



AVALIAÇÃO DO USO DE UMA CÂMARA SEMI-ANECÓICA PARA ENSAIOS DE ESCUTA CRÍTICA

Masiero, Bruno S.¹; Aguirre, Sérgio L.²; Cordioli, Júlio²; Paul, Stephan²

(1) Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, masiero@unicamp.br.

(2) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, {julio.cordioli,stephan.paul}@ufsc.br.

RESUMO

O ambiente de escuta crítica deve ter mínima influência no campo sonoro. A caracterização acústica de um ambiente que será usado para avaliação de sistemas de áudio deve atender à recomendação ITU-R. BS 1116-3, que define, além das propriedades da sala, as especificações e parâmetros de configuração dos alto-falantes. Para a avaliação de uma câmara semi-aneecóica para este fim avaliou-se primeiramente o nível de ruído de fundo. Verificou-se que o nível de pressão sonora do ruído (NPS) de fundo era inferior a 11 dB em todas as bandas de frequência entre 31,5 e 8.000 Hz, sendo inferior a 0 dB nas bandas de 1 até 4 kHz. Também foi avaliado o tempo de reverberação, que, como já era esperado, mostrou-se baixo, extrapolando 0,1 s apenas em frequências inferiores a 200 Hz. Por fim, as diferenças de NPS entre som direto e a primeira reflexão foram maiores que 14 dB em todas as posições de fonte sonora avaliadas, atendendo ao critério de ter diferença de no mínimo 10 dB.

Palavras-chave: sala de escuta, câmara anecóica, ITU-R. BS 1116-3.

ABSTRACT

A listening room should have minimal influence on the sound field reproduced by the audio system. The acoustic characterization of an environment that will be used for evaluation of audio systems must meet recommendation ITU-R. BS 1116-3, which defines, in addition to the room properties, gives specification and configuration parameters for the system's loudspeakers. In this work we evaluate a semi-anechoic chamber as listening room. First, the background noise level was first evaluated. It was found that the sound pressure level (SPL) of the background noise was less than 11 dB in all frequency bands between 31.5 and 8000 Hz, being less than 0 dB in the bands of 1 to 4 kHz. The reverberation time was also evaluated, which, as expected, was low, extrapolating 0,1 s only at frequencies lower than 200 Hz. Finally, the SPL differences between direct sound and the first reflection were greater than 14 dB in all sound source positions evaluated, given the criterion of having a difference of at least 10 dB.

Keywords: listening room, anechoic chamber, ITU-R. BS 1116-3.

1. INTRODUÇÃO

Perdas de capacidade auditiva podem ser um fator limitante na vida de um indivíduo podendo reduzir a capacidade de comunicação e acarretando na diminuição da interação social em ambientes de conversa em grupo, conversas com estranhos e até mesmo com família e amigos. No escopo das questões emocionais a perda auditiva sem tratamento pode causar uma série de sentimentos negativos: desde a frustração por não compreender a comunicação, ansiedade, entre outros, podendo resultar em depressão. Entre as alternativas disponíveis para problemas de perda auditiva existem tecnologias assistivas para a audição, chamadas próteses auditivas, tais como aparelhos de amplificação sonora individual (AASI), indicados para amenizar os efeitos em perdas leves a severas e implantes cocleares (IC) para perdas de grau severo a profundo.

A partir dos critérios definidos por portarias do Ministério da Saúde brasileiro (atualizados em 2014 [1]) elevou-se o número de pacientes que, por meio de avaliação baseada nestes critérios, têm direito ao implante coclear. Contudo, testes de inteligibilidade da fala considerando a distribuição espacial de fontes sonoras e ruído não fazem parte da rotina clínica convencional de avaliação no Brasil [2, 3]. A avaliação que não considera a distribuição espacial de fontes sonoras não leva em conta fenômenos como o melhoramento da inteligibilidade da fala por redução de mascaramento dado pelo posicionamento das fontes sonoras (*spatial release from masking*), que, quando separadas no espaço, resultam em indicadores binauriculares distintos para os sinais de fala e ruído. Neste sentido, uma avaliação que apresente, simultaneamente, a fonte de ruído e o conteúdo de fala através de um mesmo alto-falante pode resultar em um desempenho de inteligibilidade de fala pior do que seria observado em uma condição com fontes e ruído espacialmente separados, como acontece em situações reais, possivelmente induzindo a indicações incorretas de implante coclear.

Diante deste cenário, verifica-se a necessidade de propor novos protocolos de avaliação de inteligibilidade da fala, que considerem a distribuição espacial das fontes sonoras, recriando com o máximo de fidelidade as condições acústicas encontrada pelos ouvintes em ambientes reais. De posse deste sistema, ensaios subjetivos poderão ser feitos com normo-ouvintes e com pessoas portadoras de deficiência auditiva e usuários de AASI ou IC para comparar suas performances e, assim, aprimorar o processamento acústico realizado por estes aparelhos com o intuito de melhorar a capacidade auditiva dos usuários de AASI e IC. A utilização destes sistemas de virtualização oferece vantagem pela redução de custos e de adaptação às condições clínicas atuais tendo em vista a necessidade de realizar testes mais confiáveis sem a necessidade de um grande número de alto-falantes.

No entanto, para se obter a melhor qualidade possível dos sistemas de reprodução espacial sonora o ambiente onde este sistema está instalado deve ter mínima influência no campo sonoro gerado. Além do mais, para a avaliação do sistema de reprodução em si este deve estar montado dentro de um ambiente de escuta crítica. A caracterização acústica de um ambiente de escuta crítica que será usado para avaliação de sistemas de áudio deve atender à recomendação ITU-R. BS 1116-3, que define, além das propriedades da sala, as especificações e parâmetros de configuração dos alto-falantes.

Neste trabalho avaliou-se se uma câmara semi-anecóica atendia a todos os critérios para ser considerada uma sala de escuta crítica. Para tanto, avaliou-se o nível de ruído de fundo, o tempo de reverberação e as diferenças de nível de pressão sonora (NPS) entre som direto e

a primeira reflexão. Verificou-se que a câmara semi-aneecóica em questão atendeu a todos os valores recomendados.

2. METODOLOGIA

Um sistema de virtualização para a reprodução espacial do som, como pode ser visto na Figura 1, constituído por um arranjo de oito alto-falantes foi construído em um formato octogonal em torno do centro da câmara semi-aneecóica do Laboratório de Vibração e Acústica da Universidade Federal de Santa Catarina (LVA-UFSC). O raio do centro até a base dos alto-falantes foi de 1,27 metros, distância escolhida para tornar-se comparável com o ambiente de audição crítica que está sendo projetado [4] para futuros ensaios no LVA.

A utilização da câmara semi-aneecóica do LVA é justificada por ser um ambiente com características acústicas controladas e pela disponibilidade da estrutura. Nele é possível quantificar os erros associados à utilização do *setup* e compará-lo futuramente, em termos de resposta, com as características do ambiente projetado para abrigar experimentos futuros.

Este sistema é capaz de reproduzir não somente fontes sonoras nas posições dos oito alto-falantes (distribuídos em um octógono) que compõem o sistema, como também sintetizar fontes sonoras em qualquer posição entre os alto-falantes através da técnica de panorama de amplitude baseado em vetores (VBAP, do inglês *vector-based amplitude panning*) [5, 6]. Para este sistema foram usados os algoritmos da implementação de Archontis [7].



Figura 1: Imagem da montagem do sistema de reprodução sonora espacial numa câmara semi-aneecóica.

2.1 Recomendações para salas de escuta crítica

Diversos ensaios e experimentos podem ser realizados utilizando esse sistema. Para tal, o ambiente de escuta crítica—ambiente acústica e visualmente preparado para avaliações subjetivas visando a mínima influência no ensaio—deve ter a mínima influência no campo sonoro. A caracterização acústica do ambiente, ao referir-se ao sistema de áudio, foi realizada conforme a recomendação ITU-R. BS 1116-3 *Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems* [8], sendo essa a mais reconhecida recomendação para ambientes críticos de escuta [9, 10]. Esta recomendação define, além das propriedades da sala onde o sistema de som está instalado, também as especificações e parâmetros de configuração dos alto-falantes usados no sistema.

No que tange as recomendações sobre a sala, a ITU-R. BS 1116-3 define os nível de pressão sonora do ruído de fundo e tempo de reverberação aceitáveis ou exigidos. A seguir apresenta-se os resultados das medições destes dois parâmetros na câmara semi-anecóica do LVA-UFSC.

2.2 Técnicas de medição

O NPS do ruído de fundo do ambiente de ensaios foi gravado utilizando um microfone de 1”, que apresenta ruído próprio inferior ao ruído de fundo da sala. O microfone G.R.A.S modelo 40AF foi calibrado indiretamente com um calibrador B&K modelo 4231 e o sistema de gravação HEAD Recorder com o módulo de aquisição SQuadriga 2, ambos da HEAD Acoustics. Para o processamento de sinais o *software* ArtemiS Suite v7.0 foi utilizado.

Para aquisição da resposta impulsiva do ambiente e o cálculo do tempo de reverberação o mesmo microfone foi utilizado com o mesmo sistema de aquisição. A RIR foi medida dentro da câmara semi-anecóica para cada alto-falante. O microfone estava na posição de audição dos avaliadores, ou seja, no centro do octógono a 1,4 m de altura. Durante a medida a câmara estava configurada como seria posteriormente utilizada para os ensaios subjetivos (incluindo mobiliário).

O sinal gerado foi uma varredura senoidal exponencial na faixa de frequência de 20 Hz a 20 kHz com duração de aproximadamente 21 s utilizando o ITA-Toolbox [11] no Matlab. Esse sinal foi convertido para o formato “.HDF” no *software* ArtemiS e posteriormente importado para o sistema do SQuadriga 2. A partir de então utilizou-se a função *play and rec* e as gravações foram armazenadas.

No passo seguinte foram importadas as gravações no *software* MATLAB e as funções de transferência entre o sinal de excitação e o sinal adquirido foram obtidas no domínio da frequência e transformados para o domínio do tempo por meio da Transformada Rápida de Fourier Inversa (iFFT) para obter, assim, as respostas impulsivas da sala (RIR). Assim, o tempo de reverberação (T_{20}) foi calculado utilizando o módulo *roomacoustics* do ITA-Toolbox [12] a partir das RIR. O método configurado para o cálculo da curva de decaimento “*edc method*” foi o “*noCut*”, que fornece a resposta ao impulso integrada com compensação do ruído de fundo. Isto é feito truncando-se a resposta impulsiva no tempo de interseção da linha de tendência do decaimento com o nível da energia do ruído e aplicando-se uma correção para truncamento no cálculo da curva de decaimento de energia (EDC, do inglês *Energy Decay Curve*) e o vetor é completado com zeros (*zero padding*) no método *noCut* [12].

3. RESULTADOS

3.1 Ruído de fundo

A recomendação ITU-R. BS 1116-3 sugere que “O ruído de fundo contínuo (produzido por um sistema de ar condicionado, equipamento interno ou outras fontes externas), medido na área de audição na altura da orelha do ouvinte sentado, não deve exceder os valores da curva NR 10 e, sob nenhuma circunstância, o ruído de fundo deve exceder a curva NR 15.” Isto significa que nenhum valor de NPS equivalente (Leq), medido em bandas de terço de oitava, deve estar acima das curvas NR descritas na norma ISO/R 1996(1971) [13], como apresentadas na Figura 2a. Verifica-se, portanto, que o ruído de fundo da câmara semi-aneecóica do LVA atende aos requisitos da recomendação para todas as bandas de terço de oitava medidas.

3.2 Tempo de reverberação

Já para o tempo TR, a recomendação ITU-R. BS 1116-3 sugere uma máscara em frequência que limita os tempos de reverberação ideais para uma sala de escuta crítica (apresentada na Figura 2b). Diferentemente da intuição inicial, de que quanto menor o TR, melhor a sala de escuta, de fato é recomendado um TR pequeno, da ordem de 0,2 s, mas não nulo. Verifica-se que, como esperado, a câmara semi-aneecóica é caracterizada por um TR bastante baixo, menor que os valores mínimos recomendados no documento. Visto que o ambiente tem um campo acústico extremamente controlado, é possível utilizá-lo como referência de melhor condição de escuta (maior relação sinal-ruído) para seres humanos em ensaios de localização de sinais no silêncio no plano horizontal, ainda que fora dos limites da recomendação ITU-R BS. 1116-3 [8]. Ambientes dentro dos limites de tempo de reverberação (TR um pouco maior) podem melhorar a resposta de sistemas com fontes virtuais levando a resultados ainda melhores dos que seriam obtidos neste ambiente semi-aneecóico, dado que a presença de reverberação pode auxiliar na naturalidade do campo sonoro para o sujeito.

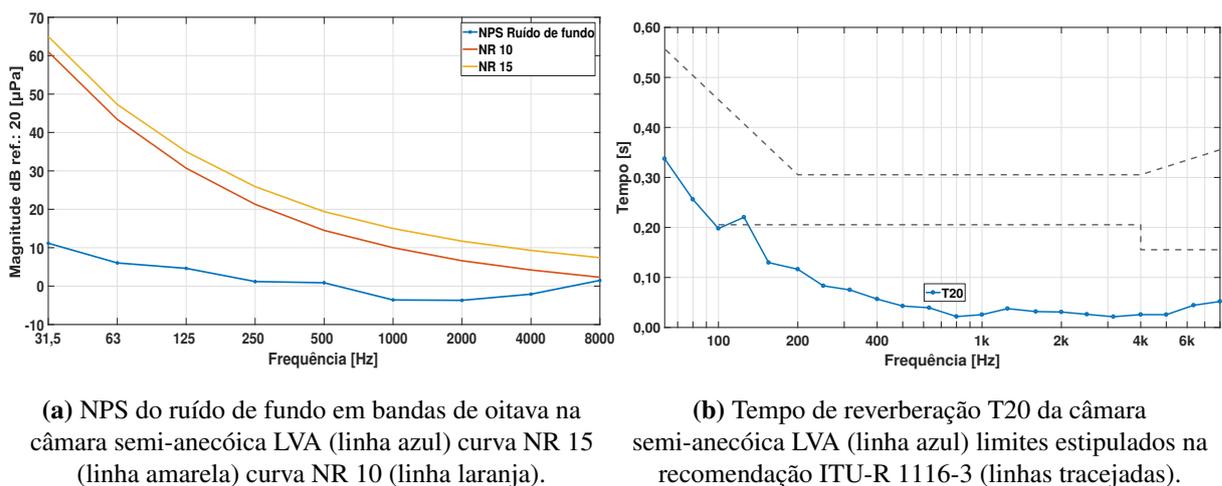


Figura 2: NPS do ruído de fundo e Tempo de reverberação T20 na câmara semi-aneecóica do LVA-UFSC frente aos requisitos da recomendação ITU-R BS. 1116-3 [8].

3.3 Resposta ao impulso e em frequência da sala

Para garantir que não haja influência do ambiente a recomendação ITU-R 1116-3 [8] sugere que o NPS das primeiras reflexões deve estar ao menos 10 dB abaixo do NPS do som direto, i.e., $\Delta_{\text{NPS}} \geq 10 \text{ dB}$.

A Figura 3 apresenta dois exemplos de RIR medidas. Os gráficos estão no domínio do tempo, normalizadas e em com a amplitude em escala logarítmica, para facilitar a visualização da diferença de NPS do som direto e do NPS das primeiras reflexões. As diferenças do NPS determinados no ambiente de ensaios deste trabalho atendem a esse quesito e são sumarizadas e apresentadas na Tabela 1 para todas as posições de fonte do sistema de som utilizado.

Tabela 1: Diferenças de amplitude entre som direto e primeiras reflexões para as oito posições de alto-falantes.

N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Posição	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Δ_{NPS} [dB]	14,64	14,70	14,37	14,35	14,35	16,23	14,57	16,28

As curvas de resposta em frequência da sala, obtidas de acordo com a ITU-R BS. 1116-3 [8] para a faixa de frequência entre 50 Hz e 16 kHz no ponto de audição, também estão dentro dos limites estipulados e podem ser visualizadas na Figura 4.

4. CONCLUSÕES

Apresentou-se um estudo sobre a viabilidade do uso de uma câmara semi-aneecóica como uma sala de escuta crítica. Para tanto, avaliou-se a aderência dos parâmetros nível de pressão sonora do ruído de fundo, tempo de reverberação, resposta temporal e resposta em frequência com as recomendações da ITU-R BS. 1116-3. Verificou-se que o nível de pressão sonora do ruído de fundo era inferior a 11 dB em todas as bandas de frequência entre 31,5 e 8.000 Hz (sendo inferior a 0 dB nas bandas de 1 até 4 kHz), não excedendo, portanto, a curva NR 15, como recomendado. Para avaliação da resposta temporal, verificou-se que as diferenças de NPS entre som direto e a primeira reflexão foram maiores que 14 dB em todas as posições de fonte sonora avaliadas, atendendo ao critério de ter diferença de no mínimo 10 dB. A resposta em frequência do sistema e sala nos pontos de escuta também atendia à máscara recomendada. Por fim, o tempo de reverberação, como já era esperado, mostrou-se baixo, extrapolando 0,1 s apenas em frequências inferiores a 200 Hz, valores inferiores aos mínimos recomendados no documento. No entanto, como a reverberação auxilia na naturalidade do campo sonoro apresentado por um sistema de reprodução espacial sonora, o uso da câmara seminacecóica para testes de localização sonora ainda se faz adequado.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à FINEP e ao CNPq pelo apoio financeiro. Agradecimentos também à HEAD-acoustics e GROM, pela concessão da licença do software ArtemiS Suite v7.0

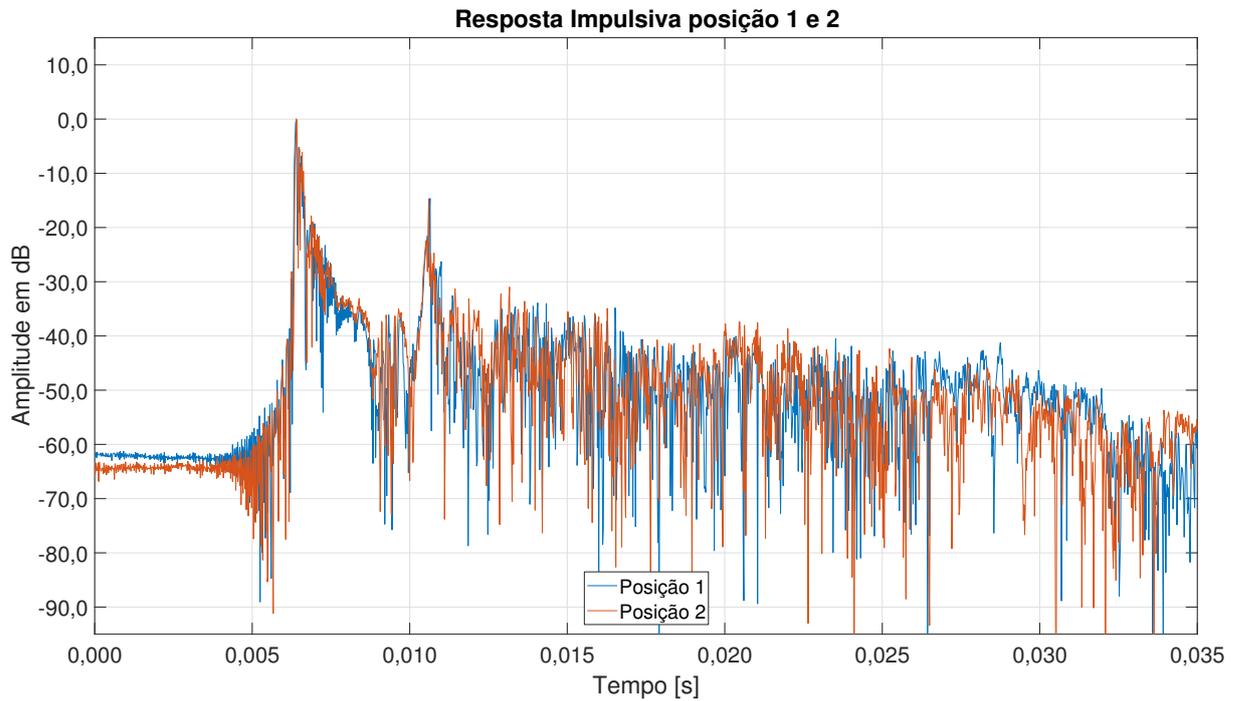


Figura 3: Diferença do nível de pressão sonora do som direto e das primeiras reflexões nas posições 1 e 2 de fonte sonora (0° e 45°).

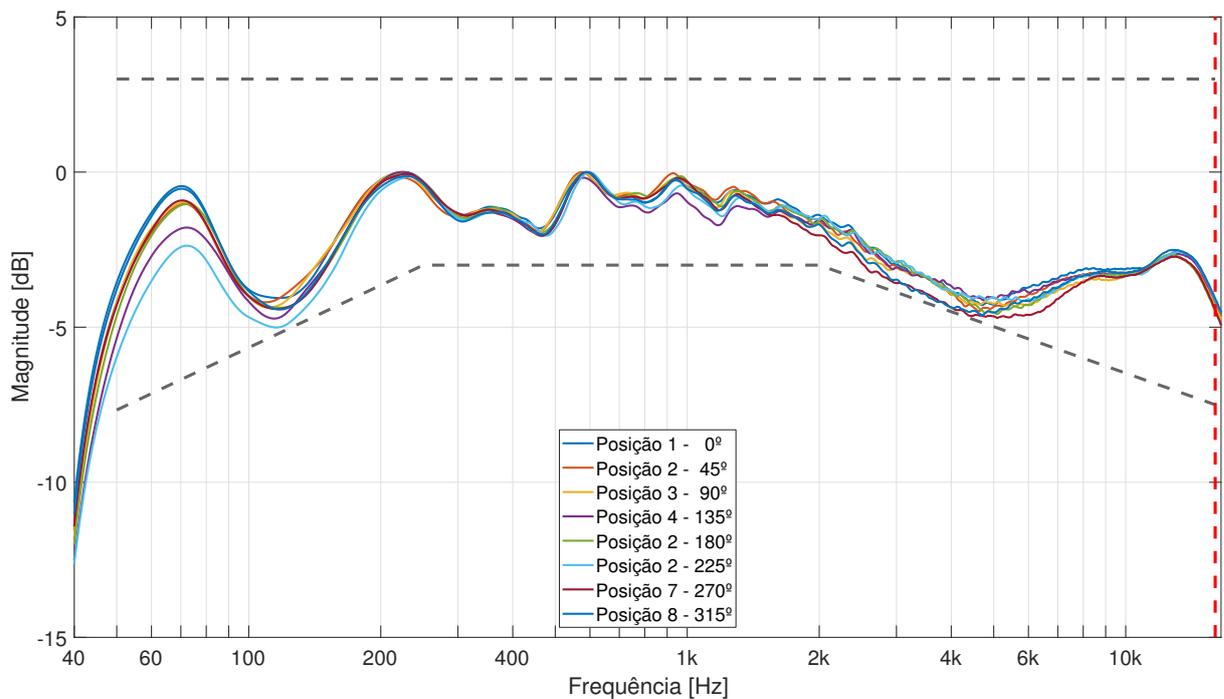


Figura 4: Curvas de resposta em frequência para as 8 posições de excitação no ponto de audição. Linhas tracejadas representam os limites de tolerância conforme ITU-R BS. 1116-3 [8].

REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL. Portaria do ministério da saúde no. 2.276 de 18 de dezembro de 2014. Diário Oficial da União, Brasília, n. 246,183, 2014.
- [2] Mondelli, M. F. C. G.; Santos, M. d. M. d. e José, M. R. Speech perception in noise in unilateral hearing loss. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 82:427 – 432, 08 2016.
- [3] Couto Melo, R. *HINT: um estudo sobre os critérios de julgamento no Brasil*. Mestrado em saúde da comunicação humana, Universidade Federal de Pernambuco, 2015.
- [4] Aguirre, S. L.; Paul, S.; Cordioli, J. A. e Masiero, B. S. Proposta de sistema para medição do limiar de reconhecimento da fala com fontes sonoras e ruído distribuídas espacialmente. Em *Anais do XVII Encontro da SOBRAC*, Brasília, 2017. SOBRAC.
- [5] Pulkki, V. Virtual sound source positioning using vector base amplitude panning. *Journal of the Audio Engineering Society*, 45(6), 1997.
- [6] Masiero, B. Qual o futuro do MP3? audio espacial e codificação orientada a objetos. Em *Proceedings of the 14th AES Brazil Conference*, São Paulo, SP, 17-19 maio 2016.
- [7] Politis, A. *Microphone array processing for parametric spatial audio techniques*. Tese de doutorado, Aalto University, 2016.
- [8] União Internacional de Telecomunicações, Setor de Radiocomunicação (ITU-R). Recommendation **ITU-R BS.1116-3**: Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems, 2015.
- [9] Silzle, A.; Geyersberger, S.; Brohasga, G.; Weninger, D. e Leistner, M. Vision and technique behind the new studios and listening rooms of the Fraunhofer IIS Audio Laboratory. Em *Audio Engineering Society Convention 126*, May 2009.
- [10] Silzle, A.; Kosmidis, D.; Greco, G. F.; Beer, D. e Bentz, L. The influence of microphone directivity on the level calibration and equalization of 3D loudspeakers setups. Em *Proceedings of 29th TONMEISTERTAGUNG – VDT INTERNATIONAL CONVENTION*, Köln, Deutschland, November 2016.
- [11] Berzborn, M.; Bomhardt, R.; Klein, J.; Richter, J.-G. e Vorländer, M. The ITA-Toolbox: An Open Source MATLAB Toolbox for Acoustic Measurements and Signal Processing. Em *Proceedings 43th Annual German Congress on Acoustics*. 43th Annual German Congress on Acoustics, Kiel (Germany), 6 Mar 2017 -9 Mar 2017, Mar 2017.
- [12] Dietrich, P.; Guski, M.; Klein, J.; Müller-Trapet, M.; Pollow, M.; Scharrer, R. e Vorländer, M. Measurements and room acoustic analysis with the ita-toolbox for matlab. Em *40th Italian (AIA) Annual Conference on Acoustics and the 39th German Annual Conference on Acoustics (DAGA)*, 2013.
- [13] International Organization for Standardization. Acoustics - assessment of noise with respect to community response. ISO 1996:1971, Genebra, 1971.