblíquo – propagação em todas as direções (EVEREST, 1988).



Figura 2 - Alturas musicais (C, D, E, F, G A, B – do, ré, mi, fá, sol, lá, si) com as respectivas alterações: sustenido (#) um semitom acima; bemol (b) um semitom abaixo; bequadro (♮) cancela cada um dos anteriores.

As alturas musicais inscritas em pentagrama nas representações empregadas neste trabalho, não se referem a nenhum sinal gerado por fonte sonora, mas apenas a potências de ressonâncias que somente ocorrerão mediante a incidência de ondas sonoras com frequências correspondentes.

Cabe aqui ainda explicitar a distinção a ser feita nas áreas de conhecimento de acústica, psicologia e afins entre os conceitos de *frequência*, grandeza atribuída a uma característica da onda sonora enquanto fenômeno físico, e *altura*, sensação produto de um fenômeno da percepção. Cada um desses conceitos remete, portanto, a uma instância distinta. O primeiro refere-se a um fenômeno físico externo que se pretende observar, enquanto o segundo, a um fenômeno subjetivo, na instância do observador, como uma sensação que se apresenta à sua consciência. Portanto atenção para que a associação de alturas aos modos de vibração de uma sala não induza ninguém a ter a equivocada ideia de que uma sala possa gerar sons de alguma maneira. Salas por si não geram sons, elas simplesmente soam e ressoam. Os modos de vibração de uma sala farão com que determinadas ondas sonoras permaneçam ressoando por mais tempo do que outras, simplesmente porque sua conformação geométrica favorece em alguns casos encontros de máximos e mínimos de pressão que se somam, e em outros cancelamentos entre máximos e mínimos que tendem a ocorrerem no mesmo lugar. Por essa simples razão é que o principal elemento de design acústico de uma sala é antes de tudo a cuidadosa definição de suas proporções, ou seja, seu volume em um contorno geral delineado, harmonizando altura, largura e profundidade.

Nomenclatura dos modos: Os modos obtidos na simulação de cada sala estão ordenados de *M001* a *M200*. Os modos axiais entre teto e piso levam a letra *H* acompanhada de um número *n* referente à sua ordem: *H1* (primeiro Modo Axial entre teto e piso).

2 | METODOLOGIA

A análise modal deste estudo não foi realizada a partir de predição dos modos

inferida sobre uma superfície regular com faces paralelas (SRP), um paralelepípedo, com dimensões totais médias de largura (L_x), profundidade (L_y) e altura (L_z), mas através de um aplicativo de elementos finitos simulando o comportamento dos modos de vibração de um volume de ar contido no contorno de uma superfície irregular (SIR) com admitância nula, ou seja, considerando todas as superfícies como totalmente reflexivas. O método a partir das dimensões medidas consiste por exemplo em obter um contorno equivalente como na figura a seguir, compensando as irregularidades da superfície de contorno equilibrando os pontos além e aquém da linha média, mantendo a área e o volume constantes.

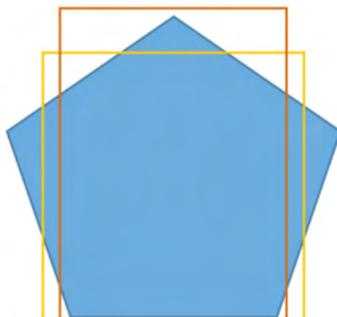


Figura 3 – Exemplo de duas tentativas de soluções de contornos médios, cada um reduzido a dois pares de linhas paralelas, buscando equilibrar as áreas que excedem e as que faltam em relação à figura inicial, de maneira a que se chegue a uma área equivalente.

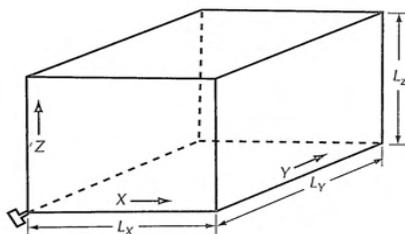


Figura 4 – Modelo de sala retangular (paralelepípedo) de referência para compreensão dos Modos Normais de Vibração de uma sala. (DAVIS, 2006, p. 180)

Uma vez obtidas as três dimensões médias da sala L_x , L_y e L_z , os modos de vibração no volume de ar no interior do contorno médio é dado, como proposto por Davis (2006), por

$$f_N = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{N_x}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{N_y}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{N_z}{L_z}\right)^2}$$

Equação 1

Sendo,

c , a velocidade de propagação do som

N_x , N_y e N_z são números inteiros a partir de 0, 1, 2, 3...

O diferencial significativo do presente método, baseado em simulação em aplicativo de elementos finitos, está em lidar diretamente com modos efetivos que se verificam na sala, e não com modos de um modelo aproximado como o que acabou de ser exposto logo acima.

3 I PREPARAÇÃO DOS DADOS PARA SIMULAÇÃO

Realizamos a análise modal de dois projetos de salas de controle de áudio multicanal denominados *Sala de controle de áudio A* e *Sala de controle de áudio B*, com as seguintes características:

	x	y	z
P01	0,99	0	0
P02	5,71	0	0
P03	6,70	2,41	0
P04	4,86	6,70	0
P05	1,84	6,70	0
P06	0	2,41	0
P07	0,99	0	3,56
P08	5,71	0	3,56
P09	6,70	2,41	3,56
P10	4,86	6,70	3,56
P11	1,84	6,70	3,56
P12	0	2,41	3,56

Área: 34,6 m²

Perímetro: 22,3 m

Área total: 148,6 m²

Volume: 123,2 m³

Tabela 1 – Coordenadas (em metros) dos vértices localizados na estrutura de alvenaria de cada sala (pisos, paredes e laje) da Sala de controle de áudio A

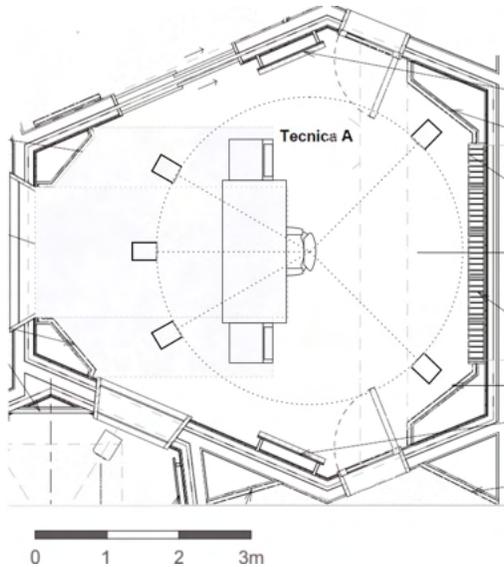


Figura 5 - Planta baixa da Sala A.

	x	y	z
P01	0	0	0
P02	6,54	0	0
P03	6,54	1,63	0
P04	6,04	4,63	0
P05	0,50	4,63	0
P06	0	1,63	0
P07	0	0	2,95
P08	6,54	0	2,95
P09	6,54	1,63	2,95
P10	6,04	4,63	2,95
P11	0,50	4,63	2,95
P12	0	1,63	2,95

Área: 28,7 m²

Perímetro: 21,4 m

Área total: 120,5 m²

Volume: 84,7 m³

Tabela 2 - Coordenadas (em metros) dos vértices localizados na estrutura de alvenaria de cada sala (piso, paredes e laje) da Sala de controle de áudio B

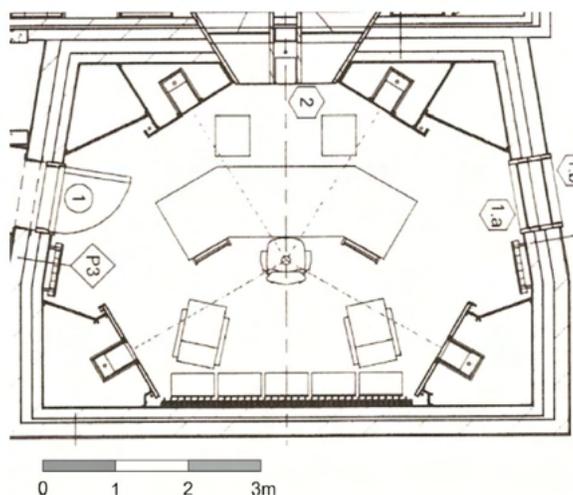


Figura 6 – Planta baixa da Sala B.

Pressão de referência	$2 \cdot 10^{-5}$ Pa
Densidade do ar	$1,2 \text{ kg/m}^3$
Temperatura do ar	21°C
Velocidade de propagação do som no ar	$343,78 \text{ m/s}$
Admitância da superfície de contorno	0 (zero)
Elemento da malha de elementos finitos ($\lambda_{\text{max}}/6$)	22 cm
Frequência máxima a ser considerada ($t = 21^\circ\text{C}$ $c = 343,78 \text{ m/s}$ $\lambda_{\text{max}} = 1,32 \text{ m}$)	262 Hz
Quantidade de modos extraídos	300
Frequência Inicial	10 Hz
Frequência Final	3000 Hz

Tabela 3 - Parâmetros aplicados para a análise modal - simulação em aplicativo de elementos finitos

4 | RESULTADOS, ANÁLISE E DISCUSSÃO

Os dados resultantes foram (1) uma listagem com os Modos ordenados de 1 a 300 e suas respectivas frequências; (2) plotagem em perspectiva compreendendo três dimensões da conformação da variação de pressão no volume de cada sala para cada um dos seus modos. Foram desconsiderados os modos com frequência acima da frequência máxima, sendo esta delimitada pelo elemento empregado para compor a malha estrutural (22 cm) que não deve exceder $1/6$ do comprimento de onda da onda estacionária simulada. Finalmente foram considerados os primeiros 270 modos da Sala A e 196 modos da Sala B.

2 Velocidade de propagação do som definida em função da temperatura conforme ISO 9613-1:1993 Acoustics — Attenuation of sound during propagation outdoors — Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere

SET	FREQ (Hz)		FREQ (Hz)		FREQ (Hz)
1	27,71	68	153,72	135	199,85
2	31,27	69	153,90	136	200,09
3	48,35	70	155,04	137	200,30
4	49,40	71	155,07	138	200,45
5	50,74	72	155,11	139	200,71
6	55,77	73	155,47	140	202,54
7	57,63	74	155,52	141	203,22
8	60,81	75	156,74	142	203,51
9	64,34	76	157,49	143	203,63
10	69,23	77	157,94	144	203,71
11	70,20	78	159,36	145	204,12
12	76,12	79	160,72	146	204,16
13	77,84	80	161,47	147	204,96
14	79,44	81	163,14	148	205,54
15	80,62	82	164,42	149	207,33
16	81,82	83	164,76	150	207,79
17	90,36	84	165,10	151	208,17
18	92,86	85	165,82	152	208,18
19	92,97	86	166,04	153	208,28
20	93,19	87	166,28	154	209,32
21	95,22	88	167,71	155	209,49
22	97,06	89	168,81	156	209,62
23	101,00	90	169,95	157	209,67
24	101,04	91	170,45	158	212,27
25	102,09	92	170,97	159	212,54
26	104,29	93	171,31	160	213,28
27	104,91	94	173,11	161	214,00
28	105,02	95	173,25	162	214,10
29	109,16	96	174,59	163	214,79
30	109,81	97	174,83	164	215,12
31	110,17	98	174,96	165	215,20
32	112,22	99	175,82	166	215,21
33	112,35	100	176,56	167	215,52
34	114,94	101	176,70	168	216,47
35	115,20	102	177,00	169	216,52
36	116,85	103	178,05	170	217,18
37	119,53	104	179,43	171	217,68
38	119,59	105	180,25	172	217,75
39	120,58	106	181,37	173	218,16
40	122,57	107	182,16	174	218,56

41	123,23	108	182,73	175	219,25
42	123,89	109	183,19	176	219,84
43	126,01	110	183,53	177	220,00
44	127,53	111	184,71	178	220,95
45	129,26	112	185,12	179	221,24
46	129,28	113	185,91	180	221,34
47	131,62	114	186,40	181	222,21
48	132,66	115	186,51	182	222,88
49	133,56	116	186,70	183	223,60
50	135,06	117	187,85	184	223,72
51	135,18	118	188,84	185	224,69
52	138,56	119	191,16	186	225,24
53	139,55	120	191,29	187	226,93
54	140,54	121	192,95	188	227,54
55	140,90	122	193,25	189	227,56
56	142,34	123	193,46	190	227,66
57	143,32	124	193,75	191	227,89
58	143,52	125	193,80	192	228,22
59	145,75	126	194,32	193	228,47
60	146,57	127	194,42	194	228,73
61	147,07	128	197,18	195	229,43
62	147,76	129	197,27	196	230,31
63	148,01	130	198,38	197	230,94
64	149,30	131	199,22	198	231,64
65	149,42	132	199,30	199	232,52
66	150,05	133	199,34	200	232,74
67	151,80	134	199,38		

Tabela 4 - Frequências dos 200 primeiros Modos de Vibração da Sala A obtidas na simulação

SET	FREQ (Hz)		FREQ (Hz)		FREQ (Hz)
1	27,55	68	172,92	135	226,40
2	37,47	69	173,03	136	226,61
3	47,31	70	173,09	137	227,28
4	54,85	71	173,56	138	227,57
5	58,38	72	177,29	139	228,77
6	64,60	73	177,83	140	229,00
7	68,31	74	180,14	141	229,79
8	69,46	75	180,70	142	230,84
9	74,86	76	181,80	143	231,16
10	75,27	77	182,01	144	232,82
11	79,52	78	182,30	145	232,97

12	80,27	79	182,66	146	233,10
13	81,81	80	184,55	147	236,01
14	90,07	81	184,75	148	236,61
15	93,37	82	186,70	149	236,91
16	94,41	83	187,28	150	237,01
17	95,20	84	187,78	151	238,08
18	98,92	85	189,35	152	238,53
19	100,77	86	190,01	153	238,71
20	108,37	87	190,36	154	238,96
21	110,43	88	191,39	155	239,00
22	111,33	89	191,80	156	240,02
23	111,81	90	191,92	157	240,25
24	112,22	91	192,07	158	240,60
25	116,76	92	192,95	159	240,73
26	117,43	93	194,16	160	240,83
27	120,73	94	195,19	161	241,79
28	121,64	95	196,02	162	242,18
29	123,45	96	197,00	163	243,42
30	123,46	97	197,22	164	244,33
31	125,09	98	198,12	165	244,60
32	126,50	99	198,71	166	244,63
33	126,92	100	198,77	167	244,73
34	126,92	101	199,41	168	245,27
35	130,00	102	199,70	169	245,69
36	130,95	103	201,05	170	245,73
37	135,17	104	202,37	171	245,82
38	135,35	105	202,40	172	246,57
39	136,41	106	202,51	173	247,16
40	136,62	107	202,93	174	247,71
41	138,46	108	203,03	175	250,29
42	139,97	109	204,82	176	250,87
43	140,27	110	205,91	177	250,99
44	142,58	111	206,92	178	252,49
45	143,90	112	207,07	179	253,13
46	147,70	113	210,20	180	253,28
47	149,01	114	210,85	181	253,36
48	149,53	115	211,06	182	254,05
49	150,42	116	212,21	183	254,53
50	150,97	117	212,72	184	254,95
51	151,70	118	213,63	185	255,12
52	152,39	119	214,59	186	255,27

53	153,29	120	215,03	187	255,47
54	157,81	121	215,23	188	255,89
55	160,92	122	215,55	189	259,47
56	161,02	123	217,85	190	260,02
57	161,93	124	218,00	191	260,04
58	162,26	125	218,31	192	260,45
59	162,32	126	219,28	193	260,55
60	162,90	127	219,33	194	261,39
61	163,42	128	220,23	195	261,69
62	163,82	129	220,79	196	261,78
63	164,54	130	224,07	197	262,29
64	167,01	131	225,40	198	262,31
65	168,79	132	225,86	199	262,73
66	170,51	133	226,21	200	263,77
67	172,49	134	226,26		

Tabela 5 - Frequências dos 200 primeiros Modos de Vibração da Sala B obtidas na simulação.

Everest (1988, p. 58-59) e Davis (1988, p. 343-344) citam os critérios desenvolvidos por Oscar Bonello (1979; 1979b; 1981), *Bonello Criteria*, para avaliação da qualidade acústica de uma sala no tocante a seus modos de vibração. Bonello prescreve a observação e análise da configuração e do comportamento dos modos de vibração de uma sala. O *Critério 1* verifica como os modos estão distribuídos, mais particularmente quanto à densidade modal em função da frequência. Para verificar a progressão da acumulação de modos, monta-se um diagrama contendo o número de frequências modais por banda de frequência de um terço de oitava e observa-se como o gráfico evolui. Se for progressivamente crescente, de forma regular, as frequências modais estarão com uma distribuição aceitável. Entretanto, se a linha for irregular, poderá haver problemas de coloração na resposta acústica da sala.

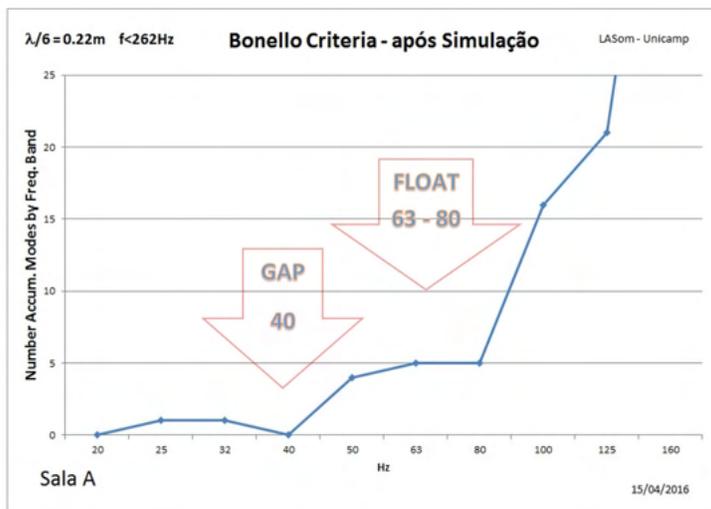


Figura 7 – Análise pelo Critério de Bonello das frequências dos Modos de Vibração da Sala A obtidas na simulação.

Na análise através do *Critério 1* de Bonello constata-se que a *Sala A* apresenta uma lacuna na densidade modal na banda de 40 Hz e uma forte contenção de progressão de densidade modal nas bandas de 63 e 80 Hz.

Na análise da *Sala B* pelo Critério de Bonello (*Figura 8*) temos uma progressão com uma falsa lacuna [FAUX GAP] em 32 Hz, portanto uma progressão contínua, havendo uma leve contenção na progressão da densidade modal na banda 80 Hz após a qual, de 90 a 180 Hz, ocorre uma retomada na progressão. A aparente ausência de modo na banda de 32 Hz corresponde a uma falsa lacuna, pois os modos iniciais estão em constante e regular progressão, tendo ocorrido de ter dois dos modos posicionados, um muito próximo, mas antecedendo o início da banda de 32 Hz e o seguinte, sucedendo imediatamente o final da mesma banda, conforme se observa na *Figura 10*.

Nesta análise de comportamento da progressão modal, empregaremos, dentre outros procedimentos, um método apresentado por Renato Cipriano na AES de 2010, infelizmente em palestra sem publicação, mas cujo processo consiste em distribuir os modos em um diagrama logarítmico de maneira a ter uma impressão mais próxima da sensação auditiva quanto à distribuição dos modos em função das alturas percebidas pelo ouvido humano, como apresentado em *Figura 9* e *Figura 10*.

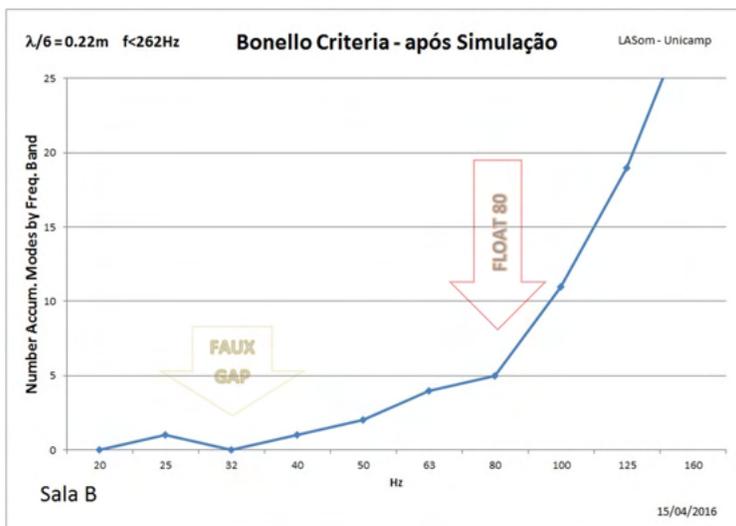


Figura 8 - Análise pelo Critério de Bonello das frequências dos Modos de Vibração da Sala B obtidas na simulação.

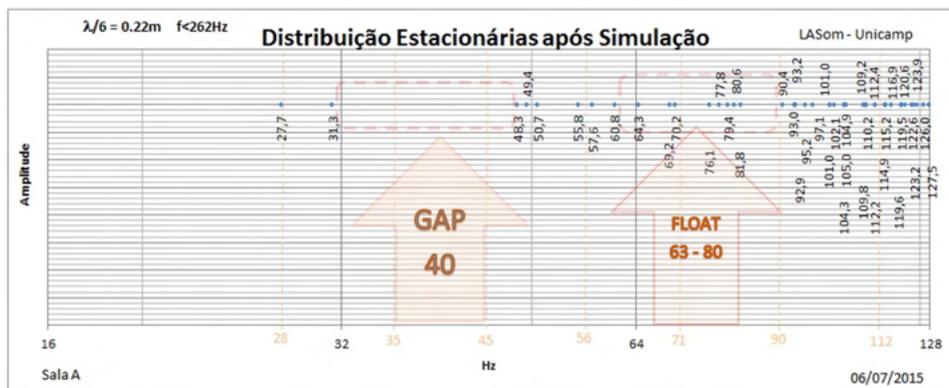


Figura 9 - Distribuição das frequências dos Modos de Vibração da Sala A (16 – 128 Hz) obtidas na simulação, plotadas em eixo logarítmico.

A Figura 9 explicita o vazio que se forma na região de 40 Hz [GAP 40] da Figura 7 bem como a progressão fortemente contida da acumulação de modos nas bandas de 63 e 80 Hz [FLOAT 63-80], aglutinando vários modos muito próximos um do outro em pequenos grupos, cercados por segmentos vazios, proporcionalmente iguais ou maiores que o próprio agrupamento.

Observando na Figura 10 como o ritmo dos modos representados pelos pontos que se acumulam progride regularmente, pode-se concluir que a lacuna em 32 Hz no gráfico da Figura 8 é unicamente produto de um efeito de fase entre o período das bandas e do passo de progressão modal, não reportando a uma irregularidade de progressão. Por efeitos como esse é sempre recomendável checar as possibilidades de predição de qualidade com

diversos métodos. Quando todos apontam para a mesma tendência é uma confirmação. Quando há contradições, aprofunda-se a verificação.

Discrepâncias como essa em relação à análise pelo Critério de Bonello ou ainda efeitos contrários ao expresso no gráfico de progressão de densidade modal encontrados na posição do *sweet spot* podem ser evidenciados somente após o exame das plotagens de pressão para cada modo resultantes da análise modal com simulação. Evidências sobre essas discrepâncias encontram-se no *item 4*, mais à frente.

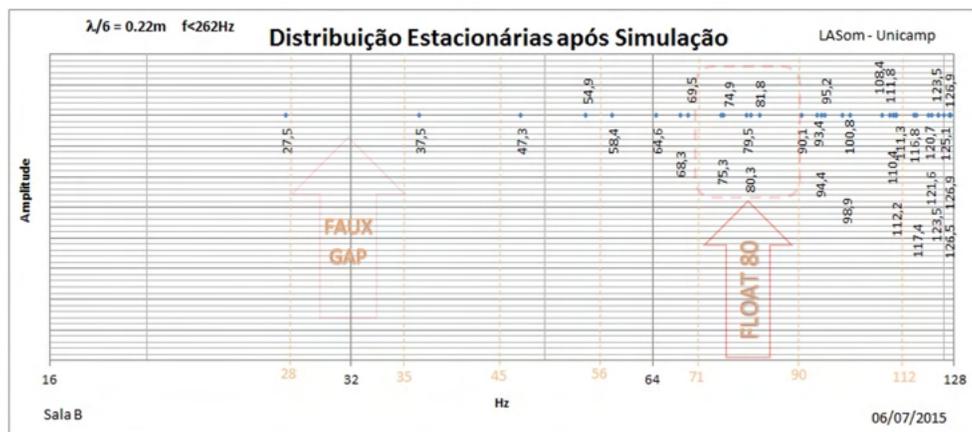


Figura 10 - Distribuição das frequências dos Modos de Vibração da Sala B (16 – 128 Hz) obtidas na simulação.

A *Sala B*, portanto, começa a progressão modal de maneira regular e suave, contrastando neste aspecto com o GAP 40 Hz, o FLOAT 63-80 e a retomada da progressão nas bandas de 90 a 180 Hz da *Sala A*, plotada na *Figura 11*, apresentando truncamentos irregulares em pequenos segmentos. Os agrupamentos inconstantes tendem a reforçar a intensidade nas frequências dos modos reunidos em detrimento de uma menor intensidade nas bandas de frequências vizinhas, proporcionalmente descobertas, sem a presença de modos. Razão pela qual a isso denominamos *flutuação*.

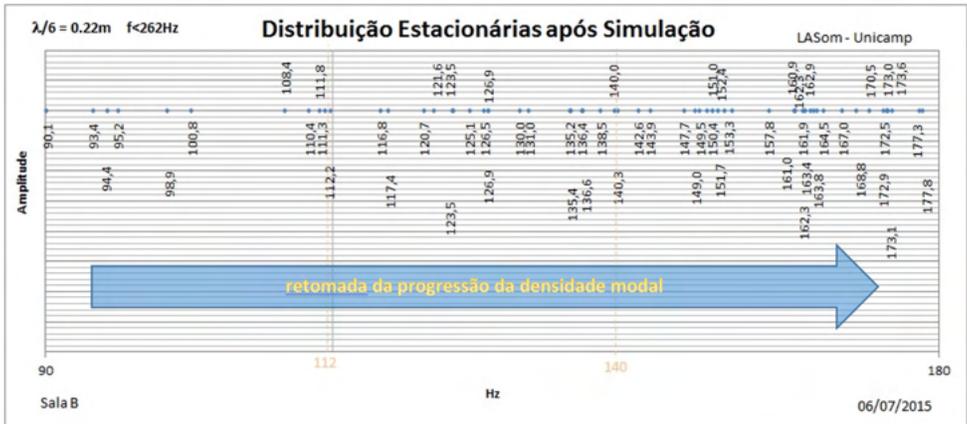


Figura 11 - Distribuição das frequências dos Modos de Vibração da Sala B (90 – 180 Hz) obtidas na simulação.

Buscando aproximar ainda mais a apresentação dos dados de maneira semelhante à sensação auditiva, as frequências dos modos foram convertidas em alturas musicais com precisão de 1/8 de tom³, através da comparação da frequência de cada modo com uma tabela de frequências com precisão de 1/16 de tom, sendo cada altura musical de referência centrada e compreendida num âmbito com intervalo de $\pm 1/16$ de tom.

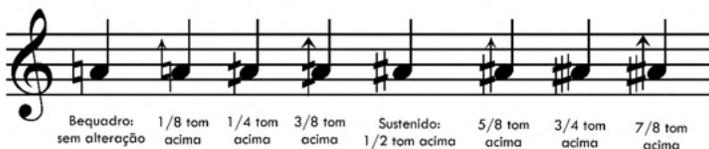


Figura 12 – Legenda da notação de alturas musicais em intervalos de 1/8 de tom. A nota de referência no pentagrama é um lá 3 (A4) 440 Hz.

3 O intervalo de 1/8 de tom é dado por uma razão entre frequências vizinhas, tal que $\frac{f_2}{f_1} = (1 + \sqrt[4]{2})$, sendo $f_2 > f_1$.

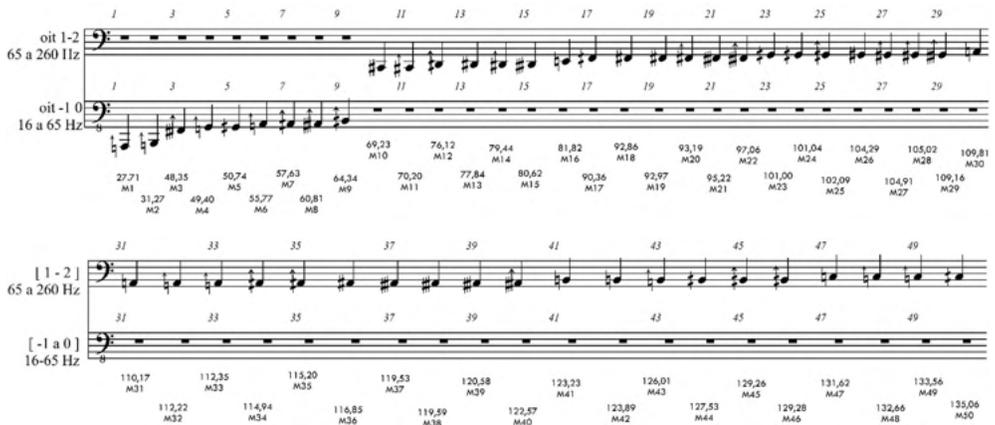


Figura 13 – Representação em notação musical dos 50 primeiros modos da Sala A. Abaixo de cada nota musical, a indicação da ordem do modo e sua respectiva frequência.

Contudo, apesar de nesta última representação ter havido um sensível e significativo ganho de precisão em alturas, a percepção das irregularidades de distribuição das frequências ficou menos clara do que estava na plotagem sobre eixo de frequência logarítmico (Figura 9, Figura 10, Figura 11). Com o intuito de torná-la novamente perceptível, atribuímos à posição das notas musicais sequenciadas no pentagrama não mais a ordem do modo (1, 2, 3...) cuja frequência lhe corresponde, mas uma progressão constante de alturas em intervalos de 1/8 de tom. Cada posição à direita de cada nota, está reservada para uma nota 1/8 de tom acima, de maneira que percorrendo horizontalmente o pentagrama temos as posições para todas as alturas ordenadas em sequência de 1/8 de tom. Porém, só estarão inscritas as notas cuja altura corresponder à frequência de um determinado modo encontrado na sala, caso contrário o espaço permanecerá vazio. Assim, nas posições em que houver uma nota inscrita, terá como significado que há um modo com a frequência correspondendo à altura anotada. Quando não houver nenhum modo a ser associado, o espaço permanece vazio, ou seja, com a representação musical de pausa (≡). Os espaços vazios no pentagrama corresponderão à progressão de frequências cujas ondas sonoras não serão influenciadas por ondas estacionárias. Além disso, acrescentamos à cada nota, sempre que possível, a imagem da plotagem de pressão correspondente a seu modo de vibração, conforme obtido na simulação.

É importante salientar que todas as zonas de máximos e mínimos de pressão mostradas nas plotagens produto da simulação são potências de respostas da sala, podendo ser mais ou menos evidenciadas em função do posicionamento dos monitores de áudio, como mostrado no item. Ou seja, todos os modos da sala aqui mapeados, podem ser excitados colocando fontes sonoras em várias posições, tendo uma resposta sonora em frequência diferente para cada posição. Porém é importante salientar que todas essas respostas serão derivadas da mesma estrutura modal da sala, representada pelo produto

do mapeamento, cujo processo está aqui apresentado e proposto como metodologia de análise.

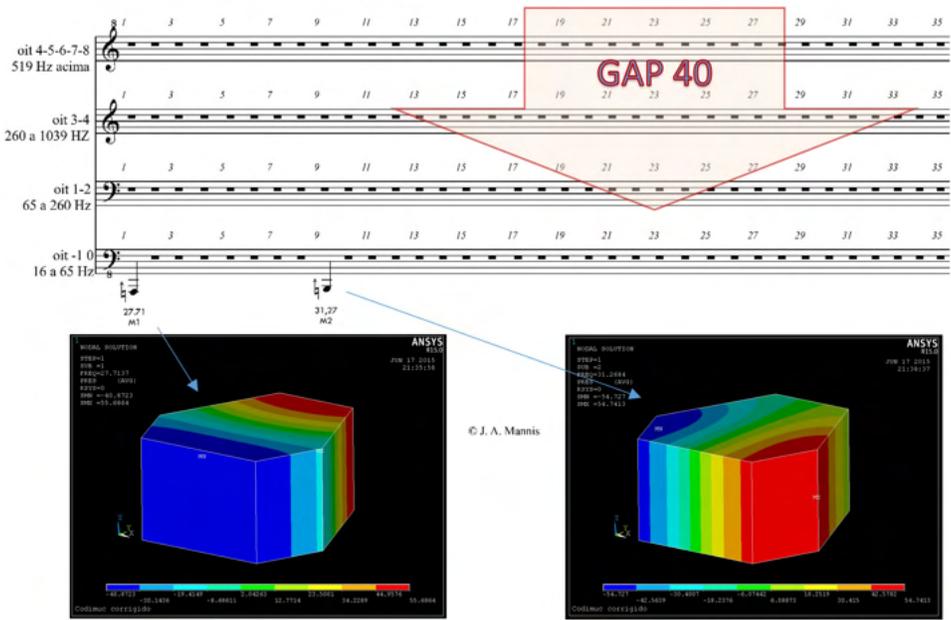


Figura 14 – Representação da progressão modal da Sala A em alturas musicais em 1/8 de tom (escala de 1 a 35 oitavos de tom) – Modos M01 e M02.

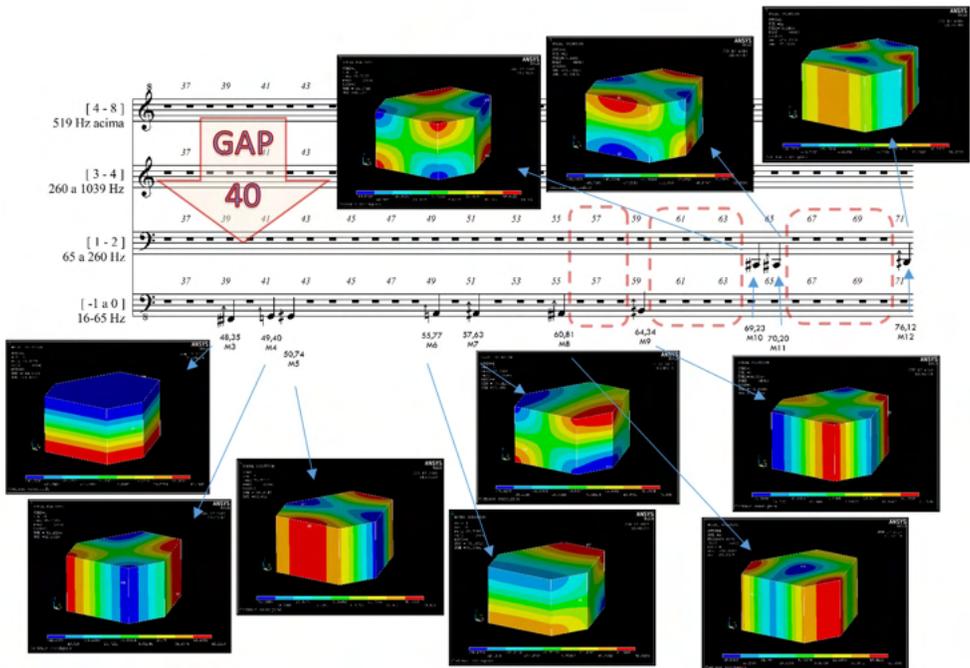


Figura 15 - Representação da progressão modal da Sala A em alturas musicais em 1/8 de tom (escala de 36 a 71 oitavos de tom) – Modos M03 a M12.

Julgamos relevante priorizar a análise e o tratamento acústico em relação ao *sweet spot* da sala de controle de áudio, pois esta é a posição de escuta mais relevante nesse tipo de sala. Após a identificação de todos os modos interferindo com máximos e mínimos de pressão na zona do *sweet spot*, eles foram reunidos e distribuídos em representação de alturas musicais em sequência de passos de 1/8 de tom, evidenciando assim as incidências e os vazios de modos, numa representação de sensação linear para a percepção humana e bastante clara à interpretação e análise. Essa representação implementa um novo recurso permitindo antever a variação de resposta acústica da sala para cada nota (altura) musical e, com isso, tornar possível um controle estreito e preciso por parte da equipe de produção, integrando o conteúdo musical às técnicas de produção fonográfica. Esse esquema também representa um mapeamento da resposta acústica da sala de controle em função das alturas musicais. Se a tonalidade principal da música gravada coincidir com frequência de um modo, alguns efeitos, como por exemplo o de finalização em cadência podem ser potencializados. Se uma eventual influência desse tipo proporcionar uma impressão de maior plenitude e amplitude, isso estaria falseando a mixagem, pois é um efeito acústico ocorrendo na sala e não no processo de mixagem. Da *Sala A* separamos na *Figura 18* quatro modos que nos pareceram particularmente críticos: *M08*, *M14*, *M22* e *M60*. Todos atuam fortemente no *sweet spot* e na altura da cabeça humana, em posturas em pé ou sentado.

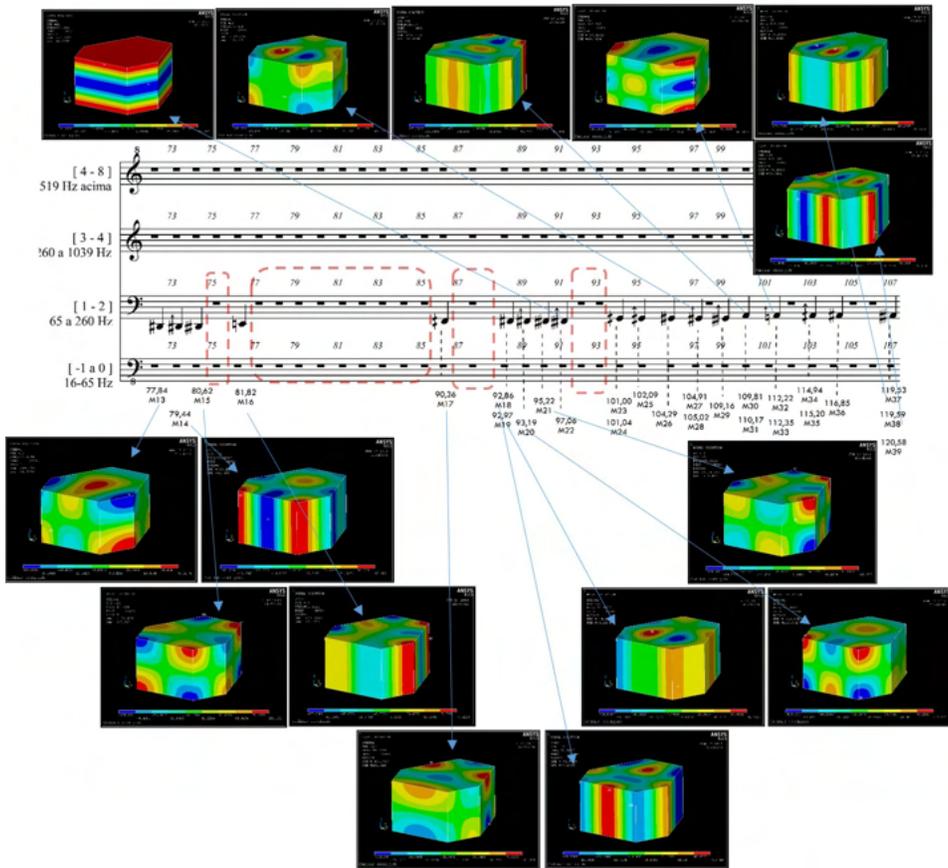
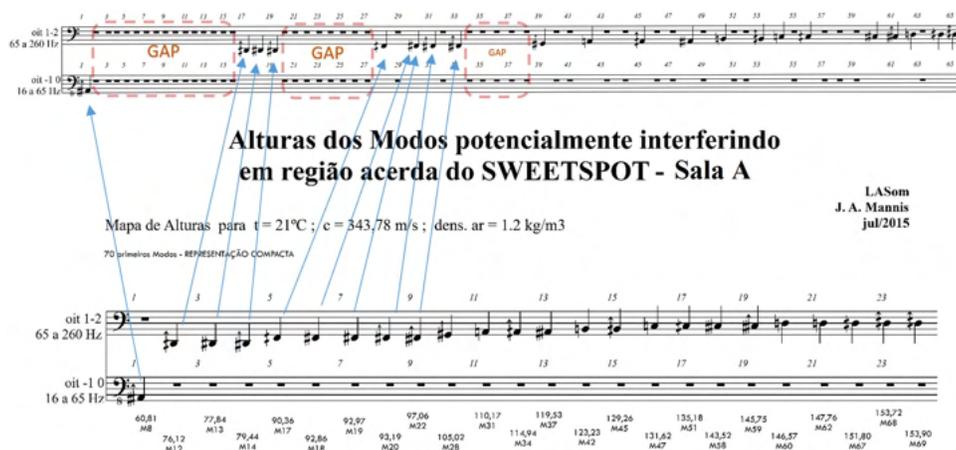


Figura 16 - Representação da progressão modal da Sala A em alturas musicais em 1/8 de tom (escala de 72 a 107 oitavos de tom) – Modos M13 a M39.



LASam
 J. A. Mannis
 jul/2015

Figura 17 – Distribuição em passos de 1/8 de tom das alturas dos modos com impacto sobre o sweet spot da Sala A.

Na concepção de contorno de sala em forma de polígono simétrico, como é o caso da *Sala A*, os modos axiais laterais sempre tenderão a atuar na direção do *sweet spot* como *M02*, *M08* e *M37*, neste caso reforçando frequências de modos associadas a alturas musicais $la_{,1}$ 1/8 de tom acima, $si_{,1}$ 1/8 de tom acima, alturas entre sib_0 1/4 de tom abaixo e do_1 1/8 de tom abaixo, e entre $la_{,1}$ e $si_{,1}$ (Figura 13), além de envolver percursos lineares de propagação das estacionárias na composição de modos tangenciais próximos como *M12* ($mi_{,1}$ 1/4 de tom abaixo), *M13* ($mib_{,1}$), *M18* e *M19* ($fa\#_{,1}$) (Figura 14, Figura 15, Figura 16). Essa característica de resposta é inerente à conformação do contorno e só pode ser alterada, mudando sua forma ou implementando *bass trap* com interferência em 1/4 de comprimento de onda no eixo da dimensão lateral mais ampla. O dimensionamento do *bass trap*, compreendendo sua efetiva eficiência, pode ser verificado em simulação em aplicativo de elementos finitos. Um outro ponto que chama a atenção na *Sala A* é a grande concentração de modos acerca de si_0 e sib_0 1/4 de tom abaixo e $si_{,1}$ e $sib_{,1}$ 1/4 de tom abaixo, pelo fato de ter, na raiz dos modos, três frequências fundamentais próximas decorrentes das proporções entre as dimensões da sala: Profundidade *M1* ($la_{,1}$ 1/8 de tom acima), Largura *M2* ($si_{,1}$ 1/8 de tom acima) e altura *M3* (sol_0 1/4 de tom abaixo ou $fa\#_0$ 3/4 de tom acima).

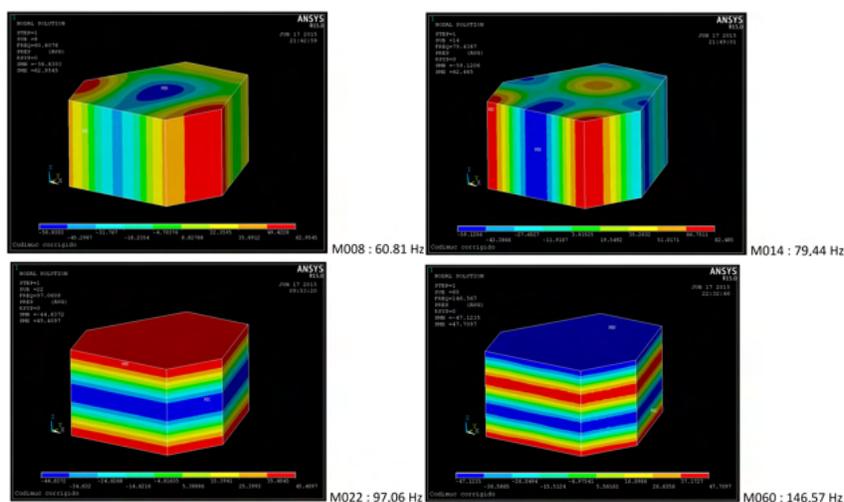


Figura 18 – Sala A - Impacto no *sweet spot*: (1) Modo de Vibração Axial L1: primeiro modo lateral. M008 60,81 Hz; (2) Modo de Vibração Tangencial: M014 79,44 Hz; (3) Modo de Vibração Axial H2: M022 97,06 Hz; (4) Modo de Vibração Axial H3: M060 146,57 Hz.

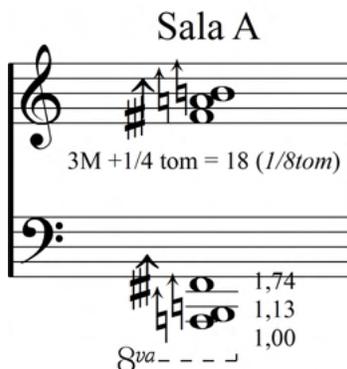


Figura 19 – Representação musical das Alturas correspondendo às frequências dos primeiros modos axiais da Sala A. Pentagramas inferior: (1) altura real e (2) razão proporcional entre as frequências (intervalos musicais) sendo a mesma para as dimensões dos comprimentos de onda entre x, y e z. Pentagrama superior: (3) representação das alturas na configuração mais compacta possível. (4) intervalo entre a nota mais aguda e a mais grave desse agrupamento, em unidades de 1/8 de tom.

Observa-se na parte superior da *Figura 19* três alturas musicais concentradas em apenas um intervalo de terça maior mais $\frac{1}{4}$ de tom, equivalente a 18 oitavos de tom, ou seja, $\frac{1}{3}$ da oitava. Já a *Sala B* apresenta uma relação entre dimensões mais espaçada, tendo na representação compacta um intervalo de 21 oitavos de tom entre a nota mais aguda e a mais grave.



Figura 20 – Representação musical das Alturas correspondendo às frequências dos primeiros modos axiais da Sala B.

Se houver correlação para a qualidade da resposta modal entre a configuração de alturas sonoras e as proporções das dimensões dos comprimentos de onda dos três primeiros modos axiais poderíamos investigar, mas em outro trabalho, a hipótese de que a constituição desse acorde compacto, quanto mais ela for ampla, mais equilibradamente estariam distribuídos os modos, com menos coincidências de alturas sobrepostas.

Comparando a progressão modal de Salas Retangulares (SRT), dada pela *Equação 1*, com outras salas com superfícies irregulares (SIR) como as *Salas A e B* aqui estudadas, com pé direito H constante, observa-se que os modos axiais apresentam frequências mais elevadas do que as esperadas para as frequências múltiplas inteiras da frequência de seu modo axial $H1$, como se a altura da sala `diminuísse` virtualmente em relação à altura (pé direito) real. No caso da *Sala A* o primeiro Modo Axial $H1$ corresponde ao modo $M003$ 48,35 Hz cujo comprimento de onda a 21°C é 7,11 m praticamente duas vezes o pé direito da sala, 3,56 m, com um desvio de 0,01 m.

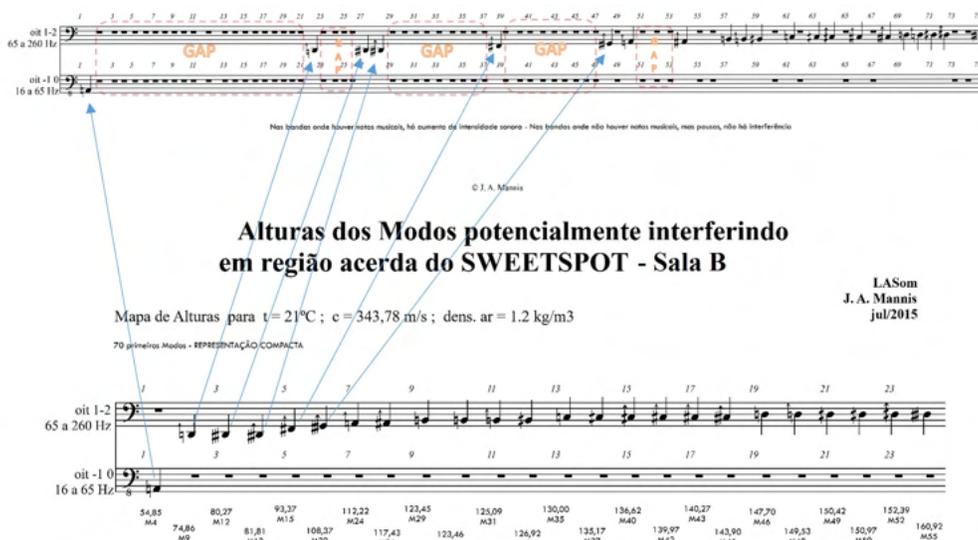


Figura 21 - Distribuição em passos de 1/8 de tom das alturas dos modos com impacto sobre o sweet spot da Sala B.

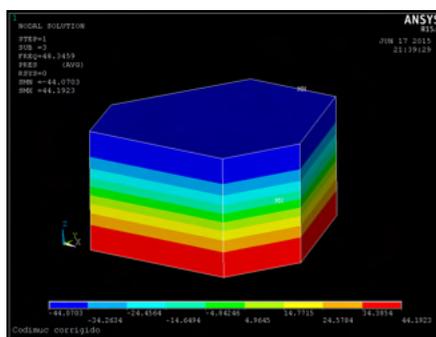


Figura 22 - Sala A: Modo de Vibração Axial $H1$: M003 48,35 Hz.

O segundo modo axial vertical $H2$ é o $M022$ 97,06 Hz (*Figura 18 - 3*) cujo comprimento de onda a 21°C é 3,54 m. Seu $H1$ virtual seria de 48,53 Hz correspondendo a

um comprimento de onda de 7,08 m. 97,06 Hz para o modo axial $H2$ é ligeiramente superior à frequência esperada para o segundo modo axial $H2$ 96,70 Hz ($2 \times H1$). O terceiro modo axial vertical $H3$ 146,57 Hz (*Figura 18 - 4*), correspondendo ao $M060$, está também acima do $H3$ esperado $3 \times H1 = 145,05$ Hz, assim como $H4$ 197,18 Hz ($M128$) (*Figura 24*) está acima do esperado $4 \times H1 = 193,40$ Hz. Esses desvios encontram-se em progressão linear, conforme apresentado a seguir (*Figura 23*). Observa-se que o modo axial $H4$ (*Figura 24*), correspondendo ao modo $M128$ 197,18 Hz apresenta na conformação de seus máximos e mínimos de pressão a influência de modos tangenciais, pois as camadas em si estão delineadas em alturas estáveis e as concentrações de máximos (vermelhos) se dão em áreas definidas em um único plano horizontal, intercaladas de camadas estáveis de mínimos (azuis). Essa interferência de modos tangenciais pode estar vinculada à resposta modal causada pela geometria irregular de contorno das paredes laterais, neste caso mais complexa do que numa sala retangular, desestabilizando progressivamente os modos axiais. Isso poderia ser verificado em posteriores trabalhos e seria uma influência bastante positiva, pois os modos axiais são os mais intensos e potencialmente problemáticos podendo induzir ao desequilíbrio na resposta em frequência.

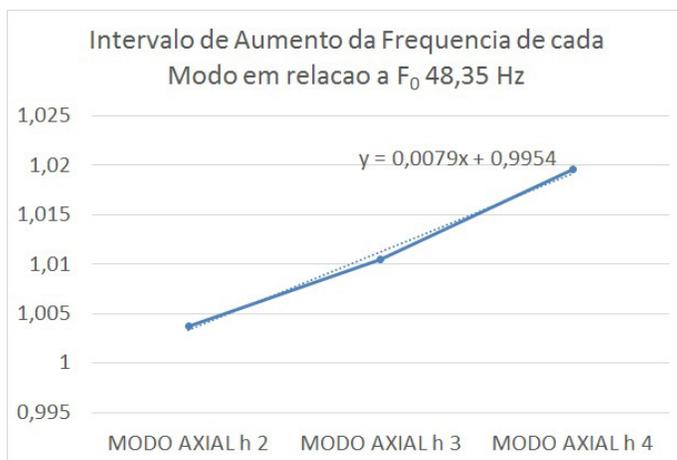
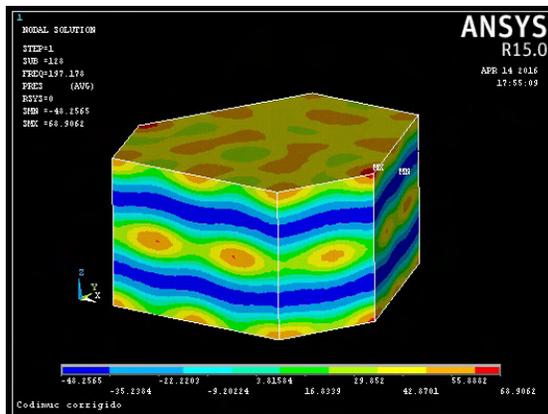


Figura 23 – Intervalo crescente de aumento da frequência dos Modos Axiais Verticais (H2, H3, H4) em relação à frequência do Modo Axial H1 48,35 Hz, modo M003 da Sala A.



M128:197,18Hz

Figura 24 - Sala A: Modo de Vibração Axial H4: com influência do modo tangencial M128 197,18 Hz.

Medições realizadas posteriormente, depois dos estudos concluídos, apontam para discrepâncias em relação à análise do Critério de Bonello, no tocante à progressão da densidade modal, mesmo para as frequências produto da simulação. Alguns máximos de pressão localizados próximo ao *sweet spot* podem sugerir tendências contrárias às do Critério de Bonello, como ocorre nas medições que resultaram nas Curvas de Respostas Operacionais (CRO), abaixo ilustradas, das *Sala A* e *Sala B*.

5 | MEDIÇÕES APÓS A CONCUSÃO DAS OBRAS E A INSTALAÇÃO DOS ESTÚDIOS

Depois de concluídas as obras e as instalações de ambos os estúdios, procedeu-se a medições acústicas visando a aplicação em produção fonográfica, ou seja, tomando como ponto de medição o *sweet spot*.

Observando os resultados do Nível de Pressão Sonora em função da frequência em bandas de 1/3 de oitava, apresentadas a seguir para cada uma das salas, pergunta-se: - Como uma mesma sala pode dar respostas distintas, mesmo algumas opostas em relação a outras, ou ainda salientar bandas de frequência que estavam em desvantagem no diagrama de Bonello? Esta questão será abordada ao final deste item, após a exposição dos resultados.

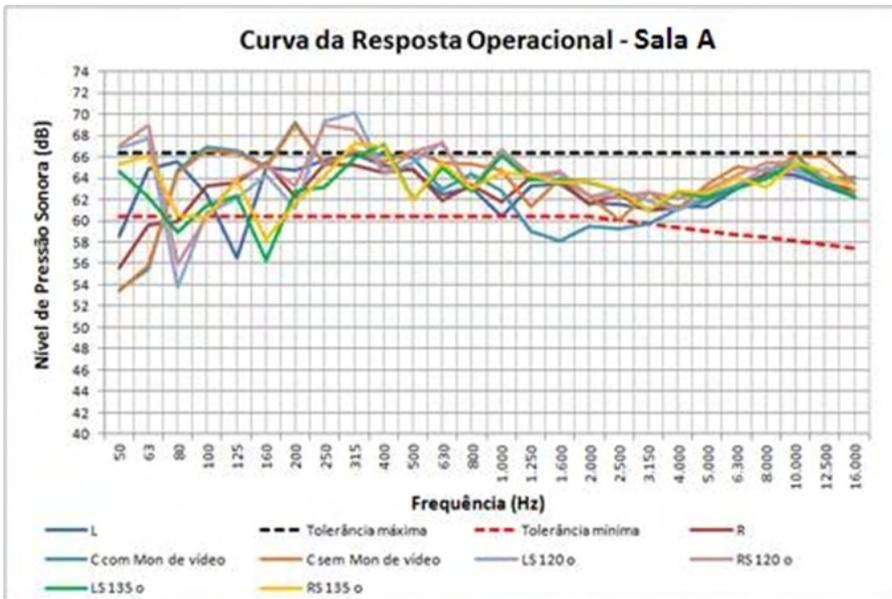


Figura 25 - CRO da Sala A: Nível de Pressão Sonora em função da Frequência, medido no sweet spot. Monitores em configuração 5.1: L_s e R_s em 120° e 135° , com e sem interferência acústica do monitor de vídeo.

Observa-se que as curvas de respostas operacionais extrapolam, em alguns pontos, os limites de tolerância. Conforme a EBU Tech 3276 (EUROPEAN BROADCASTING UNION, 1998) obter todos os pontos dentro da margem de tolerância é bastante complexo. É comum o uso de equalizadores para pequenas correções em salas de controle. Na mesma figura são apresentadas as linhas que correspondem aos limites de tolerância indicados na referida recomendação.

Os resultados das CRO da *Sala A* para os monitores de áudio frontais esquerdo e direito podem ser vistos no gráfico da *Figura 26*. Ambos apresentam respostas semelhantes acima de 160 Hz devido à geometria simétrica da sala. A curva da resposta do monitor esquerdo apresenta uma queda de 3 dB em relação à tolerância em 125 Hz, uma banda na qual temos $M034$ 114,94 Hz, $M037$ 119,53 Hz, $M042$ 123,23 Hz, $M045$ 129,26 Hz e $M047$, 131,62 Hz (*Figura 27*, *Figura 28*), todos atuando ao mesmo tempo no *sweet spot* ou bem perto deste. Para o monitor direito a resposta foi um pouco mais plana nessa região, porém houve uma queda na CRO abaixo de 63 Hz apesar do TR mais elevado nessa mesma banda, coincidindo com $M008$ 60,81 Hz (si $\frac{1}{4}$ de tom abaixo) atuando no *sweet spot*. Nas frequências acima de 160 Hz o resultado está dentro da faixa recomendada.

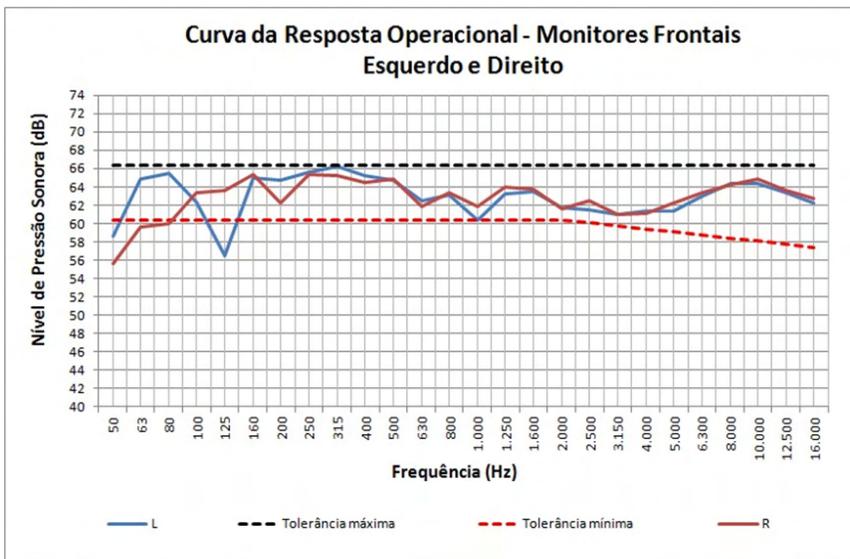


Figura 26 – CRO da Sala A: Nível de Pressão Sonora em função da Frequência, medido no *sweet spot* para monitores na posição L e R.

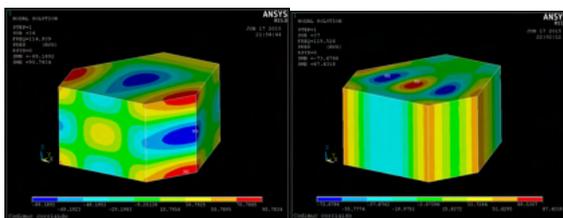


Figura 27 – Sala A : (esq.) M034 : 114,94 Hz (dir.) M037 : 119,53 Hz

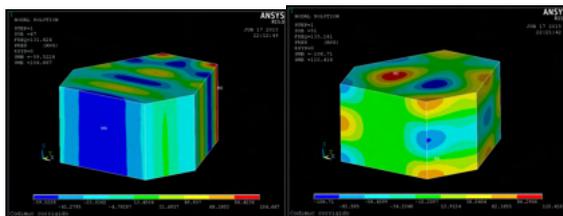


Figura 28 – Sala A: (esq.) M047 : 131,62 Hz; (dir.) M051 : 135,18 Hz.

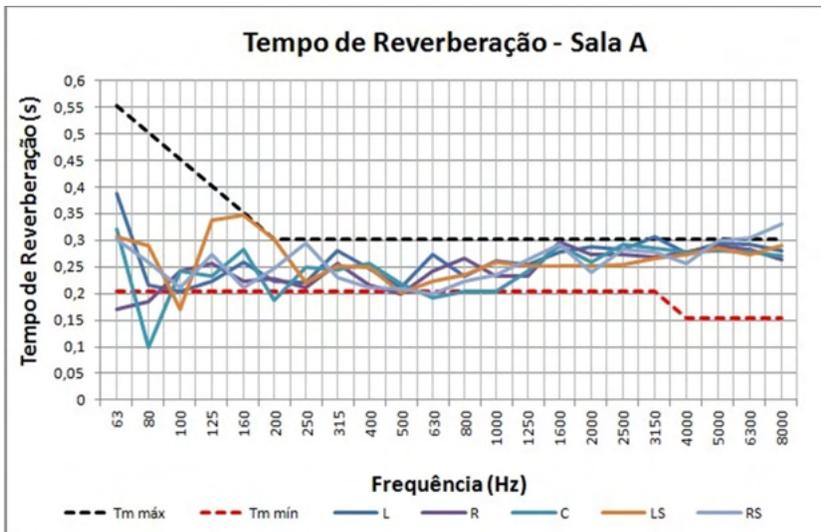


Figura 29 – Tempo de reverberação medido na Sala A em função da frequência em 1/3 de oitava.

Observa-se que o Tempo de Reverberação (TR) está dentro ou muito próximo da faixa de tolerância recomendada, com exceção da frequência de 80 Hz na curva do monitor de áudio central, posição na qual incidem nessa mesma banda de frequência os modos $M012$ 76,12 Hz, $M013$ 77,83 Hz, $M014$ 79,44Hz (Figura 30). O monitor de áudio esquerdo traseiro (L_{ϑ}) apresentou uma elevação no TR, em relação às demais curvas, em 160 Hz.

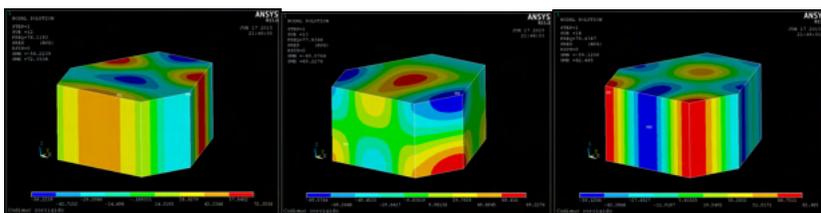


Figura 30 – Sala A: (esq.) M012 76,12 Hz, (centr.) M013 77,83 Hz, (dir.) M014 79,44Hz

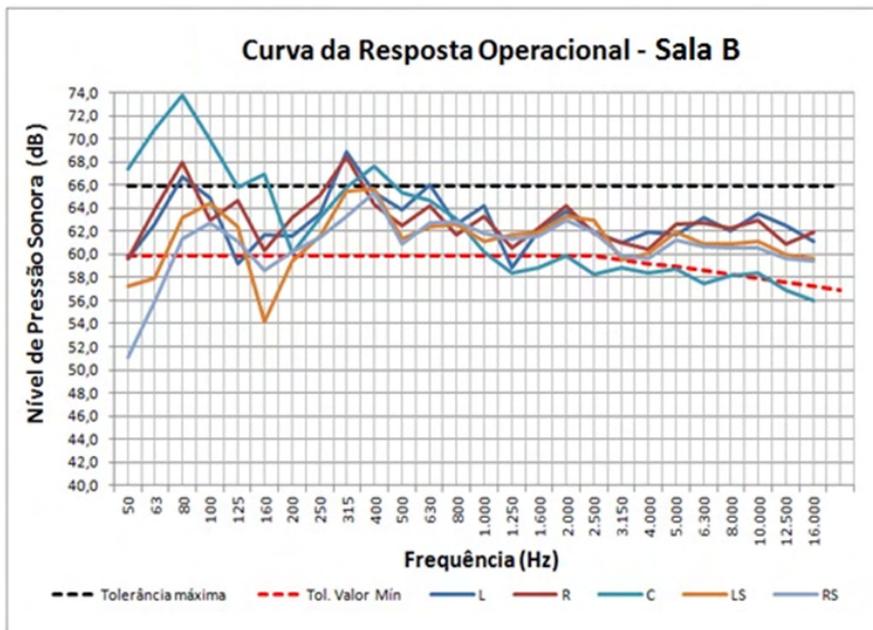


Figura 31 - CRO da Sala B: Nível de Pressão Sonora em função da Frequência, medido no sweet spot.

As CRO da *Sala B* e as curvas de tolerância recomendadas pela EBU Tech. 3276 (EUROPEAN BROADCASTING UNION, 1998) são apresentadas na *Figura 31*. Observa-se um valor elevado do Nível de Pressão Sonora em 80 Hz na CRO para o monitor central, apesar do Diagrama de Bonello apontar para uma flutuação de contenção nessa banda específica [FLOAT 80] (*Figura 8*, *Figura 10*). Efetivamente nessa posição e nessa banda de frequência temos a incidência do segundo modo axial de profundidade $P2$, $M09$ 74,86 Hz (si , $1/8$ de tom acima) e do terceiro modo axial lateral $L3$, $M13$ 81,81 Hz (mi , $1/8$ de tom abaixo) (*Figura 32*). O monitor de vídeo altera significativamente o resultado da CRO, uma vez que parte do som direto não chega ao ouvinte. Nesse estúdio, o monitor de vídeo é de 32 polegadas (~ 80 cm) e exerce grande impacto no resultado final da CRO para o monitor central ($91 < \lambda_{80 \text{ Hz}}/4 < 121\text{cm}$) podendo atuar para reflexões alimentando os lóbulos de máximos e mínimos de $M13$.

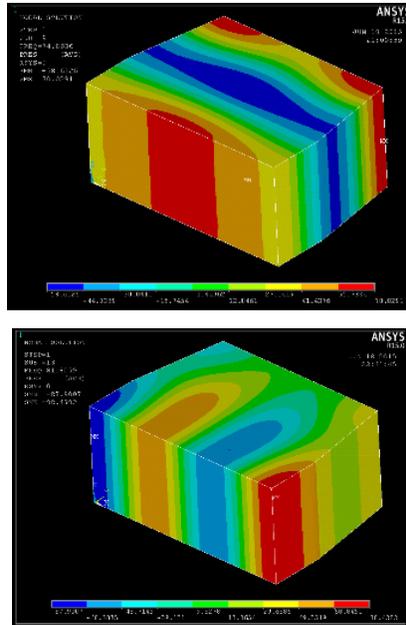


Figura 32 – Sala B: (1) M09 74,86 Hz; (2) M13 81,81 Hz.

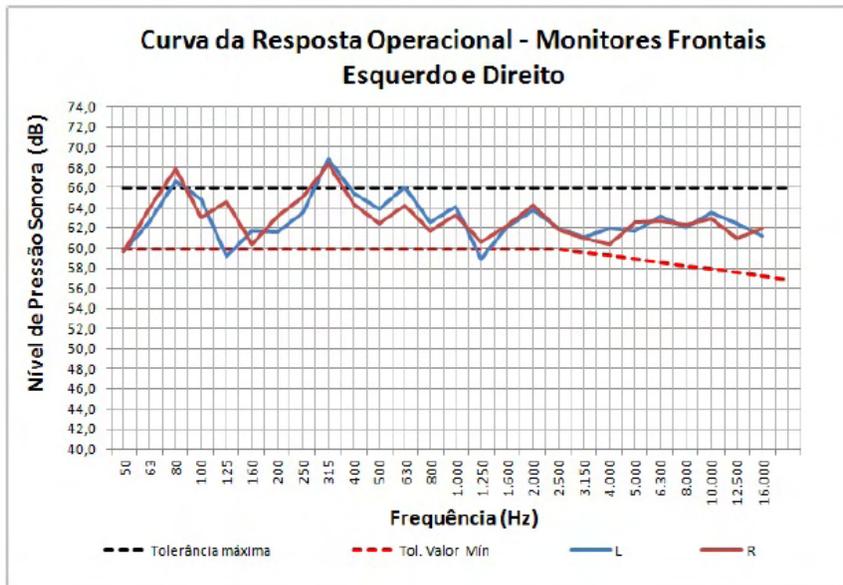


Figura 33 - CRO da Sala B: Nível de Pressão Sonora em função da Frequência, medido no sweet spot para monitores na posição L e R.

Na CRO da *Sala B* referente aos monitores frontais, esquerdo e direito, apresentada na *Figura 33*, observam-se alguns valores de Nível de Pressão Sonora fora da faixa de tolerância, porém na maior parte do âmbito de frequência audível o resultado está dentro

da faixa recomendada. Observa-se pouca variação acima de 400 Hz. Os estúdios de ambas as salas analisadas neste trabalho possuem um equalizador destinado a pequenos ajustes de frequência. Contudo tomamos a precaução de desligá-los durante as medições.

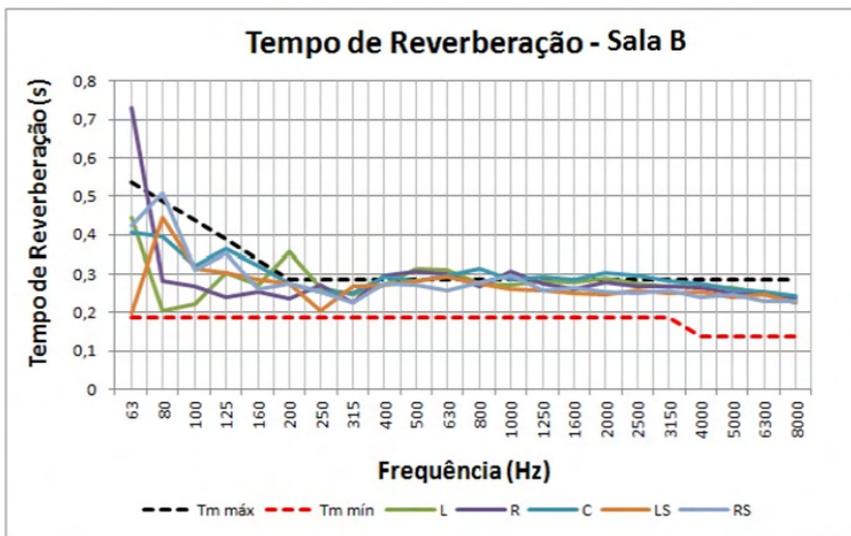


Figura 34 - TR medido na Sala B em função da frequência em 1/3 de oitava.

A Sala B possui bastante revestimento reflexivo em madeira na parte frontal, o que justifica o tempo de reverberação bem próximo do limite superior, e em algumas frequências ultrapassando a faixa de tolerância indicada pela EBU Tech 3276 (EUROPEAN BROADCASTING UNION, 1998). A região dos graves, onde se concentram as ondas estacionárias, apresentou resultado dentro do tempo de reverberação recomendado, com exceção do monitor direito em 63 Hz, próxima ao modo axial lateral $L2$, $M04$ 54,85 Hz (la_p) (Figura 35) cujo lóbulo central incide nessa exata região. Nessa posição, o resultado obtido ultrapassou em 0,15 s a tolerância máxima do TR.

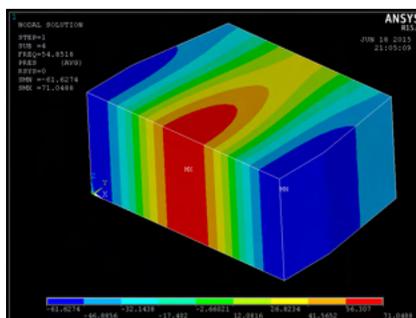


Figura 35 – Sala B: M04 54,85 Hz

Diversas interferências modais podem estar associadas a respostas irregulares ou inesperadas como as que destacamos neste item, pois quando uma fonte sonora se posiciona em uma área na qual há potencialmente um máximo ou mínimo de pressão, o respectivo modo associado a essa pressão se instala e a estacionária se estabelece. Quando houver mais de um modo com máximos ou mínimos na mesma região, há que se considerar as interferências de fase entre os diferentes modos, o que pode inclusive, conforme o caso, causar cancelamentos. Entenda-se assim como um pequeno deslocamento de uma fonte sonora pode causar uma mudança, até surpreendente, na resposta em frequência do sinal sonoro reproduzido pelos monitores de escuta. Isso explica como uma mesma sala pode estimular diferentes respostas para variados posicionamentos das fontes sonoras, neste caso, os monitores de áudio.

6 | CONCLUSÃO

Apresentamos, discutimos e comentamos métodos aplicados para análise modal de dois projetos de estúdios de produção fonográfica, implementando novos recursos como a inclusão de notação musical para aperfeiçoar a representação de maneira a que se aproxime o máximo possível de imagens mentais da percepção sonora humana. As análises expostas foram discutidas, por um lado nos levando a algumas conclusões e por outro suscitando suposições e formulações de novas hipóteses a serem verificadas em trabalhos ulteriores. Destacam-se dentre essas conclusões e desdobramentos: (1) para a predição da resposta modal de uma sala, além da tradicional redução a uma sala retangular média (*Figura 3, Figura 4*), pode-se proceder a uma simulação por elementos finitos (*item 2. PROJETOS ANALISADOS E SIMULAÇÃO*) centrando a atenção da análise nos modos axiais que se revelarem em função da conformação do contorno; (2) contornos irregulares podem influenciar a evolução dos modos axiais a partir de uma certa ordem, interferindo em sua progressão (*Figura 24*); (3) as posições dos monitores de áudio influenciam a resposta em frequência do sistema formado por eles mesmos integrados aos modos de vibração da sala (*Figura 26, Figura 29, Figura 31, Figura 33, Figura 34*). Para cada posição de monitores haverá uma resposta correspondente, porém todas remetendo à estrutura do modelo modal geral da sala; (4) Como elemento de design, além das proporções entre as dimensões da redução a uma sala retangular média, pode-se proceder ao exame das relações de proporção entre as frequências dos primeiros modos axiais que se revelarem na simulação (*Figura 19, Figura 20*); (5) Poderá ser feito um estudo ulterior sobre a hipótese de que determinadas relações intervalares de frequências estejam correlacionadas a constituição de determinados acordes, orientando a uma definição de proporções com resultados de distribuição modal mais equilibrada e homogênea.

REFERÊNCIAS

BONELLO, Oscar. A new computer aided method for the complete acoustical design of broadcasting and recording studios, In: IEEE international conference on acoustics, Speech and signal processing, 1979. **Anais...** v. 4, April, p. 326-329, 1979.

_____. Acoustical evaluation and control of normal room modes. J. Acoust. Soc. Am., suppl.1, v. 66, n. 2, 1979. In: **Acoustical Society of America**, 98th meeting, 1979b, Salt Lake City, Utah, EUA.

_____. A new criterion for the distribution of normal room modes. **Journal of the AES**. v. 29, n. 9, p. 597-606, September, 1981.

DAVIS, Don; PATRONIS Jr., E. **Sound system engineering**. 3. ed. New York: Focal Press; Elsevier, 2006. 489 p

EUROPEAN BROADCASTING UNION. EBU Tech.3276: **Listening conditions for the assessment of sound programme material: Monophonic and two-channel stereophonic**. Geneva, 1998 2. Ed.

EVEREST, F. Alton. Acoustic of small rooms. In: **Handbook for sound engineers: the new audio cyclopedia**. Glen Ballou, editor. 2. ed. Indiana (EUA): Sams / MacMillan, 1987. 1506 p.

_____. **Small budget recording studio**. 2. ed. New York: TAB Books, MacGraw-Hill, 1988. 295 p.

_____. Alton. **The master handbook of acoustics**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2001. 615 p.

GERGES, Samir **Ruído: fundamentos e controle**. 2. ed. Florianópolis: NR Editora, 2000. 676 p.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acidente 96, 126

Acústica 1, 2, 3, 11, 18, 25

Agrominerais 73

Água 34, 35, 40, 48, 68, 91, 98, 99, 100, 101, 102, 154, 157, 158

Aplicativo 4, 5, 7, 20, 161, 162, 163, 164

Avaliação de curso 165, 166

B

Biogás 80, 81, 82, 83, 86

C

Caminhão fora de estrada 126, 128, 134

Caracterização geomecânica 44, 45, 46, 59, 69

Carvão 44, 45, 46, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 55, 58, 59, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70

Ciclismo 161, 163, 164

Cintilador 137

Conforto ambiental 1

Controle 5, 6, 18, 25, 32, 37, 40, 96, 111, 112, 113, 114, 115, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 148, 149, 150, 165

Crescimento de cristal 137

D

Desacoplamento 111, 112, 114, 115, 119, 120, 121, 124

E

Educação 36, 88, 90, 97, 98, 111, 161, 165, 166, 175, 176, 177

Egresso 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 175, 176

Engenharia civil 45, 88, 89, 92, 94, 95, 96, 174

Engenharia de áudio 1

Ensaios de laboratório 44, 51, 66, 69

Estúdio 1, 28

G

Gerenciamento de fadiga 126, 128, 129, 134

I

Interligação 161, 162

M

Matriz ortogonal 148, 150, 152, 154, 160

Mercado de trabalho 160, 165, 167, 168, 169, 170, 175

Mineração 33, 38, 39, 40, 42, 43, 45, 46, 70, 73, 75, 79, 126

O

Otimização 35, 37, 40, 69, 112, 148, 151, 160

P

Pedreiras 73, 74, 79

Pó de rocha 73, 74, 75, 76

Produtividade 33, 34, 36, 38, 39, 40, 127, 148, 149, 150, 160

Q

Qualidade 11, 13, 21, 33, 34, 37, 41, 42, 46, 50, 51, 68, 69, 98, 99, 100, 112, 148, 150, 157, 160, 165, 166, 167, 168, 169, 173, 176, 177

R

Radiação de nêutrons 137

Radiação gama 104, 137

Reator 111, 112, 114, 115, 121, 124

Recursos hídricos 98, 99, 102

S

Sala de audição 1

Simulação 1, 3, 5, 7, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 20, 24, 31, 35, 40, 41, 111, 112, 114, 115, 116

Sonolência 39, 126, 127, 128, 129, 131, 134, 135

T

Taguchi 148, 149, 150, 151, 152, 160

Engenharias:

da genialidade à profissão e
seu desenvolvimento

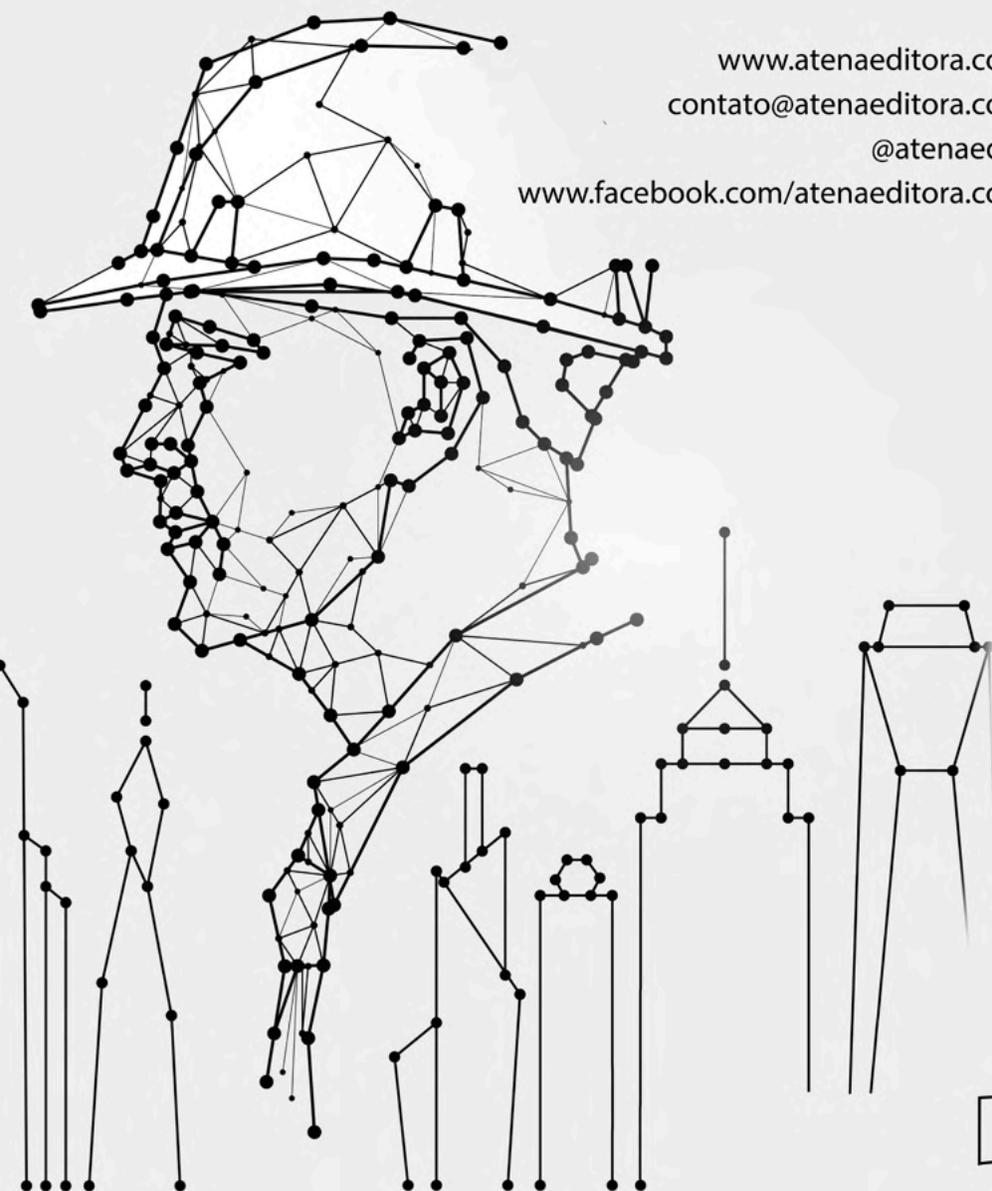
2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 



Atena
Editora

Ano 2021

Engenharias:

da genialidade à profissão e
seu desenvolvimento

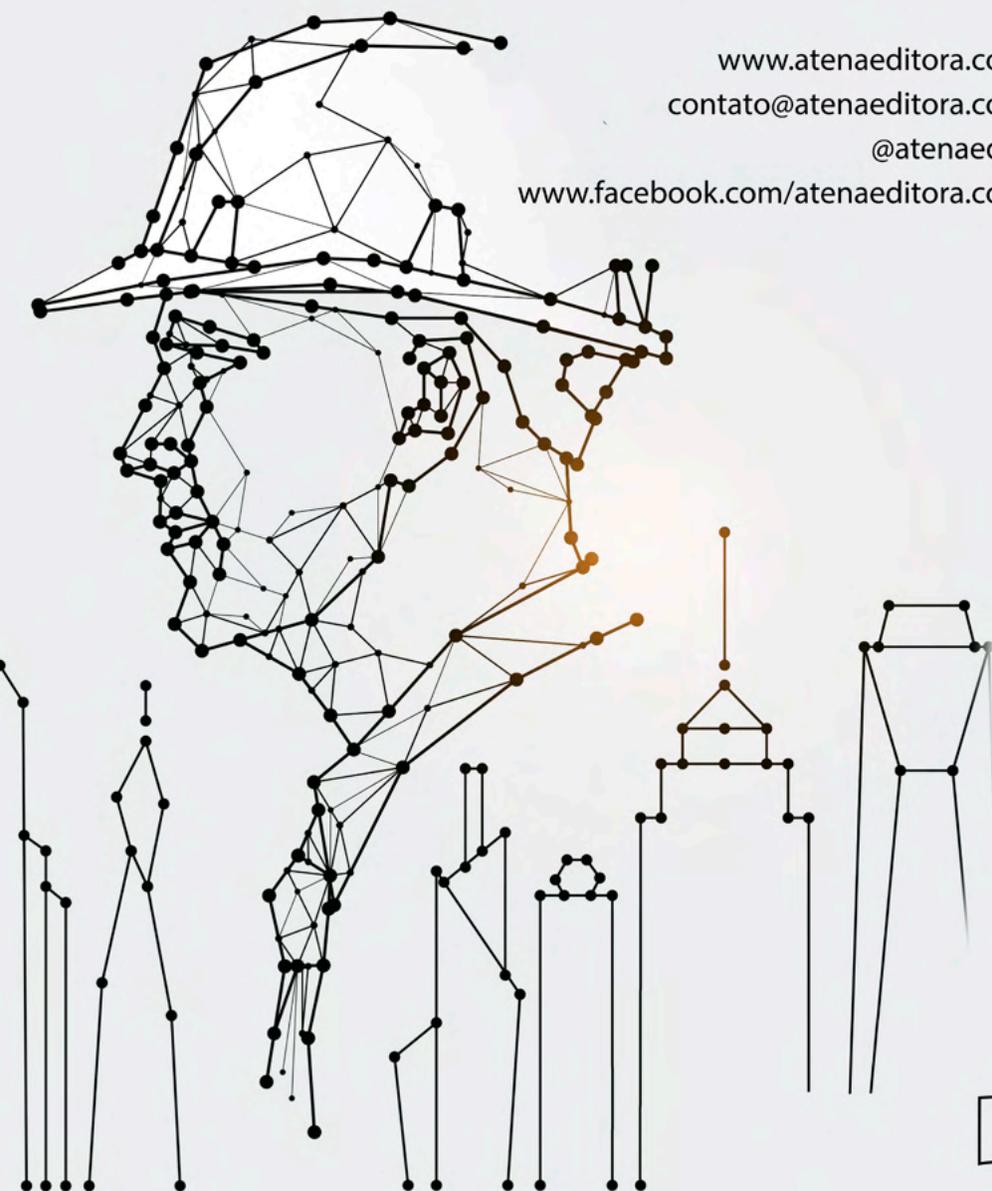
2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 



Atena
Editora

Ano 2021